



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 122 603.3**

(22) Anmeldetag: **23.11.2016**

(43) Offenlegungstag: **24.05.2018**

(51) Int Cl.: **C21D 8/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:
LOB GmbH, 51107 Köln, DE

(74) Vertreter:
**LIPPERT STACHOW Patentanwälte
Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 51427
Bergisch Gladbach, DE**

(72) Erfinder:
Offermanns, Heribert, 50997 Köln, DE

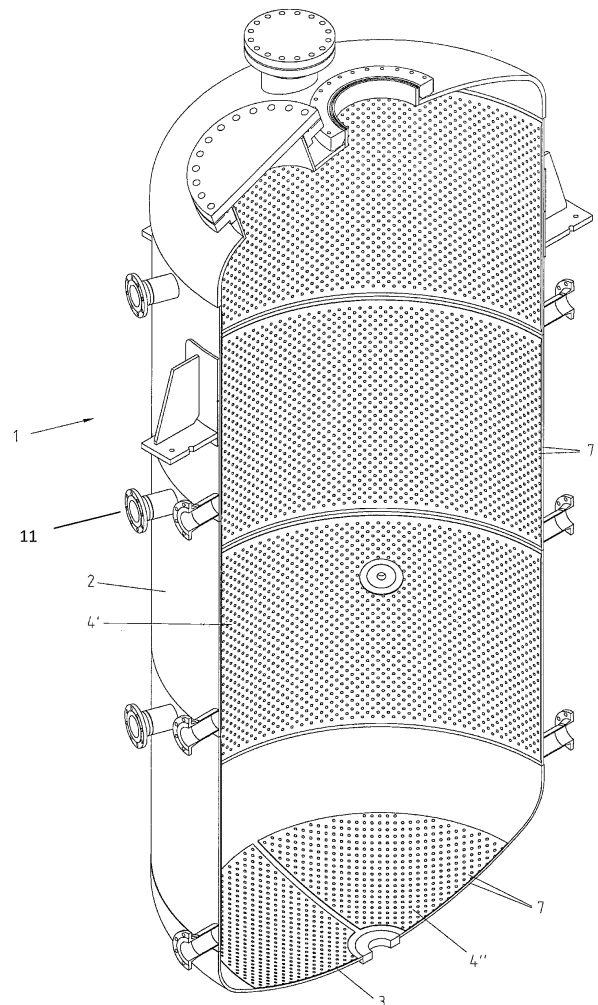
(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauscherelementes und Wärmetauscherelement**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauscherelementes mit zwei zumindest im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Platten, welche durch eine Vielzahl von Verbindungsstellen miteinander dauerhaft unter Erzeugung eines Verbundes verbunden sind, wobei Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen durch Druckaufweitung mindestens einer der beiden Platten als fluiddurchströmbare Zwischenräume ausgebildet sind und die Zwischenräume fluiddürend miteinander verbunden sind, wobei nach der vollständigen Druckaufweitung die beiden Platten an den einzelnen Aufweitungsbereichen einen Abstand $dA(Si)$ aufweisen, und wobei der Plattenverbund der beiden dauerhaft miteinander verbundenen Platten einer Glühbehandlung unterworfen wird. Erfindungsgemäß werden vor der Glühbehandlung die Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen zumindest partiell aufgeweitet werden. (**Fig. 1**)



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	26 19 371	B2
DE	10 2009 039 552	A1
AT	189 902	B

American Society of Mechanical Engineers (ASME): ASME - Code type flanged & dished. 2014. URL: <http://www.cmforming.com/pdfs/asme-code-type-flanged-dished.pdf> [abgerufen am 13.02.2017]. - Seiten 1-3

Norm AD 2000-Merkblatt HP 0 2013-02-00. Allgemeine Grundsätze für Auslegung, Herstellung und damit verbundene Prüfungen. Verband der TÜV e.V., Berlin, S. 357-383. Bibliographieinformationen ermittelt über: <https://www.beuth.de/de/technische-regel/ad-2000-merkblatt-hp-0/172066647> [abgerufen am 09.02.2017]. - Technische Regel

Norm ASME - Ferrous material specifications (SA-451 to end) 2015-07-01. ASME Boiler and Pressure Vessel Code : An international Code - Edition II, Part A. S. 1-9. - Deckblatt + Inhalt

Norm ASME - Nonferrous material specifications 2015-07-01. ASME Boiler and Pressure Vessel Code : An international Code - Edition II, Part B. S. 1-7. - Deckblatt + Inhalt

Norm ASME - Rules for construction of pressure vessels 2015-07-01. ASME Boiler and Pressure Vessel Code : An international Code - Edition VIII, Division 1. S. 1-17. - Deckblatt + Inhalt

Norm DIN 28011 2012-06-00. Gewölbte Böden - Klöpperform. S. 1-19.

Norm DIN 28013 2012-06-00. Gewölbte Böden - Korbbogenform. S. 1-19.

Norm DIN EN 10088-2 2014-12-00. Nichtrostende Stähle - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung; Deutsche Fassung EN 10088-2: 2014. S. 1-50.

Norm NFE 81 103 1997-12-01. Dished ends - ellipsoidal dished ends - dimensions. S. 1-24. Bibliographieinformationen ermittelt über: <http://infostore.saiglobal.com/store/details.aspx?ProductID=470856> [abgerufen am 13.02.2017].

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauscherelementes mit zwei zumindest im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Platten, nämlich einer ersten und einer zweiten Platte, welche durch mehrere über die Plattenfläche verteilt angeordneten Verbindungsstellen miteinander dauerhaft, vorzugsweise zugkraftaufnehmend, unter Erzeugung eines Plattenverbundes verbunden sind, wobei Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen durch Druckaufweitung mindestens einer der beiden Platten ausgebildet sind, welche mindestens einen oder mehrere fluiddurchströmbare Zwischenräume ausbilden, wobei nach der vollständigen Druckaufweitung die beiden Platten an den einzelnen Stellen (Si) maximaler lokaler Aufweitung der Aufweitungsbereiche einen Abstand $dA(Si)$ aufweisen, und wobei der Plattenverbund der beiden dauerhaft miteinander verbundenen Platten einer Glühbehandlung unterworfen wird.

[0002] Das gattungsgemäße Verfahren ist zur Herstellung vielfältiger Wärmetauscherelemente einsetzbar. Das Wärmetauscherelement kann beispielsweise einen Teil eines Behälters wie eines Reaktors, Rührwerkbehälters, Teil eines Rohrabschnittes oder dergleichen darstellen. Bei der Herstellung des Wärmetauscherelementes sind die genannten Platten desselben oftmals mechanisch umzuformen, um die gewünschte Form des Wärmetauscherelementes auszubilden, beispielsweise wenn der Plattenverbund des Wärmetauscherelementes Teil einer gebogenen Seitenwand oder dergleichen ist. Aufgrund der Umformung ist in der Regel in Abhängigkeit von dem eingesetzten Plattenwerkstoff eine Glühbehandlung durchzuführen. Ferner ist in der Regel aufgrund der hergestellten Verbindungsstellen zwischen den Platten, insbesondere bei Schweißverbindungen, der Plattenverbund einer Glühbehandlung zu unterziehen. Die Bedingungen der Glühbehandlung sind aufgrund der Materialspezifikation des eingesetzten Plattenwerkstoffes und/oder der erzeugten Schweißverbindungen der Platten zumeist vorgeschrieben, beispielsweise um den Plattenwerkstoff nach der mechanischen Umformung oder wegen Gefügeänderungen bei der Verbindung der Platten spannungsarm zu glühen, zu normalisieren oder dergleichen. Die genannte Glühbehandlung ist oftmals bei höheren Temperaturen durchzuführen, beispielsweise bei Temperaturen oberhalb 750°C aber auch beispielsweise beim Normalglühen oder dergleichen bei Temperaturen oberhalb 1000°C .

[0003] Bei dem gattungsgemäßen Verfahren werden dann nach der Glühbehandlung die Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen der beiden Platten erzeugt, um die vom Wärmetauscherelement zu durchströmenden Plattenzwischenräume auszubilden. Für diese Druckaufweitung wird zumeist

eine Flüssigkeit wie beispielsweise Wasser unter sehr hohem Druck zwischen die beiden Platten eingepresst, beispielsweise mit einem Druck von ≥ 100 bar oder auch ≥ 300 bar. Liegen gebogene Platten vor, so sind höhere Aufweitungsdrukke erforderlich als bei ebenen Platten, um die Plattenzwischenräume auszubilden, da sich mit der Plattenwölbung die zur Ausbildung erforderlichen Deformationen und Spannungsverhältnisse des Materials im Bereich der Aufweitungen ändern. Dies gilt bspw. wenn die Platzenaufweitung an gebogenen Platten vorzunehmen ist und die Aufweitungen entgegen der Richtung der Plattenwölbung (also Wölbung des Plattenkorpus) zu erfolgen hat, also bspw. bei Ausbildung einer zylindrischen Seitenwand eines Behälters mit nach innen auswölbenden Aufweitungsbereichen. Ferner muss die Aufweitung der jeweiligen Platte zwischen den Verbindungsstellen sehr langsam und kontrolliert erfolgen, da bei der Aufweitung teilweise beträchtliche Spannungen insbesondere auch in die Verbindungsstellen der Platten eingebracht werden. Besonders kritisch ist jedoch, durch die Aufweitung Beschädigungen der Verbindungsstellen der Platten miteinander zu vermeiden, welche bspw. als Mikrorisse oder sonstige Materialdefekte ausgebildet zu sein können und die Betriebsdauer und/oder Betriebssicherheit des Wärmetauschers herabsetzen und ggf. zu einem partiellen Lösen der Verbindungsstellen führen können. Dies ist insbesondere problematisch, wenn die jeweilige Vorrichtung wie bspw. Behälter oder Reaktor hohen Temperaturen und/oder Drucken oder hohen Wechselbeanspruchungen wie Temperatur- und/oder Druckwechselbeanspruchungen ausgesetzt ist.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die oben beschriebenen Probleme teilweise oder vollständig zu lösen, insbesondere ein gattungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauscherelementes bereitzustellen, bei welchem die Verbindungsstellen der Platten miteinander bei der Druckaufweitung zur Erzeugung der fluiddurchströmbareren Zwischenräume weniger bzw. möglichst wenig belastet werden.

[0005] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst sowie durch die Bereitstellung eines Wärmetauscherelementes gemäß Anspruch 13 bzw. durch Vorrichtungen wie Behälter, welche derartige Wärmetauscherelemente umfassen.

[0006] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden vor der Glühbehandlung die Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen zumindest partiell aufgeweitet und der Plattenverbund mit den zumindest partiell aufgeweiteten Zwischenräumen der genannten Glühbehandlung unterworfen wird.

[0007] Im Zuge der Erfindung hat sich herausgestellt, dass durch die erfindungsgemäße zumindest partielle Aufweitung der Aufweitungsbereiche vor der

Glühbehandlung, die Druckaufweitung des jeweiligen Aufweitungsbereiches besonders schonend und mit vergleichsweise geringem Aufweitungsdruk durchgeführt werden kann, wodurch insbesondere auch die Verbindungsstellen deutlich weniger belastet werden. Das fluide Druckaufweitungsmittel wie beispielsweise Wasser kann somit insgesamt mit geringerem Druck in den Zwischenbereich der beiden Platten eingepresst werden, um den Plattenverbund mit der Aufweitung auf den Abstand $dA(Si)$ an der jeweiligen Stelle Si herzustellen, als bei herkömmlichen Verfahren. Es hat sich herausgestellt, dass durch das erfindungsgemäße Verfahren das fluide Druckaufweitungsmittel mit einem Druck einsetzbar ist, welcher $\leq 10\%$ oder $\leq 20\%$ oder oftmals auch oder $\leq 40\%$ niedriger sein kann, als bei einem herkömmlichen Verfahren. Es kann auch sein, dass sich bei herkömmlichen Verfahren unter den gegebenen Bedingungen wie Plattenwerkstoffen und Geometrien nach Durchführung der notwendigen Glühbehandlung die beiden Platten überhaupt nicht durch Innendruck trennen lassen, so dass durch das erfindungsgemäße Verfahren erstmals bestimmte Wärmetauscher herstellbar sind. Dies wird im Zuge der Erfindung darauf zurückgeführt, dass beim herkömmlichen Verfahren die vollflächig aneinander anliegenden Platten des Plattenverbundes durch die Glühbehandlung im Aufweitungsbereich aneinander anhaften. Dies wird insbesondere bei vergleichsweise hohen Glühtemperaturen und/oder längeren Glühdauern beobachtet, aber teilweise auch bereits bei vergleichsweise niedrigeren Glühtemperaturen und/oder Glühdauern, in Abhängigkeit von dem eingesetzten Werkstoff. Das durch die Glühbehandlung bewirkte Anhaften der Platten aneinander erfordert bei herkömmlichen Verfahren einen deutlich höheren Druck des Druckaufweitungsmittels, da zur Aufweitung auch die Anhaftung der Platten miteinander zu überwinden ist. Dies wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vermieden. Hierdurch ist der Plattenverbund mit geringerer Belastung der Verbindungsstellen herstellbar und Lebensdauer und/oder Betriebssicherheit des Wärmetauschers erhöht.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere zur Herstellung von Wärmetauscherelementen einsetzbar, welche hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind, beispielsweise hohen Temperaturen und/oder hohen Drücken, insbesondere auch hohen Wechselbeanspruchungen wie Temperatur- und/oder Druckwechselbeanspruchungen. Dies sind bspw. Reaktoren (z.B. batch-weise beschickten Reaktoren) oder andere Vorrichtungen, welche einem hohen Innendruck beim Betrieb ausgesetzt sind und/oder bei welchen das Wärmetauschermedium mit vergleichsweise hohem Druck in den fluiddurchströmbareren Zwischenräumen geführt wird. Die Behälter können beispielsweise bei einem Betriebsinnendruck von ≥ 1 bar oder ≥ 6 bar, oftmals auch ≥ 10 bar oder ≥ 15 bar betrieben werden. Alternativ oder

zusätzlich kann das Wärmetauschermedium mit einem Betriebsdruck von ≥ 2 bar oder ≥ 5 bar oder auch ≥ 50 bar in den fluiddurchströmbareren Zwischenräumen geführt werden. Das Wärmetauscherfluid kann eine Flüssigkeit oder ein Gas sein.

[0009] Von der Erfindung umfasst ist, dass die Aufweitungsbereiche vor der Glühbehandlung bis zum endgültigen Abstand $dA(Si)$ an den jeweiligen Stellen Si maximaler Aufweitung aufgeweitet werden.

[0010] Die genannten Plattenabstände $dp(Si)$ und $dA(Si)$ sind in vielen Fällen für die einzelnen Aufweitungsbereiche des jeweiligen Plattenverbundes jeweils zumindest im Wesentlichen zueinander gleich, sie können für den jeweiligen Plattenverbund aber gegebenenfalls auch unterschiedlich sein, bspw. wenn sich aufgrund bestimmter Geometrien wie unterschiedlicher Krümmungsradien an verschiedenen Bereichen des Plattenverbundes die einzelnen Bereiche bei gegebenem Aufweitungsdruk unterschiedlich stark aufweiten.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren ist besonders vorteilhaft dann eingesetzt, wenn die Auswölbung der Ausbauchungsbereiche unter hohen Spannungen im Plattenmaterial und/oder in den Verbindungsstellen erfolgt, bspw. wenn die Auswölbung der Ausbauchungsbereiche entgegengesetzt zu der Plattenkrümmung (d.h. Krümmung der Grundform bzw. des Korpus der jeweiligen Platte) ist. Dies ist bspw. der Fall, wenn die mit den lokalen Aufweitungsbereichen ausgebildete Platte an der Innenseite einer nach außen gewölbten, beispielsweise zylindrischen, Behälterwand angeordnet ist. Das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch auch dann bereits besonders vorteilhaft eingesetzt, wenn die Krümmung der Aufweitungsbereiche in derselben Richtung erfolgt wie die Krümmung des Grundkörpers der Platte, also beispielsweise wenn die mit den Aufweitungsbereichen versehene Platte außenseitig an der Seitenwand eines nach außen gewölbten Wärmetauscherelementes angeordnet ist, wie bspw. außenseitig an einer zylindrischen Behälterwand. Ferner ist das erfindungsgemäße Verfahren auch schon vorteilhaft eingesetzt, wenn bei der Druckaufweitung ebene Platten vorliegen, da auch in diesem Fall bei der Druckaufweitung die Verbindungsstellen besonders geschont und mechanische Belastungen derselben verringert werden.

[0012] In vielen Fällen besonders vorteilhaft kann die Druckaufweitung der Aufweitungsbereiche zweistufig erfolgen, nämlich mit einer nur partiellen Aufweitung an der jeweiligen Stelle Si bis zu einem Plattenabstand $dp(Si)$ mit $dp(Si) < dA(Si)$ vor der Glühbehandlung und erst nach der Glühbehandlung dann mit Aufweitung auf den endgültigen Abstand $dA(Si)$ an der jeweiligen Stelle Si . Hierbei kann das Druckaufweitungsmittel bis zur Erzielung der Aufwei-

tung bis zum Abstand $dp(Si)$ mit deutlich geringerem Druck eingesetzt werden, als bei der Aufweitung zum endgültigen Abstand $dA(Si)$. Ferner erfolgt keine schlagartige Umformung eines einzelnen Aufweitungsbereichs, wie ansonsten bei herkömmlichen Verfahren. Hierdurch ist insgesamt eine besonders schonende Aufweitung bis zum Plattenabstand $dA(Si)$ möglich, bei welchem somit die Verbindungsstellen zwischen den beiden Platten insgesamt wesentlich geringer belastet werden, beispielsweise geringere Spannungen in die Verbindungsstellen bei der Aufweitung eingebracht werden, so dass die Gefahr von Materialfehlern wie Mikrorissen wesentlich vermindert wird. Dies ist allgemein insbesondere zur Herstellung hochbeanspruchter Wärmetauscher vorteilhaft, welche eine hohe Lebensdauer und/oder Betriebssicherheit aufweisen sollen, wie bspw. bei Reaktoren. Ferner ist besonders vorteilhaft, wenn komplexere Plattenverbände herzustellen sind, bspw. mit Aufweitungen an mehrachsig gekrümmten Plattenbereichen, wie bspw. bei gewölbten Behälterböden, gekrümmten Rohrbögen oder dergleichen, wobei insbesondere die Aufweitungsbereiche an konvex gekrümmten Plattenbereichen vorliegen können. Unabhängig hiervon oder in Kombination hiermit ist dies besonders vorteilhaft, wenn durch die Glühbehandlung das Gefüge der Verbindungsstellen verfestigt wird, beispielsweise wenn durch die Verbindung der Platten wie bspw. durch Schweißen Aufhängungen der Verbindungsstellen entstehen, was durch Gefügeänderungen aufgrund des Wärmeeintrags in das Material im Bereich der Verbindungsstellen und/oder beim Verschweißen unterschiedlicher Materialien erfolgen kann. Ferner ist hierdurch aufgrund der geringeren Auswölbungen eine einfachere Oberflächenbearbeitung des Plattenverbundes an den oder um die Aufweitungsbereiche möglich, bspw. um Verzunderungen durch die Glühbehandlung zu entfernen oder die Plattenoberflächen insbesondere auch im Bereich der Verbindungsstellen anderweitig zu bearbeiten.

[0013] Werden die Aufweitungsbereiche der Platten vor der Glühbehandlung nur partiell aufgeweitet, so kann der Aufweitungsbereich $dp(Si) \geq 5\%$ oder $\geq 10\%$ oder $\geq 20\%$ oder $\geq 30\%$, gegebenenfalls auch $\geq 50\%$ oder $\geq 75\%$ des endgültigen Aufweitungsbereiches $dA(Si)$ betragen. Der partielle Aufweitungsbereich $dp(Si)$ vor der Glühbehandlung an der jeweiligen Stelle Si kann $\leq 90\%$ oder $\leq 80\%$ oder $\leq 65\%$ des endgültigen Aufweitungsbereiches $dA(Si)$ betragen, gegebenenfalls auch $\leq 50\%$ oder $\leq 40\%$ desselben. Eine partielle Aufweitung des jeweiligen Bereichs auf einen mittleren Abstandsbereich, also im Bereich von 10% bis 90% oder 30% bis 70% der endgültigen Aufweitung $dA(Si)$, insbesondere auch ca. 50% desselben, hat sich vielfach als günstig herausgestellt. Vorzugsweise ist der partielle Aufweitungsbereich $dp(Si)$ derart bemessen, dass die Aufweitungen relativ nahe oder bis an die Verbindungs-

stellen heranreichen und somit die Platten möglichst über deren gesamten Bereich zwischen den Verbindungsstellen zumindest geringfügig voneinander beabstandet sind, um ein Anhaften der Platten während der Glühbehandlung möglichst weitgehend zu vermeiden. Andererseits können durch einen nicht zu hohen partiellen Aufweitungsbereich Spannungen in den Verbindungsstellen verringert werden, was insbesondere relevant ist, wenn Aufhängungen im Bereich der Verbindungsstellen bei dem Fügeverfahren wie Verschweißen der Platten entstehen können oder wenn die Aufweitung mit besonders hohem Aufweitungsdruk erfolgen muss, bspw. bei komplexen Geometrien des Plattenverbundes wie bei mehrachsigen Krümmungen. Ferner kann die Aufweitungshöhe an notwendige Bearbeitungen der Plattenoberflächen wie Schleifarbeiten angepasst werden. Die Gesamtaufweitung kann somit gegebenenfalls auf zwei Aufweitungsschritten (nämlich vor und nach der Glühbehandlung) relativ gleichmäßig verteilt werden.

[0014] Vorzugsweise werden nach der zumindest partiellen (gegebenenfalls vollständigen) Aufweitung der Aufweitungsbereiche der mindestens eine oder die durch die Aufweitung erzeugten fluiddurchströmbareren Zwischenräume zwischen den Platten mit Vakuum beaufschlagt und oder mit einem Inertgas befüllt, und dann anschließend mit der Vakuumbeaufschlagung oder Intergasbefüllung die Glühbehandlung durchgeführt. Hierzu können bspw. die Zwischenräume gegenüber der Umgebung in geeigneter Weise abgeschlossen werden. Als Intergas sind bspw. Edelgase wie Helium oder Argon aber auch gegebenenfalls andere geeignete Gase einsetzbar. Hierdurch wird verhindert, dass die Innenflächen der Platten, insbesondere auch in Bereich der Verbindungsstellen, beim Glühen mit Sauerstoff oder anderen reaktiven Bestandteilen der Luft reagieren. Die Ausbildung von Anlauffarben oder lokale Oxidbildung oder dergleichen an den genannten Bereichen, welche bspw. die chemische oder sonstige Beständigkeit der genannten Bereiche beeinträchtigen könnten, werden hierdurch vermieden. Eine Beeinträchtigung könnte bspw. durch Wechselwirkung mit dem Wärmetauschermedium oder über die Lebensdauer des Wärmetauschers durch nachteilige metallurgische Vorgänge, auch im mikroskopischen Bereich, erfolgen. Dies ist insbesondere bei Wärmetauscherelementen besonders vorteilhaft, welche beim Betrieb hohen Temperaturen und/oder hohen Drucken und/oder hohen Wechselbelastungen ausgesetzt sind.

[0015] Vorzugsweise beträgt der Gasdruck des Inertgases in den Plattenzwischenräumen vor Durchführung der Glühbehandlung $\geq 0,01$ bar oder $\geq 0,05$ bar, besonders bevorzugt $\geq 0,1$ bar oder $\geq 0,25$ bar, bspw. im Bereich von $0,5$ bar, wobei sich dieser Gasdruck auf 20°C bezieht (jeweils Absolutdruck). Mit diesem Inertgasdruck in den Zwischenräumen wird

dann die Glühbehandlung durchgeführt. Hierdurch liegt ein signifikanter Gasdruck in den partiell aufgeweiteten Zwischenräumen während der Glühbehandlung vor, welcher einerseits die Anwesenheit reaktiver Luftbestandteile im Zwischenraum vermindert. Vor der Druckeinstellung des Inertgases in den Zwischenräumen können diese gespült werden, um reaktive Gasbestandteile wie Sauerstoff zu entfernen.

[0016] Der Inertgasdruck in den Zwischenräumen bei 20°C kann beispielsweise < 1 bar oder < 5 bar (jeweils Absolutdruck) betragen, unter Umständen auch höher, ohne hierauf beschränkt zu sein. Ein zu hoher Inertgasdruck in den Zwischenräumen ist zu vermeiden.

[0017] Allgemein betrifft die Erfindung auch die Wärmetauscherelemente selber, welche durch das erfindungsgemäße Verfahren hergestellt werden, sowie Vorrichtungen, bspw. Behälter und Reaktoren, mit den entsprechenden Wärmetauscherelementen.

[0018] Allgemein im Rahmen der Erfindung kann der Plattenverbund vorzugsweise vor der zumindest partiellen Aufweitung der Aufweitungsbereiche auf den Abstand $d_p(\text{Si})$ einer mechanischen Umformung unterworfen werden. Die partielle oder auch vollständige Aufweitung erfolgt somit bei bereits umgeformtem Plattenverbund, wodurch die oben beschriebenen Vorteile sich in besonderem Maße ergeben.

[0019] Die mechanische Umformung oder Ausbauchung des Plattenverbundes kann jeweils durch geeignete Verfahren, insbesondere mechanische Verfahren, erfolgen, beispielsweise durch Biegen, Tiefziehen, Kumpeln, Pressen oder dergleichen. Die Ausbauchung oder Deformation des Plattenverbundes erstreckt sich jeweils vorzugsweise über mehrere oder eine Vielzahl der lokalen Aufweitungsbereiche, insbesondere auch über einen größeren Bereich des Plattenverbundes, beispielsweise $\geq 25\%$ oder $\geq 50\%$ der Fläche des Plattenverbundes oder praktisch über den gesamten Plattenverbund. Der resultierende Plattenverbund kann hierbei bspw. die Form eines Zylindersegmentes oder -abschnittes, einer Senke oder Wölbung wie beispielsweise bei Herstellung eines gewölbten Bodenelementes oder auch weitergehende komplexe Formen aufweisen. Das erfindungsgemäße Verfahren trägt hierbei den bei derartigen mechanischen Umformungen notwendigen Glühbehandlungen des Plattenwerkstoffes besonders Rechnung.

[0020] Besonders bevorzugt ist das erfindungsgemäße Verfahren einsetzbar, wenn die mechanische Umformung des Plattenverbundes mehrachsig erfolgt, also bei einer Umformung unter Erzeugung oder Veränderung von Krümmungsradien von Teilbereichen des Plattenverbundes oder des gesamten Plattenverbundes in zumindest zwei oder mehr Richtun-

gen, wobei diese Richtungen jeweils einen Winkel von ungleich 180° zueinander einschließen, wie dies bspw. bei einem Kugelsegment oder einer dreidimensionalen Wölbung der Fall ist. Die Aufweitungen können hier aber auch allgemein im Rahmen der Erfindung jeweils an den konkav aber insbesondere auch konvex gekrümmten Bereichen des Plattenverbundes vorgesehen sein, also im Inneren der Plattenkrümmung. Hierdurch sind komplexere Wärmetauscherelemente besonders bevorzugt herstellbar, beispielsweise solche, bei welchen der Plattenverbund über einen größeren Teilbereich desselben, welcher mehrere oder eine Vielzahl von lokalen Aufweitungsbereichen umfasst, ein- und/oder ausgebaucht sein kann.

[0021] Die Ausbildung der dauerhaften Verbindungsstellen der beiden Platten miteinander kann ebenfalls bevorzugt durch eine Schweißverbindung der Platten erfolgen, insbesondere durch Laserschweißen, Mag-Schweißen, Wig-Schweißen oder Widerstandspunktschweißung in Kombination mit Rollnahtschweißung oder andere geeignete Schweißverfahren. Es können Schweißverfahren mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoff eingesetzt werden.

[0022] Der Fügebereich der Verbindungsstellen kann insbesondere vollumfänglich geschlossen ausgebildet sein, wie beispielsweise durch Erzeugung einer kreisförmigen Schweißnaht, gegebenenfalls aber auch linienförmig oder punktförmig.

[0023] Durch die Plattenaufweitung zwischen den Verbindungsstellen wird zumindest ein fluiddurchströmbarer Zwischenraum für das Wärmetauschermittel ausgebildet, welcher sich vorzugsweise über zumindest die gesamte Flächenerstreckung der Platten erstreckt, bis auf die randseitigen Abschlüsse der Platten. Oder auch mehrere fluiddurchströmbar Zwischenräume. Vorzugsweise wird durch die Aufweitungsbereiche ein zweidimensionales Netz von fluiddurchführend miteinander in Verbindung stehenden Zwischenräumen ausgebildet, wozu isolierte Verbindungsstellen über die Plattenflächen verteilt angeordnet sein können. Die Verbindungsstellen können hierbei in einem unregelmäßigen aber vorzugsweise gleichmäßigen Raster über die Plattenflächen angeordnet sein, beispielsweise mit einem hexagonalen oder orthogonalen Raster, bspw. in Ausbildung eines quadratischen oder rechteckigen Musters der Verbindungsstellen. Es kann jedoch bspw. auch lediglich ein linienförmiger oder mäandrierender Kanal oder auch mehrere solche Kanäle als fluiddurchströmbarer Zwischenraum durch die Druckaufweitung erzeugt werden, so dass bspw. nur zwei linienförmige Verbindungsstellen als Kanalbegrenzung vorliegen können. Weitere Abwandlungen sind gegeben.

[0024] Die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist nicht auf bestimmte Werkstoffe beschränkt, die Platten des erfindungsgemäßen Wärmetauscherelementes können aus verschiedensten Materialien bestehen. Die beiden Platten können je nach Anwendungsfall aus demselben oder aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen. Insbesondere seinen als Plattenwerkstoff austenitischer Stahl und Duplexstahl, einschließlich Superduplexstahl, genannt, aber auch ferritischer Stahl oder andere metallische Werkstoffe wie nicht-Eisen Werkstoffe sind einsetzbar.

[0025] Als ferritische oder austenitische Stähle seien insbesondere solche verstanden, bei welchen das Grundgefüge mit ferritischer bzw. austenitischer Struktur vorliegt, welche gegebenenfalls auch andere Phasen, insbesondere als Einschlüsse, aufweisen können, bspw. mit einem Volumenanteil der Fremdphasen am Gesamtgefüge von $\leq 25\%$ oder $\leq 20\%$ oder $\leq 10\%$, insbesondere $\leq 5\%$. Als Beispiele austenitischer Stähle seien die Werkstoffnummern 1.4435, 1.4529, 1.4541, 1.4571, 1.4539, 1.4401, 1.4404, 1.4301, 1.4306, 1.4307, 1.4550, 1.4529, 1.4547 genannt. Ferner seien beispielhaft die Stähle 1.0425, 1.0565, 1.0566, 1.5415 und 1.4462 genannt.

[0026] Als Duplexstahl sei ein Stahl mit zweiphasigem Gefüge verstanden, welcher aus einer Ferrit-Matrix mit Inseln aus Austenit besteht. Durch den Gehalt an Austenitbildnern wie beispielsweise Ni, N, Mn ist das Gefüge vorzugsweise derart eingestellt, dass bei 20°C nicht das gesamte Gefüge austenitisch ist bzw. nach einer Glühbehandlung und Abkühlung auf 20°C nicht austenitisch wird. Die austenitischen Bereiche sind vorzugsweise bei 20°C stabil. Bei Duplexstählen liegen vorzugsweise zumindest ungefähr gleiche Volumenanteile an ferritischem und austenitischem Gefüge vor, beispielsweise ca. 30-70 Vol.-% oder 40-60 Vol.-% oder ca. 50 Vol.-% ferritisches Gefüge und 70-30 Vol.-% oder 60-40 Vol.-% oder ca. 50 Vol.-% austenitisches Gefüge, wobei ferritische und austenitische Bestandteile zumindest im Wesentlichen das Gesamtgefüge ausbilden. Beispielsweise seien hier die Stähle 1.4462 (X 2CrNiMoN 22-5-3), 1.4462, 1.4658 oder 1.4362 genannt. Ergänzend sei nickelreduzierter Duplexstahl genannt, welcher bspw. nur einen Nickelgehalt im Bereich von 0,5-2 Gew.-% aufweisen kann, bspw. etwa 1 Gew.-%.

[0027] Allgemein können die beiden Platten des Wärmetauscherelementes aus einem Stahl mit einem Chromgehalt von $\geq 10,5\%$ oder $\geq 16,5\%$ bestehen, welcher austenitisches oder ferritisches Grundgefüge aufweisen kann (solche Stähle werden allgemein als nicht rostender Stahl bezeichnet), wobei weitere Legierungsbestandteile wie Ni, Mo, Mn, Nb usw. vorliegen können. Der Nickelgehalt

des Werkstoffes kann jeweils insbesondere $\geq 2\%$ Gew.-% oder $\geq 4\%$ Gew.-% betragen. Beispielhaft genannt seien die Stähle X 5 CrNiMo 17-12-2, X 2CrNi 18-8, X 5CrNiMo 17-12-2 (ST 1.4401) oder dergleichen.

[0028] Insbesondere kann der Plattenwerkstoff jeweils aus einem Material der Werkstoffgruppen nach AD 2000 HP0 bestehen, insbesondere der Werkstoffgruppen 1.1, 1.2, 5.1, 6, 7, 8, insbesondere 8.1, 8.2, 10, insbesondere 10.1, 42, 43, 44, 45, 51, insbesondere 51.1, 51.2, 51.3. Ferner seinen alle Werkstoff nach ASME Code Sec.II A und ASME Code Sec.II B beispielhaft genannt.

[0029] Die Erfindung kann aber auch bei anderen Plattenwerkstoffen eingesetzt werden, bspw. bei Nickelbasiswerkstoffen wie Hastelloy oder den Werkstoffen 2.4602, 2.4605 oder 2.4610, gegebenenfalls auch bei Titan oder Titanlegierungen.

[0030] Die Werkstoffnummern beziehen sich jeweils auf die einschlägige DIN-Norm oder EN-Normen in der am 01.01.2016 gültigen Fassung, bspw. nach DIN EN 10088/2.

[0031] Der jeweilige Plattenwerkstoff kann allgemein ein schweißbares Metall bzw. Legierung sein.

[0032] Die Glühbehandlung bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann insbesondere bei einer Temperatur von $\geq 450^\circ\text{C}$ erfolgen, beispielsweise im Temperaturbereich von 450°C bis 700°C oder von 480°C bis 680°C . Derartige Temperaturen können insbesondere bei einem Spannungsarmglühen des jeweiligen Plattenwerkstoffes, insbesondere Stahls, vorliegen. Die Glühbehandlung bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann beispielsweise auch bei Temperaturen von $\geq 600^\circ\text{C}$ erfolgen, beispielsweise im Bereich von $600-800^\circ\text{C}$ oder im Bereich von 650°C bis 750°C . Die Glühdauer bei den jeweiligen Temperaturen kann beispielsweise $\geq 15\text{ min}$, $\geq 25\text{ min}$ oder $\geq 1\text{ Stunde}$, oder auch $\geq 2\text{ Stunden}$ oder $\geq 4\text{ Stunden}$ oder betragen, insbesondere auch $\geq 12\text{ Stunden}$ oder $\geq 24\text{ Stunden}$, je nach Werkstoffanforderungen, ohne hierauf beschränkt zu sein.

[0033] Die Glühbehandlung bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann insbesondere auch bei Temperaturen $\geq 750^\circ\text{C}$ oder $\geq 800^\circ\text{C}$, insbesondere auch bei $\geq 850^\circ\text{C}$ oder $\geq 900^\circ\text{C}$ oder $\geq 950^\circ\text{C}$, insbesondere $\geq 1.000^\circ\text{C}$ oder $\geq 1.050^\circ\text{C}$ oder $\geq 1.100^\circ\text{C}$ erfolgen. Derartige Temperaturen werden oftmals beim Normalglühen oder Lösungsglühen bzw. Diffusionsglühen von Stählen oder auch anderen Werkstoffen angewandt. Die Glühdauer bei den genannten Temperaturen kann beispielsweise $\geq 5\text{ min}$, $\geq 10\text{ min}$ oder $\geq 20\text{ min}$, insbesondere auch $\geq 30\text{ min}$ usw. betragen oder auch $\geq 1\text{ Stunden}$ oder $\geq 4\text{ Stunden}$ oder $\geq 12\text{ Stunden}$, ohne hierauf beschränkt zu sein.

[0034] Allgemein ist das erfindungsgemäße Verfahren besonders vorteilhaft anwendbar, wenn die Glühbehandlung bei höheren Temperaturen und über längere Glühdauern gemäß der Materialspezifikation des jeweiligen Werkstoffes erforderlich ist. Die Glühbehandlung kann allgemein als Weichglühen, Spannungsarmglühen, Grobkornglühen, Rekristallisationsglühen, insbesondere auch als Normalisieren (Normalglühen), Lösungsglühen oder Diffusionsglühen oder dergleichen, wie diese für die entsprechenden Werkstoffspezifikationen des eingesetzten Plattenwerkstoffes und/oder die Ausbildung der Verbindungsstellen, insbesondere bei Schweißverbindungen, einsetzbar oder vorgeschrieben sind. Dies umfasst auch den Übergangsbereich der Verbindungsstellen, insbesondere Schweißverbindungen, zum Plattenwerkstoff, welcher gegebenenfalls durch Materialveränderungen beim Fügevorgang wie Aufhärtungen, Aufmischungen der Werkstoffe miteinander usw. verändert sein kann, was eine geeignete Glühbehandlung erforderlich machen kann.

[0035] Nach der Glühbehandlung kann der Plattenverbund je nach Materialanforderungen abgeschreckt werden, bspw. im Ölbad oder auf andere geeignete Weise.

[0036] Allgemein kann die Glühbehandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch stufenweise, d.h. bei mehreren unterschiedlichen Glühtemperaturen T1 und T2 mit T2 ungleich T1 erfolgen, beispielsweise T1 > T2 oder T1 < T2. In diesem Fall kann bei den beiden Stufen des Glühverfahrens mit unterschiedlichen Temperaturen T1 und T2 das Teilvakuum oder der Inertgasdruck bezogen auf 20°C in den jeweiligen partiellen Aufweitungsbereichen eine unterschiedliche Höhe aufweisen. Beispielsweise kann hierdurch der Inertgasdruck der Glühbehandlung angepasst sein. Allgemein im Rahmen der Erfindung kann die Glühbehandlung mehrstufig mit einzelnen Schritten bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt werden.

[0037] Bei der Druckaufweitung zwischen den Verbindungsstellen können eine oder beide Platten unter Ausbildung von Aufweitungsbereichen deformiert werden. Die beiden Platten des Wärmetauschers können zumindest ungefähr dieselbe Wandstärke aufweisen oder insbesondere auch unterschiedliche Wandstärken. Die Wandstärken der ersten und zweiten Platte können ein Verhältnis von $\geq 1,5$ oder ≥ 2 aufweisen, beispielsweise auch ≥ 4 oder ≥ 10 oder ≥ 20 . Das erfindungsgemäße Verfahren kann der für die dickere Platte einzusetzenden Glühbehandlung in besonderer Weise Rechnung tragen.

[0038] Weiterhin von der Erfindung umfasst ist ein Wärmetauscherelement hergestellt nach dem erfindungsgemäßen Verfahren sowie die das erfindungs-

gemäß hergestellte Wärmetauscherelement umfassende Vorrichtung.

[0039] Hierbei sei darauf hingewiesen, dass sich das erfindungsgemäß hergestellte Wärmetauscherelement von nach herkömmlichen Verfahren hergestellten Wärmetauscherelementen unterscheidet, bei welchen aufgrund der Glühbehandlung im Bereich der später erzeugten Aufweitungsbereiche die beiden Platten oberflächlich aneinanderhaften. Durch die Lösung der Plattenanhaftung im Zuge der Aufweitung bzw. Erzeugung der fluiddurchströmbaren Zwischenräume nach der Glühbehandlung erfolgt bei herkömmlichen Verfahren eine gewisse Änderung der Oberflächenstruktur der Platten, beispielsweise eine gewisse Aufrauung derselben oder oberflächliche Änderungen der Gefügestruktur. Diese Einflüsse sind durch geeignete oberflächenanalytische Verfahren, insbesondere auch mikroskopische Verfahren wie Lichtmikroskopische oder Elektronenmikroskopische Verfahren, nachweisbar. Als Referenz hierzu kann die Oberflächenstruktur bzw. Oberflächenrauigkeit der Platten im Ausgangszustand vor der Aufweitung herangezogen werden. Sind die Verbindungsstellen beispielsweise als umlaufend geschlossene Verbindungen wie kreisförmige Verbindungen ausgeführt, beispielsweise als Schweißverbindungen, so entspricht der Zentrumsbereich der Verbindungsstellen dem Ausgangszustand der Plattenoberflächen vor der Druckaufweitung.

[0040] Der erfindungsgemäße Plattenverbund des Wärmetauscherelementes kann konkav und/oder konvex gekrümmte Bereiche aufweisen oder insgesamt konkav oder konvex gekrümmt sein. Die zumindest eine mit Aufweitungen versehene Platte des Verbundes kann auf der konkav oder auf der konvex gekrümmten Seite des Verbundes angeordnet sein, gegebenenfalls können auch auf der konkav und der konvex gekrümmten Seite bzw. Seitenbereichen des Verbundes Aufweitungen der jeweiligen Platte vorgesehen sein

[0041] Die erfindungsgemäß hergestellten Wärmetauscherelemente können beispielsweise Teilbereiche von Behältern, einschließlich Reaktoren, Rührwerksbehältern, oder Rohrabschnitte bzw. Rohrbögen, welche geradlinig oder gebogen ausgeführt sein können, konusförmige Wärmetauscherelemente oder Teilbereiche anderer Vorrichtungen darstellen oder die jeweilige Vorrichtung ausbilden. Im Falle von Behältern, einschließlich Reaktoren, können die Seitenwand und/oder einer oder beide Böden (ober- und unterseitiger Boden) derselben mittels der erfindungsgemäß hergestellten Wärmetauscherelemente ausgebildet sein, wobei die Böden insbesondere gewölbte Böden wie Klöpperböden, Korbböden, elliptische Böden oder Halbkugelböden sein können. Beispielsweise können Klöpperböden gemäß DIN 28011 definiert sein, Korbbögenböden nach DIN 28013,

oder jeweils nach den einschlägigen US ASME-Normen oder chinesischen Normen (ML-Lizenzen) wie bspw. ASME F & D, NFE 81-103, ASME VIII DIV.1 oder dergleichen, ohne hierauf beschränkt zu sein.

[0042] Die Aufweitungen der zumindest einen Platte des Plattenverbundes können jeweils an der Außenseite oder insbesondere auch Innenseite der jeweiligen Vorrichtung angeordnet sein, insbesondere jeweils auch bei Seitenwänden und/oder Böden von Behältern, einschließlich Reaktoren, oder an mehrachsig gekrümmten Bereichen derselben.

[0043] Die im Rahmen der Erfindung genannten Normen wie insbesondere DIN-Normen, EN- oder ASME-Normen beziehen sich jeweils auf Normen in der am 01.01.2016 gültigen Fassung, sofern sich aus dem Zusammenhang im Einzelnen nichts anderes ergibt.

[0044] Die Erfindung wird anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben, wobei sämtliche Merkmale des Ausführungsbeispiels auch unabhängig von den übrigen Merkmalen allgemein im Rahmen der Erfindung offenbart seien. Es zeigen:

Fig. 1: eine Querschnittsdarstellung eines Behälters mit erfindungsgemäß hergestellten Wärmetauscherelementen als Teil der Seitenwandung und des Bodens des Behälters,

Fig. 2: einen Abschnitt der Seitenwandung des Behälters nach **Fig. 1** in Ausbildung als Wärmetauscherelement mit erster und zweiter Platte desselben vor der Aufweitung der fluiddurchströmbar Zwischenräume,

Fig. 3: eine Darstellung entsprechend **Fig. 2** mit Teilaufweitung der fluiddurchströmbar Zwischenräume (**Fig. 3a**) und Detailansicht (**Fig. 3b**),

Fig. 4: eine Darstellung entsprechend **Fig. 3** mit vollständiger Aufweitung der fluiddurchströmbar Zwischenräume in Ausbildung des Wärmetauscherelementes.

[0045] Die **Fig. 1-Fig. 4** zeigen eine Vorrichtung, deren Wärmetauscherelemente mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt. Die Vorrichtung ist hier beispielhaft als Behälter, im speziellen als Reaktor ausgebildet, die Ausführungen gelten allgemein auch für andere Vorrichtungen und Wärmetauscher und andere erfindungsgemäße Verfahren.

[0046] Der Behälter **1** (**Fig. 1**) weist eine Seitenwand **2** und einen Behälterboden **3** auf, welche jeweils zumindest teilweise als erfindungsgemäße Wärmetauscherelemente **4** hergestellt sind. Es versteht sich, dass an dem Behälter auch andere Teilbereiche als erfindungsgemäß hergestellte Wärmetauscherelemente ausgebildet sein können, oder nur Seiten-

wand oder nur Boden. Die folgenden Ausführungen sind beispielhaft an dem als Seitenwandbereich ausgebildeten Wärmetauscherelement dargestellt, gelten entsprechend aber auch allgemein.

[0047] Das Wärmetauscherelement **4** umfasst jeweils zwei zumindest im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Platten **5, 6** (**Fig. 1, Fig. 2**). Die erste Platte **5** ist hier behälteraußenseitig und die zweite Platte **6** behälterinnenseitig angeordnet. Allgemein im Rahmen der Erfindung kann die erste Platte auch behälterinnenseitig und die zweite Platte behälteraußenseitig angeordnet sein. Die erste Platte **5** weist hier eine höhere Materialstärke als die zweite Platte **6** auf, beispielsweise die etwa 4-fache Wandstärke, es kann aber auch die zweite Platte eine höhere Materialstärke oder beide Platten zumindest im Wesentlichen dieselbe Wandstärke aufweisen, die Ausführungen gelten dann entsprechend. Die Platten **5, 6** bestehen hier beispielhaft aus einem austenitischen Stahl wie bspw. mit Werkstoffnummer 1.4435 oder Duplexstahl wie mit bspw. Werkstoffnummer 1.4462 oder aber auch ferritischem Stahl, ohne aber hierauf beschränkt zu sein. Vorzugsweise bestehen beide Platten **5, 6** jeweils aus demselben Werkstoff, gegebenenfalls aber auch aus unterschiedlichen Werkstoffen.

[0048] Die beiden Platten **5, 6** sind über eine Vielzahl von über die Plattenflächen verteilt angeordneten Verbindungsstellen **7** miteinander dauerhaft, vorzugsweise zugkraftaufnehmend, unter Erzeugung eines Plattenverbundes verbunden, die Anzahl und/oder Anordnung der Verbindungsstellen kann aber anders als dargestellt sein. Die Verbindungsstellen **7** sind hier als Schweißverbindungen ausgebildet, beispielsweise durch Laserschweißen. Die Schweißnaht der Verbindungsstellen ist hier umfänglich geschlossen ausgebildet, im speziellen kreisbogenförmig, wobei der Durchmesser der Verbindungsstellen hier wesentlich größer ist als die zweifache Breite der Schweißnaht ist, die Verbindungsstellen **7** können jedoch auch anders ausgebildet sein, beispielsweise auch linienförmig oder punktförmig.

[0049] Zur Herstellung des Wärmetauscherelementes **4** werden die zwischen den Verbindungsstellen **7** angeordneten Bereiche zumindest einer oder beider der Platten, hier der zweiten Platte **6**, unter Ausbildung zumindest eines fluiddurchströmbar Zwischenraumes **8** aufgeweitet. Nach dem Ausführungsbeispiel ist eine Vielzahl von derartigen Zwischenräume **8** ausgebildet, welche miteinander fluiddurchströmbar zu einem zweidimensionalen Netz von Kanälen verbunden sind.

[0050] Die Zwischenräume **8** werden somit durch die Aufweitungsbereiche **9**, welche zwischen den Verbindungsstellen **7** angeordnet sind, erzeugt. Die beiden Platten **5, 6** weisen somit an den Stellen maxima-

ler lokaler Aufweitung der Aufweitungsbereiche **9**, also bei betriebsbereitem Wärmetauschererelement, einen Abstand $dA(Si)$ auf (d.h. als Abstand der Plattenoberflächen), welcher somit zugleich die Höhe der fluiddurchströmbaren Zwischenräume definieren kann (siehe **Fig. 4**). Die Aufweitungsbereiche **9**, welche somit gegenüber dem Korpus der jeweiligen Platte Ausbauchungen darstellen, werden durch Druckaufweitung erzeugt. Hierzu kann in bekannter Weise zwischen die beiden Platten **5, 6** ein fluides Druckaufweitungsmittel, insbesondere eine Flüssigkeit wie bspw. Wasser, mit hohem Druck eingepresst werden, in Abhängigkeit von der Plattenstärke beispielsweise einem Druck von ≥ 50 bar oder auch ≥ 100 bar oder ≥ 200 bar. Der Plattenabstand an den einzelnen Stellen S_i maximaler lokaler Aufweitung ist für die verschiedenen Stellen S_i nach dem Ausführungsbeispiel jeweils derselbe, gegebenenfalls können in speziellen Ausführungsformen jedoch an verschiedenen Stellen S_i maximaler Plattenaufweitung auch unterschiedliche Plattenabstände $dA(S_i)$ vorliegen.

[0051] Die Wärmetauschererelemente **4** des Behälters, hier die Wärmetauschererelemente **4'** als Teile der Behälterseitenwand und die Wärmetauschererelemente **4''** als Teile des Behälterbodens, sind nach dem Ausführungsbeispiel durch Umformung ebener Platten **5, 6** hergestellt. Hierzu wird aus den Platten **5, 6** unter Erzeugung der Verbindungsstellen **7** zunächst ein ebener Plattenverbund hergestellt. Der Plattenverbund wird dann in bekannter Weise mechanisch umgeformt, um die gewünschte Geometrie des Plattenverbundes bzw. Wärmetauschererelementes zu erhalten, beispielsweise zur Herstellung eines zylindrischen oder teilzylindrischen Elementes für die Behälterseitenwand oder zur Erzeugung des Wärmetauschererelementes des Behälterbodens durch Tiefziehen, Kumpeln, Pressen oder dergleichen.

[0052] Das Wärmetauschererelement **7** weist in einer der beiden Platten **5, 6**, hier in der ersten Platte **5**, Durchbrechungen **10** auf, welche dem Einlass und dem Auslass eines Wärmetauschermediums, beispielsweise Wasser, in die fluidführenden Zwischenräume **8** zum bestimmungsgemäßen Betrieb des Wärmetauschererelementes dienen. Das Wärmetauschererelement **4** kann beispielsweise zum Kühlen oder zum Erhitzen des Behälterinhaltes oder eines das Wärmetauschererelement umgebenden Mediums dienen. Die Durchbrechungen **10** gemäß **Fig. 2** sind fluidführend mit einer Zuleitung **11** zur Zufuhr des Wärmetauschermediums verbunden. Alternativ können bei Bedarf die Durchbrechungen **10** auch in der zweiten Platte **6** vorgesehen sein. Es versteht sich, dass an anderer Stelle des Wärmetauschererelementes eine entsprechende Ableitung für das Wärmetauschermedium vorgesehen ist. Durch die Zuleitung **11** kann zugleich das Druckmedium zur Erzeugung der Aufweitungsbereiche zwischen die beiden Platten **5, 6** eingepresst werden, gegebenenfalls kann je-

doch auch eine separate oder anderweitige Zuleitung für das Druckaufweitungsmittel zwischen die Platten **5, 6** vorgesehen sein. Die Zuleitung **11** für das Wärmetauschermedium kann somit auch in einem anderen Verfahrensschritt an dem Wärmetauschererelement angebracht werden, gegebenenfalls auch nach der Erzeugung der Aufweitungsbereiche oder nach der nachfolgend beschriebenen Glühbehandlung des Plattenverbundes. Entsprechendes gilt für den Zeitpunkt der Einbringung der Durchbrechungen **10** zur Zuführung des Druckaufweitungsmittels bzw. der Durchbrechungen zur Zuführung des Wärmetauschermediums zwischen die Platten **5, 6**.

[0053] Der Plattenverbund mit den Platten **5, 6** wird einer Glühbehandlung unterzogen, entsprechend der Materialspezifikation der für die Platten **5, 6** und/oder für die Schweißmaterialien eingesetzten Werkstoffe. Diese Glühbehandlung ist oftmals erforderlich, um nach der mechanischen Umformung des Plattenverbundes den jeweiligen Wärmetauscher oder die jeweilige Vorrichtung bestimmungsgemäß auszubilden. Ferner ist diese Glühbehandlung oftmals erforderlich, um nach der Schweißverbindung der Platten den Plattenwerkstoff zu konditionieren, bspw. aufgrund der in diesem durch den Schweißvorgang erzeugten Gefügeänderungen. Die Glühbehandlung kann beispielsweise als Lösungsglüh bei Temperaturen $\geq 1.000^\circ\text{C}$ erfolgen, aber auch bei anderen Temperaturen.

[0054] Vor der Glühbehandlung werden erfindungsgemäß die Aufweitungsbereiche **9** unter Erzeugung eines Plattenabstandes ausgebildet, mit partieller oder vollständiger Aufweitung vor der Glühbehandlung. Nach dem Ausführungsbeispiel erfolgt vor der Glühbehandlung zunächst eine partielle Aufweitung auf den Abstand $dp(S_i)$, wobei der Plattenabstand $dp(S_i)$ (**Fig. 3**) kleiner als der endgültig aufgeweitete Plattenabstand $dA(S_i)$ (**Fig. 4**). Die jeweilige Stellen S_i ist die Stelle maximaler lokaler Aufweitung des jeweiligen Aufweitungsbereiches (siehe **Fig. 3a**; in der Detailansicht **Fig. 3b** sind die Abstände $dA(S_i)$ und $dp(S_i)$ anhand der Verbindungslinien zweier Aufweitungsbereiche dargestellt). Die partielle Aufweitung vor der Glühbehandlung kann derart erfolgen, dass an den Stellen S_i , vorzugsweise im gesamten Aufweitungsbereich **9** zur Erzeugung des jeweiligen fluiddurchströmbaren Zwischenraumes **8**, die erste und die zweite Platte zumindest geringfügig voneinander beabstandet werden. Diese partielle Aufweitung kann mit demselben Druckmedium erfolgen, wie auch die endgültige Aufweitung auf den Abstand $dA(S_i)$, wobei vorzugsweise jedoch das Druckaufweitungsmittel dann mit einem geringeren Druck eingesetzt wird. Nach dem Ausführungsbeispiel (siehe **Fig. 3**) erfolgt die partielle Aufweitung beispielsweise auf einen Abstand $dp(S_i)$ im Bereich von 30-70% des endgültigen Aufweitungsabstandes $dA(S_i)$, hier ca. 50%.

[0055] Durch die zumindest partielle Aufweitung auf den Abstand $d_p(\text{Si})$ oder ggf. den Abstand $d_A(\text{Si})$ an den jeweiligen Stellen Si sind erfindungsgemäß bei der nachfolgenden Glühbehandlung die Platten **5, 6** zumindest geringfügig voneinander beabstandet sind und somit während der Glühbehandlung nicht aneinanderhaften. Diese Beabstandung vor der Glühbehandlung erfolgt über einen Teil oder vorzugsweise über die gesamte Erstreckung des Aufweitungsbereichs **9**, wie dieser bei endgültiger Aufweitung zum Abstand $d_A(\text{Si})$ vorliegt. Hierdurch wird teilweise oder möglichst vollständig vermieden, dass aufgrund der genannten Glühbehandlung die Platten im Aufweitungsbereich aneinander anhaften, was insbesondere bei höheren Glühtemperaturen und/oder längeren Glühdauern bei herkömmlichen Verfahren oftmals der Fall ist. Dieses Anhaften kann beispielsweise durch Oberflächendiffusion der Plattenwerkstoffe ineinander erfolgen, ohne durch die Theorie gebunden zu sein. Durch das oberflächliche Anhaften der Platten **5, 6** bei herkömmlichen Verfahren ist ein erhöhter Druck für die Druckaufweitung einzusetzen ist, oder teilweise eine Druckaufweitung sogar ganz unmöglich, was erfindungsgemäß vermieden wird, so dass bei der Aufweitung die Verbindungsstellen wesentlich weniger belastet werden. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn ohnehin bereits ein vergleichsweise hoher Aufweitungsdruk erforderlich ist, bspw. wenn für die Aufweitung ungünstige Geometrien vorliegen, wie zum Beispiel bei gekrümmten Platten **5, 6**, insbesondere wenn bei gekrümmten Platten die Aufweitungsbereiche im Bereich konvexer Plattenkrümmung angeordnet sind. Dies ist bei dem Ausführungsbeispiel der Fall, wo gemäß **Fig. 3** die beiden Platten **5, 6** unter Ausbildung des Zylinderabschnittes innen-seitig konvex gekrümmt sind und die Aufweitungsbereiche **9** entgegen der vorgegebenen Krümmung der Platten **5, 6** zum Behälterinneren hin auszubauchen sind. Dadurch werden das aufzuweitende Plattenmaterial und insbesondere auch die Verbindungsstellen bei der Aufweitung sehr hoch beansprucht. Beim gewölbten Behälterboden (siehe **Fig. 1**), beispielsweise in Ausführung als Klöpfer- oder Korbbojenboden, sind diese Verhältnisse nochmals verschärft, da der Plattenverbund entlang zweier einen Winkel zueinander einschließender Axialrichtungen (welche hier orthogonal zueinander stehen) umgeformt wird und somit die Aufweitungsbereiche verstärkt durch die Plattenkrümmung eingeengt sind, was entsprechend auch bei anderen mehrachsig umgeformten Plattenverbänden gilt. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden somit auch die Verbindungsstellen und die Plattenbereiche um diese bei der Aufweitung weniger belastet, welche insbesondere in Ausführung als Schweißverbindung oftmals erst nach der Glühbehandlung ihre endgültige Festigkeit aufweisen. Der erfindungsgemäß hergestellte Wärmetauscher weist somit auch eine erhöhte Betriebssicherheit und/oder Lebensdauer auf.

[0056] Nach der (zumindest) partiellen Aufweitung der Aufweitungsbereiche auf den Abstand $d_p(\text{Si})$ erfolgt dann bestimmungsgemäß die Glühbehandlung mit dem Plattenverbund mit partiell aufgeweiteten Aufweitungsbereichen. Die Glühbehandlung kann je nach Erfordernissen bspw. bei Temperaturen $\geq 450^\circ\text{C}$ oder $\geq 750^\circ\text{C}$ oder $\geq 900^\circ\text{C}$ erfolgen, insbesondere auch als Lösungsglüh, Diffusionsglüh oder Normalisieren.

[0057] Nach Durchführung der Glühbehandlung werden dann in einem nachfolgenden Schritt die Aufweitungsbereiche durch Druckaufweitung auf den endgültigen Plattenabstand $d_A(\text{Si})$ aufgeweitet (siehe **Fig. 4**), beispielsweise mit einem Aufweitungsdruk von 150 bar.

[0058] Als besonders vorteilhaft werden bei der Glühbehandlung die zumindest partiell oder ggf. auch bereits vollständig aufgeweiteten Zwischenräume mit einem Inertgas wie Edelgas befüllt oder gegebenenfalls mit einem Teilvakuum beaufschlagt, wobei mit inertgasbefüllten bzw. vakuumbeaufschlagten Zwischenräumen die Glühbehandlung vorgenommen wird. Hierdurch wird der Partialdruck von reaktiven Luftbestandteilen wie insbesondere Sauerstoff in den Zwischenräumen während der Glühbehandlung vermindert, und somit auch ein Anlaufen oder lokale Oxidation von Oberflächenbereichen der Platten und/oder der Verbindungsstellen. Bei einer Glühbehandlung bei 750°C kann das Inertgas bspw. mit einem Druck von ca. 500kPa in den Zwischenräumen vorliegen, bezogen auf 20°C , wodurch auch ein zu hoher Gasdruck in den Zwischenräumen während der Glühbehandlung vermieden wird.

[0059] Wird nach einer ersten Glühbehandlung bei einer Temperatur T_1 , beispielsweise 750°C , eine weitere Glühbehandlung bei einer Temperatur T_2 durchgeführt, mit T_2 ungleich T_1 , beispielsweise 1050°C , so kann bei den beiden Glühbehandlungen mit den Temperaturen T_1 und T_2 das Inertgas oder Vakuum in den Zwischenräumen jeweils mit unterschiedlichem Druck bezogen auf 20°C vorliegen.

[0060] In Abwandlung des obigen Ausführungsbeispiels mit zweistufiger Aufweitung vor und nach der Glühbehandlung kann bei Bedarf lediglich ein Aufweitungsschritt vor der Glühbehandlung durchgeführt werden, nämlich direkt eine Aufweitung auf den endgültigen Plattenabstand $d_A(\text{Si})$ an den jeweiligen Stellen Si. Die weiteren Ausführungen gelten entsprechend.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- DIN EN 10088/2 [0030]
- DIN 28011 [0041]
- DIN 28013 [0041]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauscherelementes mit zwei zumindest im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Platten, nämlich einer ersten und einer zweiten Platte, welche durch mehrere über die Plattenfläche verteilt angeordneten Verbindungsstellen miteinander dauerhaft unter Erzeugung eines Verbundes verbunden sind, wobei Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen durch Druckaufweitung mindestens einer der beiden Platten ausgebildet sind, welche mindestens einen oder mehrere fluiddurchströmbare Zwischenräume ausbilden, wobei nach der vollständigen Druckaufweitung die beiden Platten an den einzelnen Stellen (Si) maximaler lokaler Aufweitung der Aufweitungsbereiche einen Abstand $dA(Si)$ aufweisen, und wobei der Plattenverbund der beiden dauerhaft miteinander verbundenen Platten einer Glühbehandlung unterworfen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Glühbehandlung die Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen zumindest partiell aufgeweitet werden, und dass der Plattenverbund mit den zumindest partiell aufgeweiteten Zwischenräumen der genannten Glühbehandlung unterworfen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Glühbehandlung die Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen nur partiell aufgeweitet werden unter Erzeugung eines Abstandes $dp(Si)$ an den Stellen Si maximaler lokaler Aufweitung mit $dp(Si) < dA(Si)$, und dass nach Durchführung der Glühbehandlung die Aufweitung zwischen den Verbindungsstellen auf den endgültigen Plattenabstand $dA(Si)$ erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Plattenverbund vor der Glühbehandlung mechanisch umgeformt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der mechanischen Umformung der Plattenverbund entlang mehrerer einen Winkel zueinander einschließender Axialrichtungen unter Erzeugung oder Veränderung von Krümmungsradien umgeformt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Glühbehandlung die aufgrund der zumindest partiellen Aufweitung erzeugten Zwischenräume zwischen den Platten mit einem Inertgas befüllt oder mit Vakuum beaufschlagt werden, und dass mit Inertgasbefüllung oder Vakuumbeaufschlagung der Zwischenräumen die Glühbehandlung vorgenommen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufweitungsbereiche zur Durchführung der Glühbehandlung mit einem Inertgas mit

einem Gasdruck von $\geq 0,1$ bar (Absolutdruck) bezogen auf eine Temperatur von 20°C befüllt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine oder beide Platten des Wärmetauscherelementes aus einem ferritischen oder austenitischen Stahl oder aus Duplexstahl bestehen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Glühbehandlung bei einer Temperatur von $\geq 450^\circ\text{C}$ durchgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Glühbehandlung bei einer Temperatur von $\geq 950^\circ\text{C}$ durchgeführt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass Glühbehandlung als Normalisieren (Normalglühen), Lösungsglühen oder Diffusionsglühen durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach einer ersten Glühbehandlung bei einer Temperatur T_1 eine weitere Glühbehandlung bei einer Temperatur T_2 durchgeführt wird, mit T_2 ungleich T_1 , und dass bei den beiden Glühbehandlungen mit den Temperaturen T_1 und T_2 das Inertgas oder Vakuum in den Zwischenräumen jeweils mit unterschiedlichem Druck bezogen auf 20°C vorliegt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Platte eine größere Wandstärke als die zweite Platte aufweist und dass nach der Aufweitung die zweite Platte lokale Aufweitungsbereiche unter Ausbildung von fluiddurchströmbaren Zwischenräumen zwischen beiden Platten aufweist und die erste Platte keine derartigen lokalen Aufweitungsbereiche aufweist.

13. Wärmetauscherelement hergestellt nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

14. Vorrichtung mit Wärmetauscherelement nach Anspruch 13, insbesondere in Form eines Behälters, bei welchem das Wärmetauscherelement zumindest einen Teilbereich der Seitenwand des Behälters und/oder zumindest einen Teilbereich eines Bodens des Behälters ausbildet.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

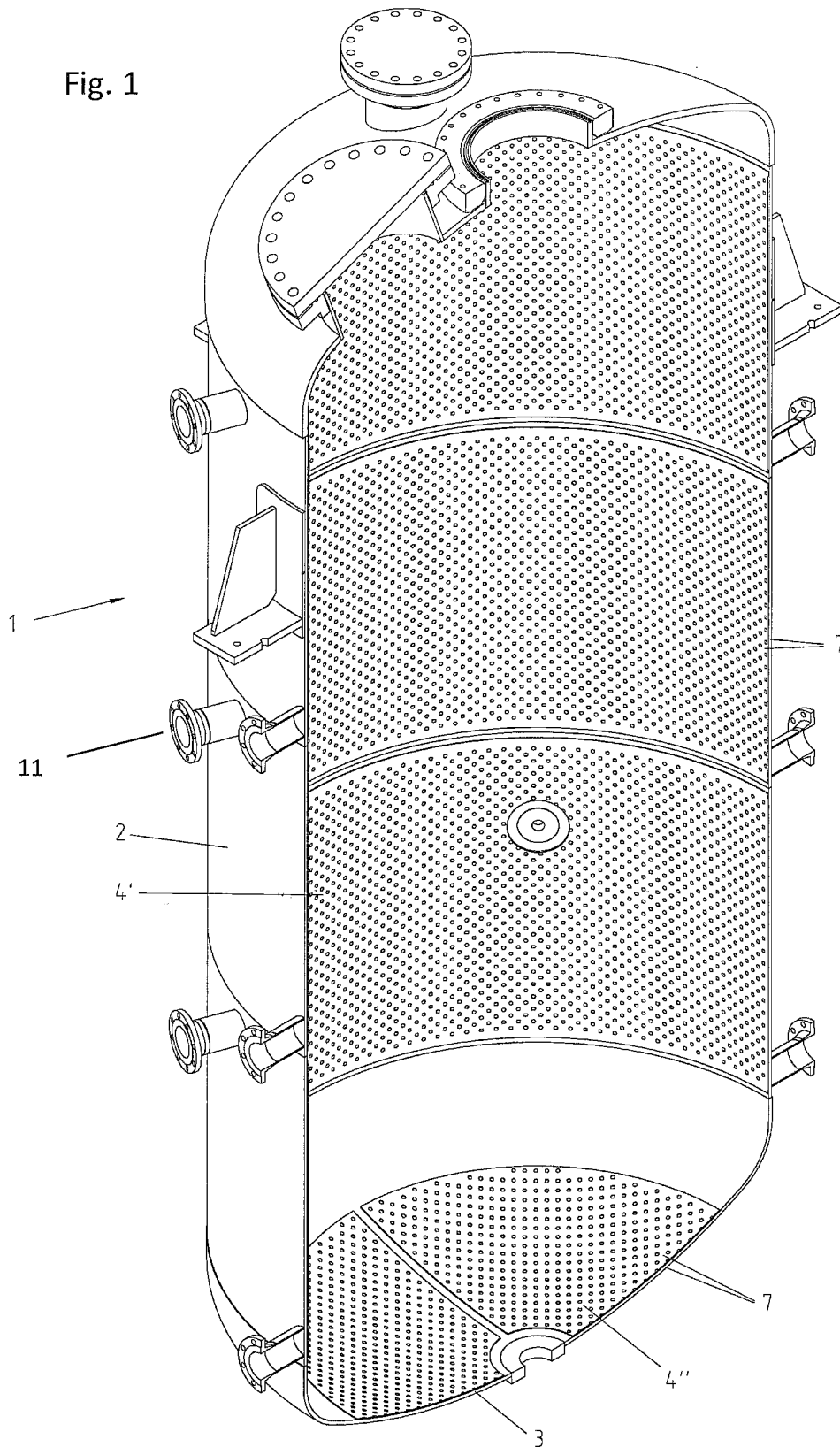


Fig. 2

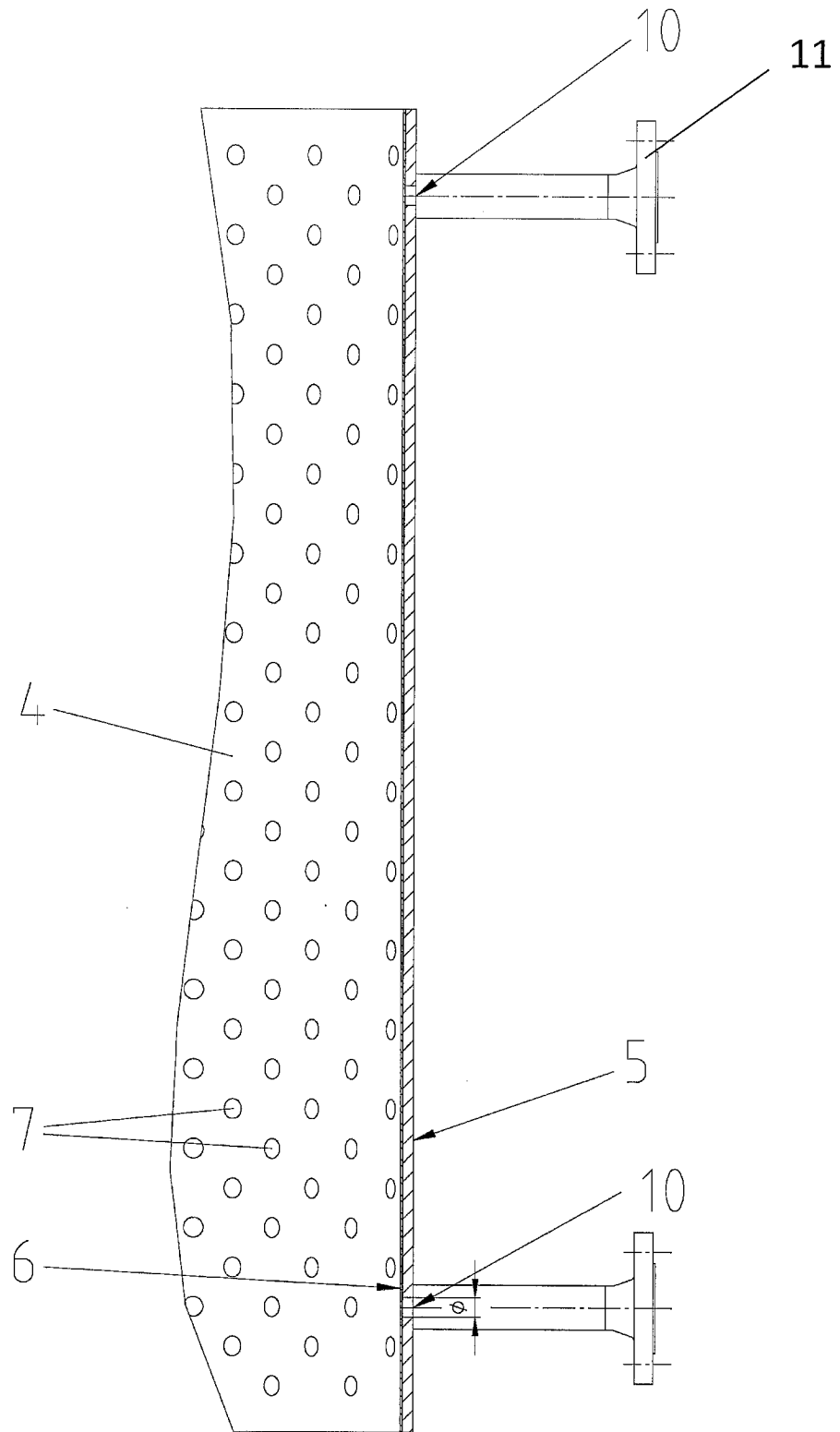


Fig. 3b

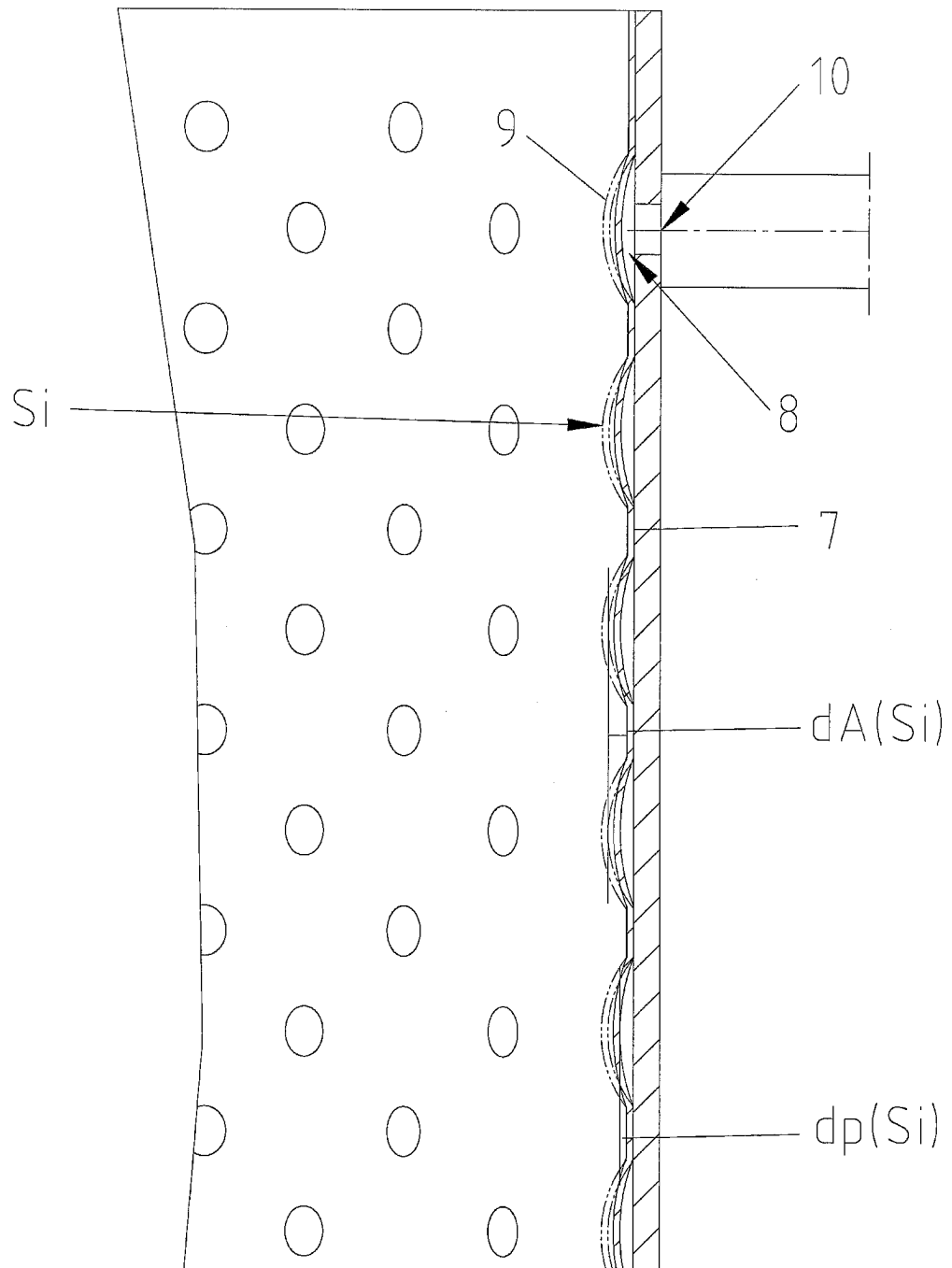


Fig. 4

