

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 700 737 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.03.1996 Patentblatt 1996/11

(51) Int. Cl.⁶: B21D 53/04, B23P 15/26

(21) Anmeldenummer: 95112053.4

(22) Anmeldetag: 28.07.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI NL PT SE

(72) Erfinder:
• Grimm, Jürgen, Dipl.-Ing.
D-59759 Arnsberg (DE)
• Bitter, Dieter, Dipl.-Ing.
57413 Finnentrop (DE)

(30) Priorität: 10.09.1994 DE 4432340

(71) Anmelder: Krupp VDM GmbH
D-58791 Werdohl (DE)

(74) Vertreter: Cohausz & Florack
Patentanwälte
Kanzlerstrasse 8a
D-40472 Düsseldorf (DE)

(54) Verfahren zur Herstellung eines Verdampfers für ein Kompressorkühlgerät

(57) Verfahren zur Herstellung eines aus mindestens zwei miteinander metallisch fest in Form einer Verschweißung oder Verlötlung verbundenen Metallblechen bestehenden Verdampfers mit partiell vergrößerten und unterschiedlichen Kanalquerschnitten für ein Kompressorkühlgerät, wobei zunächst zur Bildung eines zwischen den Metallblechen mäanderförmig verlaufenden Kühlmittelkanales gleichmäßigen Querschnittes Teilbereiche der miteinander verbundenen Metallbleche durch Innendruck zu Kanälen ausgeformt werden, und bei dem nach dem ersten Ausformen der Kühlmittelkanäle die zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes vorgesehenen Bereiche des Kühlmittelkanales einer Erwärmung unterzogen werden und der Kühlmittelkanal erneut mit einem Innendruck beaufschlagt wird, welcher ein zweites partiell begrenztes Ausformen eines oder beider Metallbleche bewirkt.

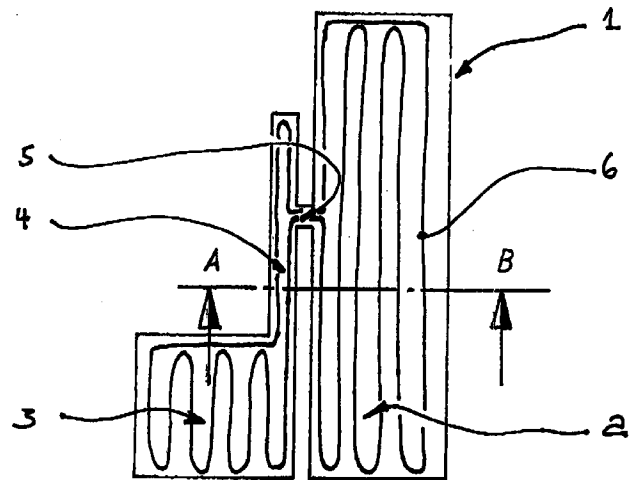


Fig. 1

EP 0 700 737 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines aus mindestens zwei miteinander metallisch fest in Form einer Verschweißung oder Verlötung verbundenen Metallblechen bestehenden Verdampfers mit partiell vergrößerten und unterschiedlichen Kanalquerschnitten für ein Kompressorkühlgerät, wobei zunächst zur Bildung eines zwischen den Metallblechen mäanderförmig verlaufenden Kühlmittelkanales gleichmäßigen Querschnitts Teilbereiche der miteinander verbundenen Metallbleche durch Innendruck zu Kanälen ausgeformt werden.

Solche Verdampfer werden zur Bildung eines Kühlraumes regelmäßig aus entsprechend ebenen Verdampferplatinen geformt, die nach der Umformung und im Einbauzustand einen oder mehrere Kühlräume eines Kühlgerätes jeweils einseitig begrenzen oder mehrseitig umschließen und häufig auch die Rückwand eines solchen Kühlraumes bilden.

Solche Verdampferplatinen und deren Herstellung nach dem sogenannten Rollbond-Verfahren sind in der DE-PS 15 52 044 beispielhaft dargestellt.

Beim Rollbond-Verfahren, bei dem die beiden Lagen der Platine durch eine Walzverschweißung unter Streckung des Substrats miteinander verbunden werden, wird durch Trennschichten aus schweißhinderndem Material für den späteren Verlauf des Kühlmittelkanales bildende exakt begrenzte Flächen gesorgt. Diese Maßnahme ist beispielsweise in der DE-PS 19 20 424 beschrieben.

Die Ausformung erfolgt in der Regel durch Druckluft, welche zwischen die nicht verschweißten Kanalbereiche geleitet wird und über den dort entstehenden Innendruck eine oder beide zusammengeschweißten Platinen zur Bildung von Kanalquerschnitten verformt.

Als Kühlmittel wurde in der Vergangenheit lediglich Kohlenwasserstoff (FCKW) benutzt, während heutige neuere Kühlsysteme in der Regel FCKW-freie Werkstoffe wie z.B. Butan verwenden.

Diese Kühlmittel bilden jedoch beim Sieden etwa doppelt so viel Gas wie die herkömmlichen Kühlmittel und sind demzufolge bezogen auf das entstehende Druckniveau und die von diesen hohen Druckstufen wieder notwendig werdende Entspannung in ihrem Verhalten sehr unterschiedlich zu den bisherigen Kühlmitteln.

Durch die gebildete große Gasmenge und den daraus resultierenden hohen Druck führen die üblicherweise verwendeten Querschnitte der Kühlkanäle durch ihre Drosselwirkung zu einem Druckabfall, der die bei adiabatischer Entspannung übliche starke Kühlung der Umgebung nach sich zieht. Treten dazu noch Querschnittsverengungen, beispielsweise an Biegungen der Platine oder an Verbindungs- oder Durchführungsstücken auf, so entsteht der oben geschilderte Effekt in einem die Leistung des Kühlgerätes beeinträchtigenden Maße. Es erfolgt hierbei nämlich entweder eine Kühlung in Bereichen der Kühlräume, die kein Kühlgut beinhalten und nahe an den Rändern liegen, oder es erfolgt gar eine Kühlung von in Zwischenräumen befindlichem Däm-

mungsmaterial. Dies wiederum setzt unter anderem die Isolierfähigkeit dieser Materialien herab.

Aus diesem Grunde wurde bereits versucht, die kritischen Querschnitte der Kühlmittelkanäle zu vergrößern. Die einzige Möglichkeit jedoch, die hierfür bisher bestand, erforderte ein komplett anderes Herstellungsverfahren für die Kühlmittelplatinen. Bei dem hierzu notwendigen Z-Bond-Verfahren, bei dem eine fertige, aus zwei Aluminiumschichten und einer dazwischen liegenden Zinkschicht bestehenden Sandwichplatine von einem Coil abgeschnitten wird, umgeben zwei mit den Kühlkanalquerschnitten als Ausfräsungen versehene Werkzeugplatten fest das erwärmte Platinenstück.

In den Bereich der zuerst schmelzflüssigen Zinkschicht wird dann ein Überdruck eingeführt, der die zwischen den Werkzeugplatten liegenden Aluminiumschichten in die Werkzeugvertiefungen, d.h. in die ausgefrästen Ausnehmungen hereindrückt.

An den später zu erwartenden kritischen Stellen sind die Werkzeuge dann mit größeren Ausfräsungen versehen, so daß der Kanalquerschnitt entsprechende Ausmaße annimmt.

Dieses Verfahren bedingt jedoch sehr hohe Werkzeugkosten und ist nur in geringem Maße flexibel in den Fällen, in denen für kleine Serien oder für besondere Kühlformen vergrößerte Querschnitte an anderen als an den im Werkzeug vorhandenen größer ausgenommenen Stellen vorgesehen werden müssen.

Es bestand also für die Erfindung die Aufgabe, ein Verfahren zur Herstellung partiell vergrößerter und unterschiedlicher Kanalquerschnitte bei der Herstellung von aus mindestens zwei miteinander metallisch fest in Form einer Verschweißung oder Verlötung verbundenen Metallblechen bestehenden Verdampfers vorzuschlagen, welches flexibel an beliebigen Stellen partielle Vergrößerungen vorsehen läßt und in allen üblichen Verfahren zur Herstellung solcher, aus verschweißten Platinen bestehenden Verdampfer anwendbar ist und welches mit einem geringen Aufwand an Maschinenteknik und Formwerkzeugen durchgeführt werden kann.

Gelöst wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Hauptanspruchs. Weitergehende vorteilhafte Ausbildungen und Anwendungen des Verfahrens sind in den Nebenansprüchen bzw. Unteransprüchen vorhanden.

Bei dem Verfahren werden nach dem bereits genannten ersten Ausformen der Kühlmittelkanäle die zu partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes vorgesehenen Bereiche des Kühlmittelkanales einer Erwärmung unterzogen und der Kühlmittelkanal erneut mit einem Innendruck beaufschlagt, welcher ein zweites partielles Ausformen eines oder beider Metallbleche bewirkt. Hierdurch ist es möglich, durch gezielte über Wärmeeinbringung erfolgende Festigkeitsveränderung der Werkstoffe unter gleichzeitiger Beaufschlagung der Kühlkanäle mit Innendruck partielle und genau in Ausdehnung und Länge steuerbare Aufweitungen von einzelnen Abschnitten des Kühlkanales zu erreichen.

Durch die nicht erwärmten umgebenden Querschnitte, die hierbei die Haltefunktion des sonst unbedingt notwendigen Außenwerkzeuges übernehmen, ergibt sich eine höchst einfache und effektive Verfahrensweise, die höchst flexibel auch für Kleinserien, ja sogar für Einzelversuche und Prototypenherstellung geeignet ist.

Insbesondere eignet sich das Verfahren in vorteilhafter Weise für Verdampferplatinen, die nach dem sogenannten Rollbond-Verfahren hergestellt sind und während ihrer gesamten Fertigung nicht auf Außenwerkzeuge angewiesen sind, die etwa die Form der Kühlmittelkanäle als Ausfräsungen enthielten.

Hierdurch ergibt sich der Vorteil, daß für die partiellen Aufweitungen nicht auf das altbekannte Formverfahren innerhalb von Werkzeugen ausgewichen werden muß, was die Herstellung mit dem Rollbond-Verfahren für solche Anwendungszwecke unwirtschaftlich machen würde. Durch die erfindungsgemäße Verfahrensweise und deren Flexibilität zur Anwendung bei jedem Verfahren ist hier eine Möglichkeit geschaffen, auch weiterhin ohne umgebende Formwerkzeuge Aufweitungen partiell durchzuführen.

Zur Steuerung des jeweiligen Aufweitzungsgrades bzw. zur Beschränkung der Aufweitung auf die eine oder die andere Blechseite ist es vorteilhaft, daß die zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes vorgesehenen Bereiche des Kühlmittelkanales einer nur auf der Außenseite eines Metallbleches einwirkenden Erwärmung unterzogen werden.

Ist die Verdampferplatine aus Metallblechen gleicher Festigkeit hergestellt, schwächt man mit dieser Ausbildung insbesondere eines der beiden Bleche, so daß eine partielle Aufweitung durch eine Überdehnung dieses Bleches erfolgt, während das andere Blech weiterhin seine Abstützfunktion behält und nur unwesentlich zusätzlich gedehnt wird.

Weiter optimiert werden kann diese Ausbildung dadurch, daß die beiden Metallbleche aus unterschiedlichen Metallen oder Metallegierungen mit zueinander unterschiedlichen Festigkeiten bestehen. Damit kann die Stützwirkung des einen oder anderen Bleches erhöht oder erniedrigt werden und die jeweilige Aufweitung auf eine oder auf beide Seiten in bestimmten prozentualen Anteilen verteilt werden.

Insbesondere dann, wenn die zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes vorgesehenen Bereiche des Kühlmittelkanales eine auf der Außenseite des aus einem Metall oder aus einer Metallegierung höherer Festigkeit bestehenden Bleches einwirkenden Erwärmung unterzogen werden, läßt sich der Effekt erreichen, daß das Blech höherer Festigkeit nur wenig, das Blech niedrigerer Festigkeit jedoch mehr gedehnt und damit der Kanalquerschnitt zum Bereich des Bleches niedriger Festigkeit verschoben wird. Dies hat Vorteile in Bezug auf spätere Biegungen oder in Bezug auf die zukünftige Einbausituation.

Vorteilhafterweise ist die Platine so aufgebaut, daß das eine niedrige Festigkeit aufweisende Metallblech

aus Reinaluminium und das andere, eine höhere Festigkeit aufweisende Metallblech aus einer Aluminiumlegierung besteht. Dadurch werden zum einen die notwendigen Temperaturen sehr gering und fein abstimmbare in den Bereich unterhalb von 400 °C gelegt und gleichzeitig eine Beeinflußbarkeit der Festigkeit des Aluminiums durch die Zugabe von Legierungselementen bei einem der Metallbleche vorgesehen.

Eine besonders vorteilhafte Ausbildung der Aluminiumlegierung beinhaltet max. 25 Gew.-% Zirkonium (Zr) und als Rest Aluminium.

Durch das in der Gitterstruktur des Aluminiums eingebundene Zirkonium verschiebt sich die "Erweichungstemperatur" um ca. 40 °C nach oben, so daß ein für die Steuerbarkeit der Ausbildung von Kanälen auf der einen oder auf der anderen Blechseite nötiger sicherer Abstand zwischen den Weichpunkten der beiden Aluminiumbleche erreicht wird.

In diesem Zusammenhang erfolgt vorteilhafterweise die auf die Außenseite der Aluminiumlegierung einwirkende Erwärmung bis zu einer Mindesttemperatur von 330 °C. Damit erhält man die verfahrenssichere Querschnittsvergrößerung der Kühlmittelkanäle in der Art, daß die Aluminiumlegierung bezogen auf den Kanal Durchmesser um 10 %, das Reinaluminium bezogen auf den Durchmesser um 40 % ausgedehnt wird.

Auf besonders einfache Weise läßt sich die Erwärmung dadurch erreichen, daß die Kanalquerschnitte im Bereich der partiellen Vergrößerung als Widerstandsleiter eines Stromkreises ausgebildet sind.

Bei dieser Art der Verfahrensausbildung wird der Anfang und das Ende des jeweils aufzuweitenden partiellen Bereiches mit stromführenden Polschuhen versehen, wodurch der Blechbereich zwischen den Polschuhen bis auf eine durch Pyrometer überprüfbare Temperatur erwärmt wird und das Innendruckaufweiten erfolgt.

Ein angelegter Mindestdruck von 6 bar für die Zweite Ausformung zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes ergibt in vorteilhafter Weise eine zügige, aber nicht unkontrolliert erfolgende Aufweitung bei einer entsprechenden Erwärmung und verhindert dadurch überdimensionale Materialausdünnungen.

In vorteilhafter Weise kann das Innendruckumformen dadurch unterstützt werden, daß lediglich im Bereich der partiellen Vergrößerung ein Hilfswerkzeug angelegt wird, was beide Metallbleche stützt und den Materialfluß bestimmbar hält.

Bei geringen Aufweitungen genügt es, die Abstützung lediglich in den miteinander verbundenen Bereichen der Metallbleche sicherzustellen und damit ein Aufreißen des bereits vorher fertiggestellten metallischen Verbundes der Metallbleche zu verhindern.

Ein nach diesem Verfahren ausgebildeter Verdampfer für ein Kompressorkühlgerät, welcher einen oder mehrere Kühlräume eines Kühlgerätes jeweils einseitig begrenzt oder mehrseitig umschließt, weist die partiellen Erweiterungen des Kühlmittelkanalquerschnittes in den Bereichen auf, die außerhalb der Kühlräume oder in

Übergangsbereichen zwischen Kühlräumen sich befinden.

Hierdurch wird in ungewollten Bereichen des Kühlgerätes bzw. in Rändern oder Ecken des Kühlraumes sowie ein Abkühlen von Isoliermaterialien zwischen den einzelnen Kühlräumen verhindert.

Eine ebenso vorteilhafte Ausbildung des Verdampfers besteht darin, daß auch im Bereich von Biegungen oder Abkantungen der Verdampferplatte partielle Erweiterungen des Kühlmittelkanalquerschnittes vorhanden sind. Diese können bei einer Verdampferplatte, die beispielsweise einen Kühlraum von vier Seiten umschließt, jeweils über die gesamte Breite der Platte in allen in der Biegung liegenden Kanalquerschnitten vorhanden sein.

Letztlich ergeben sich Vorteile, wenn die partiellen Erweiterungen des Kühlmittelkanalquerschnittes im Bereich der Kanalanschlüsse am Kühlmittelauf- oder am Kühlmittelauslaß vorhanden sind. In diesen Bereichen ist üblicherweise eine Kapillarleitung für das komprimierte Kühlmittel durch den inneren Bereich des Kühlmittelkanals geführt, so daß zur Abfuhr des Kühlmittels lediglich eine Ringquerschnitt um diese Kapillare herum existiert. Um die hierdurch vorhandene Querschnittsverengung zu kompensieren, läßt sich in besonders vorteilhafter Weise der Verdampfer so ausbilden, daß diese Bereiche mit partiellen Erweiterungen versehen sind.

Anhand eines Ausführungsbeispiels in Form eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Verdampfers soll die Erfindung näher erläutert werden.

Es zeigen:

- Fig. 1 eine mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Verdampferplatte vor dem Einbau in ein Kühlgehäuse
- Fig. 2 eine vergrößerte Ausführung des Schnittes A-B der Fig. 1
- Fig. 3 eine in einem Kühlgehäuse eingebaute Verdampferplatte.

In der Fig. 1 erkennt man die Verdampferplatte 1 mit ihren unterschiedlichen Kühlflächen 2 und 3 sowie mit den im weiteren Einbauverfahren im Bereich der Biegungen liegenden Verbindungsstegen 4 und 5.

Innerhalb der Verdampferplatte verläuft mäandrierend der Kühlkanal 6.

Die Fig. 2 zeigt einige vergrößerte Abschnitte des Kühlkanals, einmal im Bereich der Stege und im Bereich der später im Kühlraum befindlichen Platte. Hierbei sind die Abschnitte 7 und 8 des Kühlkanals 6 mit dem erfindungsgemäßen Verfahren partiell erweitert und weisen einen wesentlich größeren Querschnitt auf, als die im Bereich der späteren Innenraum-Kühlfläche liegenden Abschnitte 9 und 10.

Hierdurch wird, wie bereits geschildert, eine Unterkühlung der Stegbereiche verhindert und die maximale Kühlleistung innerhalb der später im Kühlraum liegenden Platinenteile nutzbar.

Die Fig. 3 zeigt eine andere Verdampferplatte 11, welche innerhalb eines schematisch dargestellten Kühlraumes 12 angeordnet ist und gegen die Umgebung mit Hilfe der Gehäuseisolierung 13 abgedichtet ist.

Auch diese Verdampferplatte 11 weist gekrümmte Stegbereiche 14, 15 und 16 auf, die schließlich außerhalb des Kühlraumes über die Rohrleitung 17 mit dem Kompressor 18 verbunden sind.

Auch hier zeigen die Stegbereiche 14, 15 und 16 wieder einen größeren Kühlkanalquerschnitt, der etwa den in der Fig. 2 dargestellten Querschnitten 7 und 8 entspricht. In der Verdampferplatte 11 ist lediglich eine einseitige Aufweitung vorgesehen, welche dadurch einen den Querschnitten 9 und 10 entsprechenden Kühlkanal beinhaltet.

Auch hier entsteht wieder der Vorteil, daß in gekrümmten Bereichen keine Querschnittsverengung und damit keine zu starke Unterkühlung stattfindet. Somit wird die Kompressorleistung zu einem besonders hohen Anteil am Verdampfer nutzbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines aus mindestens zwei miteinander metallisch fest in Form einer Verschweißung oder Verlötlung miteinander verbundenen Metallblechen bestehenden Verdampfers mit partiell vergrößerten und unterschiedlichen Kanalquerschnitten für ein Kompressorkühlgerät, wobei zunächst zur Bildung eines zwischen den Metallblechen mäandrierend verlaufenden Kühlmittelkanals gleichmäßigen Querschnittes Teilbereiche der miteinander verbundenen Metallbleche durch Innendruck zu Kanälen ausgeformt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach dem ersten Ausformen der Kühlmittelkanäle die zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes vorgesehenen Bereiche des Kühlmittelkanals einer Erwärmung unterzogen werden und der Kühlmittelkanal erneut mit einem Innendruck beaufschlagt wird, welcher ein zweites, partiell begrenztes Ausformen eines oder beider Metallbleche bewirkt.
2. Verfahren zur Herstellung eines aus mindestens zwei miteinander metallisch fest in Form einer Verschweißung oder Verlötlung verbundenen Metallblechen bestehenden Verdampfers mit partiell vergrößerten und unterschiedlichen Kanalquerschnitten für ein Kompressorkühlgerät, wobei zunächst zur Bildung eines zwischen den Metallblechen mäandrierend verlaufenden Kühlmittelkanals ein den späteren Verlauf des Kühlmittelkanals exakt abbildendes und in der Fläche begrenzendes schweißhinderndes Material auf mindestens einer der Metallbleche auf der dem anderen Metallblech zugewandten Seite aufgebracht wird und danach die beiden Metallbleche durch in der Wärme erfolgende Walzverschweißung unter Streckung des

- Substrats und unter Bildung oder Einschluß eines Kühlmittleinlasses und/oder eines Kühlmittelauslasses miteinander verbunden werden, und bei dem nach der Verbindung der beiden Bleche in einem ersten Ausformen die nicht verschweißten Bereiche für die Kühlmittelkanäle durch Innendruck zu Kanälen ausgeformt werden, 5
dadurch gekennzeichnet,
 daß nach dem ersten Ausformen der Kühlmittelkanäle die zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes vorgesehen Bereiche des Kühlmittelkanales einer Erwärmung unterzogen werden und der Kühlmittelkanal erneut mit einem Innendruck beaufschlagt wird, welcher ein zweites, partiell begrenztes Ausformen eines oder beider Metallbleche bewirkt. 10
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** 20
 daß die zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes vorgesehenen Bereiche des Kühlmittelkanales einer nur auf der Außenseite eines Metallbleches einwirkenden Erwärmung unterzogen werden. 25
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,** 30
 daß die beiden Metallbleche aus unterschiedlichen Metallen oder Metallegierungen mit zueinander unterschiedlichen Festigkeiten bestehen. 35
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,** 40
 daß die zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes vorgesehen Bereiche des Kühlmittelkanales einer auf der Außenseite des aus einem Metall oder aus einer Metallegierung höherer Festigkeit bestehenden Bleches einwirkenden Erwärmung unterzogen werden. 45
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet,** 50
 daß das eine niedrigere Festigkeit aufweisende Metallblech aus Reinaluminium und das andere, eine höhere Festigkeit aufweisende Metallblech aus einer Aluminiumlegierung besteht. 55
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet,** 50
 daß die Aluminiumlegierung maximal 0,25 Gew.-% Zirkonium (Zr) und im Rest aus Aluminium besteht. 55
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet,** 55
 daß die auf die Außenseite der Aluminiumlegierung einwirkende Erwärmung bis zu einer Mindesttemperatur von 330 °C erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet,**
 daß die Erwärmung dadurch erfolgt, daß die Kanalquerschnitte im Bereich der partiellen Vergrößerung als Widerstandsleiter eines Stromkreises ausgebildet sind.
10. Verfahren nach Anspruch 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet,**
 daß die zweite Ausformung zur partiellen Vergrößerung des Kanalquerschnittes mit einem Mindestdruck von 6 bar erfolgt.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
 daß die zweite Ausformung in einem beide Metallbleche stützenden Werkzeug erfolgt.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet,**
 daß die Abstützung durch das Werkzeug in den miteinander verbundenen Bereichen der Metallbleche erfolgt.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet,**
 daß die Abstützung des eine niedrigere Festigkeit aufweisenden Bleches durch ein Hydraulikummedium erfolgt.

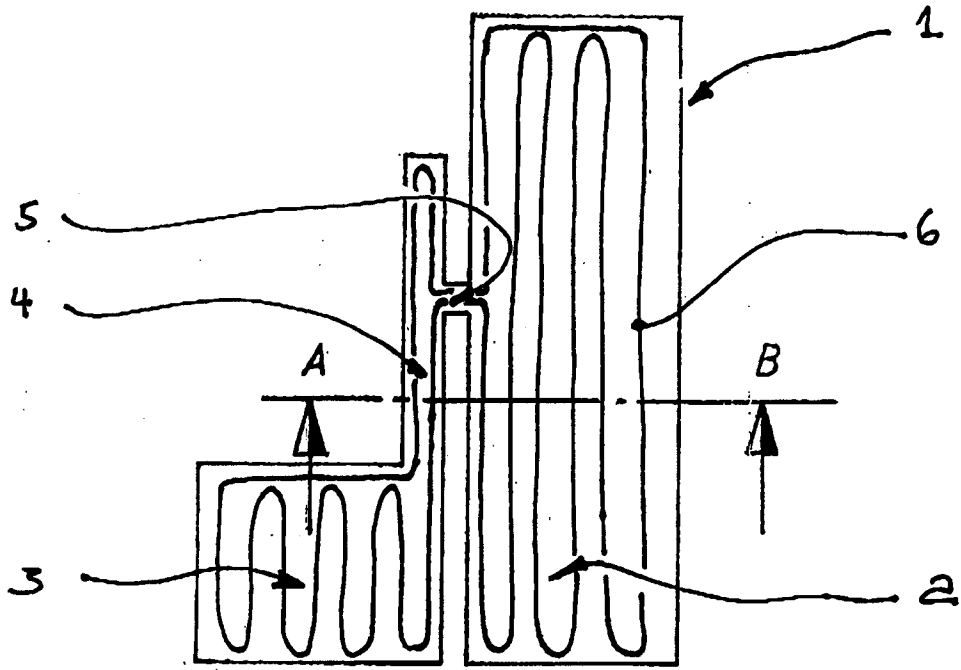


Fig. 1

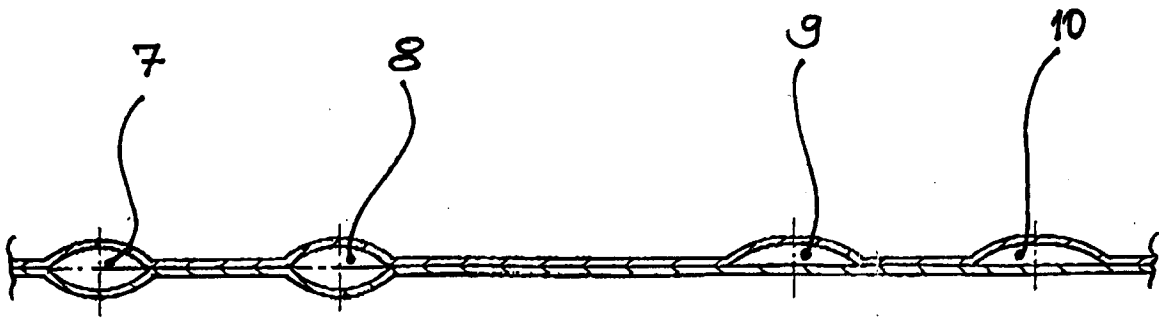


Fig. 2

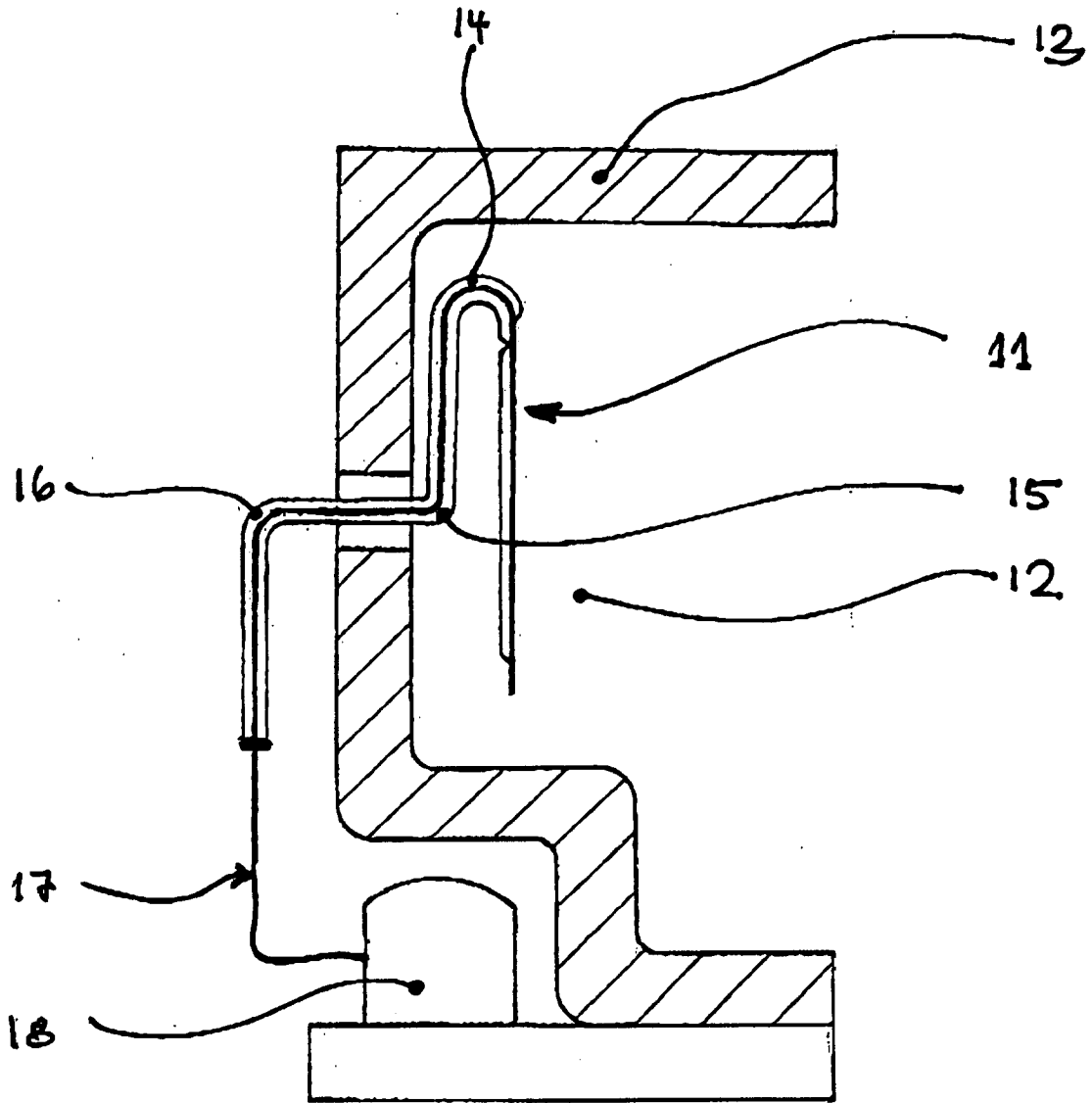


Fig. 3