



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2016 122 604.1

(51) Int Cl.: **F28D 9/00 (2006.01)**

(22) Anmelddatag: 23.11.2016

(43) Offenlegungstag: 24.05.2018

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 15.01.2026

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
LOB GmbH, 51107 Köln, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 029 821	B3
GB	873 881	A
US	7 691 337	B2
US	2008 / 0 128 526	A1

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

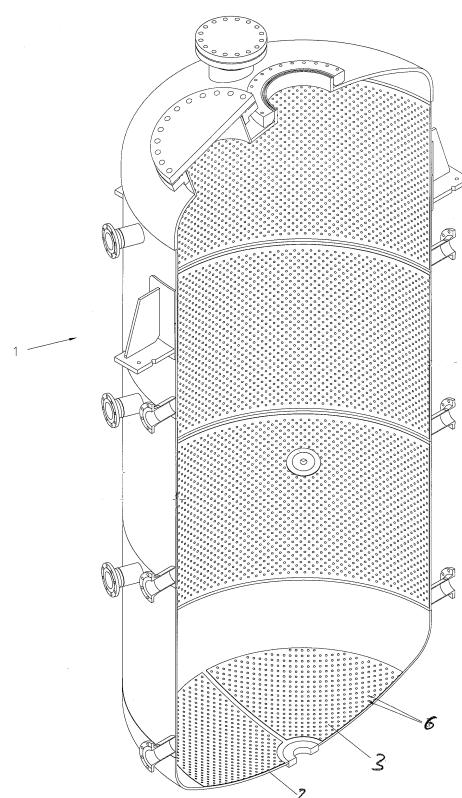
Norm DIN 28013 2012-06-00. Gewölbte Böden - Korbogenform. S. 1-19

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

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

(54) Bezeichnung: **Wärmetauscherelement**

(57) Hauptanspruch: Wärmetauscherelement mit zwei zumindest im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Platten (4,5), nämlich einer ersten Platte (4) und einer zweiten Platte (5), wobei die erste Platte (4) eine höhere Festigkeit als die zweite Platte (5) aufweist, wobei die erste und die zweite Platte (4,5) durch eine Vielzahl von über die Plattenfläche verteilt angeordneten isolierten Verbindungsstellen (6) miteinander dauerhaft unter Erzeugung eines Plattenverbundes verbunden sind, wobei die zweite Platte (5) durch plastische Druckaufweitung erzeugte Aufweitungsbereiche (8) zwischen den Verbindungsstellen (6) der Platten (4,5) miteinander aufweist und die Aufweitungsbereiche (8) mehrere miteinander verbundene fluiddurchströmmbare Zwischenräume (9) ausbilden, wobei jeweils mehrere Verbindungsstellen (6) umfänglich um einen Aufweitungsbereich (8) angeordnet sind, wobei ferner der Plattenverbund in seiner Formgestalt mehrachsig gekrümmt geformt ist, unter Ausbildung von konvex und konkav gekrümmten Bereichen des Plattenverbundes, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Platte (5) mit den Aufweitungsbereichen (8) an mehrachsig konvex gekrümmten Bereichen der ersten Platte (4) angeordnet ist und die Aufweitungsbereiche (8) der zweiten Platte (5) entgegen der mehrachsig konvexen Krümmung der ersten Platte (4) von der zweiten Platte (5) vorstehen, wobei die mehrachsig konvex gekrümmten Bereiche der ersten Platte (4) sphärisch gekrümmmt sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Wärmetauscherelement mit zwei zumindest im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Platten, nämlich einer ersten und einer zweiten Platte, wobei die erste Platte eine höhere Festigkeit als die zweite Platte aufweist, wobei die erste und die zweite Platte durch eine Vielzahl von über die Plattenfläche verteilt angeordneten isolierten Verbindungsstellen miteinander dauerhaft unter Erzeugung eines Plattenverbundes verbunden sind, wobei die zweite Platte durch plastische Druckaufweitung erzeugte Aufweitungsbereiche zwischen den Verbindungsstellen der Platten miteinander aufweist und die Aufweitungsbereiche mehrere miteinander verbundene fluiddurchströmbar Zwischenräume ausbilden, wobei jeweils mehrere Verbindungsstellen umfänglich um einen Aufweitungsbereich angeordnet sind, wobei ferner der Plattenverbund in seiner Formgestalt mehrachsig gekrümmt geformt ist, unter Ausbildung von konvex und konkav gekrümmten Bereichen des Plattenverbundes. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung zur Herstellung eines Wärmetauscherelementes.

[0002] Derartige Wärmetauscherelemente sind bekannt, welche beispielsweise die Seitenwände von Behältern oder die Wandungen von Rohrleitungen ausbilden. Der Plattenverbund ist hierbei jeweils einachsig unter Ausbildung eines zylinderförmigen Wandabschnittes ausgebildet. Die Druckaufweitung der Aufweitungsbereiche unter Einpassung eines fluiden Druckaufweitungsmediums wie beispielsweise Wasser zwischen die Platten erfolgt hierbei teilweise mit sehr hohem Druck, beispielsweise ≥ 20 MPa (200 bar). Die zweite mit den Druckaufweitungen versehene Platte ist hierbei zumeist außenseitig an dem Wärmetauscherelement angeordnet, also im Bereich einer konkaven Krümmung der ersten Platte, welche das jeweilige Bauteil ausbildet, verschiedentlich auch innenseitig. Ferner ist es bekannt, bei mehrachsig oder sphärisch gekrümmten Wärmetauscherelementen, beispielsweise beim Boden eines Reaktors, den Boden zumindest teilweise aus Wärmetauscherelementen auszubilden, wobei hier generell die zweite Platte mit den Aufweitungen an der jeweiligen Vorrichtung wie beispielsweise Behälter oder Reaktor außenseitig angeordnet ist, da aufgrund der mehrachsigen Krümmung des Wärmetauscherelementes ein wesentlich höherer Aufweitungsdruk erforderlich ist, als bei den eingangs genannten Wärmetauscherelementen mit einachsiger Krümmung. Die Ausbauchung der Aufweitungsbereiche erfolgt hierbei also in der Richtung, in welcher auch der Plattenverbund konkav gekrümmt ist, also beispielsweise an der Außenseite eines gewölbten Behälterbodens.

[0003] Es besteht oftmals der Bedarf, bei Behältern wie insbesondere Reaktoren, welche mit einem sehr hohen Innendruck betrieben werden, eine effektive Kühlung des Behälterbodens bereitzustellen. Dies ist insbesondere bei chemischen Reaktoren der Fall, wo eine besonders schnelle und effektive Kühlung des Behälterinhaltes gewünscht ist, beispielsweise wenn der Reaktoren batchweise beschickt wird und somit ein frisch dem Reaktor zugeführter Behälterinhalt möglichst schnell auf die gewünschte Temperatur zu temperieren, insbesondere abzukühlen ist. Dies ist besonders kritisch, wenn der Behälterinhalt hoch temperaturempfindlich ist oder unerwünschte temperaturkritische Nebenreaktionen zu vermeiden sind, welche die Qualität des Reaktionsproduktes beeinträchtigen können, wie dies oft bei der Herstellung chemischer Produkte der Fall ist.

[0004] Hierbei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass diese Reaktoren oftmals unter hohem Innendruck betrieben werden und zudem oftmals hohen Wechselbeanspruchungen unterworfen sind, insbesondere Temperatur- und/oder Druckwechselbeanspruchungen. Das Wärmetauscherelement ist hierbei oftmals konstruktiver Teil der Wandung der Vorrichtung wie beispielsweise eines Reaktors, beispielsweise Teil der Seitenwand und/oder des Bodens desselben. Die Stabilität der Vorrichtung wird somit wesentlich durch die Stabilität des Wärmetauscherelementes mitbestimmt. Eine der beiden Platten des Wärmetauscherelementes weist daher eine vergleichsweise hohe Festigkeit, insbesondere hohe Wandstärke auf, um die Stabilität der entsprechenden Vorrichtung zu gewährleisten, wobei die andere der Platten lediglich die notwendige Stabilität aufweist, um einen fluiddurchströmbar Zwischenraum für das Wärmetauschermedium bereitzustellen.

[0005] Insbesondere bei Behältern wie Reaktoren besteht daher das Bedürfnis, die Temperierung des Behälterinhaltes zu verbessern. Eine Ausbildung der Seitenwand des Reaktors als Wärmetauscherelement ist hierzu oftmals nicht ausreichend, da es dann am Reaktorboden zu lokalen Überhitzungen kommen kann oder bei geringer Befüllung des Behälters, beispielsweise bei Befüllung $< 20\%$, der Behältermantel überhaupt nicht wirkt. Aufgrund der hohen Wandstärken des Bodenbereichs besteht jedoch auch bei herkömmlichen Reaktoren noch Verbesserungsbedarf, insbesondere bei temperaturkritischen chemischen Reaktionen, da die abzuführende oder zuzuführende Wärme vom Behälterinhalt zunächst die dickere erste Platte, welche für die Behälterstabilität wesentlich ist, durchdringen muss und die Wanddicke einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmeübergang wie bspw. die übertragbare Wärmemenge hat. Auch hierbei kann es somit zu lokalen Überhitzungen des Behälterinhaltes im Bodenbereich kommen. Um eine bessere Temperaturkontrolle des Behälterinhalt-

tes zu bewirken könnte in dem Behälterinneren ein weiteres Wärmetauscherelement eingesetzt werden. Dies würde jedoch zum einen einen sehr hohen apparativen Aufwand bedingen, zudem würde dieses weitere Wärmetauscherelement die Strömungsverhältnisse in dem Reaktor wesentlich verändern. Ferner wäre das Behälterinnere bei einem Austausch des Behälterinhaltes, beispielsweise gegen eine neue Charge, nur sehr schwer zu reinigen.

[0006] Die DE 10 2006 029 821 B3 beschreibt ein Wärmetauscherelement mit zwei parallel zueinander angeordneten Platten, welche bogenförmig ausgebildet sein können, und wobei eine der Platten Aufweitungsbereiche zur Ausbildung von fluiddurchströmbarer Zwischenräumen aufweist.

[0007] Die GB 873 881 A beschreibt eine Bügelmaschine mit einem Innenzyylinder, an welchem außenseitig mehrere gebogene Plattenabschnitte angeschweißt sind, um zwischen dem Innenzyylinder und den angeschweißten Plattenabschnitten Strömungskanäle auszubilden.

[0008] Die US 2008/0128526 A1 beschreibt einen Tankbehälter mit als Wärmetauscherelement ausgebildeter zylindrischer Behälterwand aus zwei Platten, wobei die radial äußere Platte eine geringere Wandstärke als die innenliegende Platte aufweist und die äußere Platte ausbauchende Bereiche zur Ausbildung fluiddurchströmbarer Zwischenräume zwischen den Platten ausweist.

[0009] Die US 7,691,337 B2 beschreibt einen Behälter mit zylindrischer Seitenwand, wobei die Seitenwand aus einer radial äußeren dickeren Platte und einer radial inneren dünnen Platte ausgebildet ist und wobei die innere Platte Aufweitungsbereiche zur Ausbildung von Strömungskanälen aufweist.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Wärmetauscherelement für eine Vorrichtung bzw. eine Vorrichtung mit einem solchen bereitzustellen, welche eine besonders effektive Kühlung des mit dem Wärmetauscherelement beaufschlagten Mediums ermöglicht und welches konstruktiv einfach ausgebildet ist und kostengünstig herstellbar ist. Ferner liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung von konstruktiv einfach ausgebildeten und kostengünstig herstellbaren Wärmetauscherelementen bereitzustellen, welche eine besonders effektive Kühlung des mit dem Wärmetauscherelement beaufschlagten Mediums ermöglichen.

[0011] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Wärmetauscherelement nach Anspruch 1 gelöst, bei welchem die zweite Platte mit den Aufweitungsbereichen an mehrachsig konvex gekrümmten Bereichen der ersten Platte angeordnet ist und die Aufweitungsbereiche der zweiten Platte entgegen der mehrachsig konvexen Krümmung ersten Platte von der zweiten Platte vorstehen, wobei die mehrachsig konvex gekrümmten Bereiche der ersten Platte sphärisch gekrümmmt sind. Ferner wird die Aufgabe durch ein Verfahren nach Anspruch 10 gelöst.

[0012] Hierdurch ist eine besonders effektive Kühlung des mit dem Wärmetauscherelement beaufschlagten Mediums möglich. Überraschenderweise kann ein derartiges Wärmetauscherelement, bei welchem jeweils mehrere Verbindungsstellen umfänglich um einen Aufweitungsbereich angeordnet sind, welcher an einem mehrachsig konvex gekrümmten Bereich der ersten Platte vorgesehen ist, durch Druckaufweitung hergestellt werden. Dies war vor Kenntnis der Erfindung nicht vorhersehbar. Bei der erfindungsgemäßen Anordnung der Aufweitungsbereiche der zweiten Platte müssen die Aufweitungsbereiche entgegen der mehrachsig konvexen Plattenkrümmung der ersten Platte ausgebaut werden. Dies heißt, dass der aufzuweitende Bereich der zweiten Platte zunächst aus einer sphärischen Auswölbung in einen zumindest im Wesentlichen ebenen Bereich zu überführen ist, bevor dieser sich entgegengesetzt der Plattenkrümmung der ersten Platte (in entgegengesetzter Richtung zu dieser) ausbauen kann. Dies ist beispielsweise bei einem nach außen sphärisch gewölbten Behälterboden gegeben, wobei die zweite Platte behälterinnenseitig angeordnet ist und vor der Aufweitung somit ebenfalls nach außen gewölbt ist. Bei der Aufweitung muss somit zunächst eine räumlich dreidimensionale, mehrachsige Querschnittseinengung überwunden werden, welche durch die zum Aufweitungsbereich nächst benachbarten Verbindungsstellen ausgebildet ist, welche den Aufweitungsbereich umfänglich umgeben und einschnüren. Hierbei werden auch überaus hohe Spannungen an den Verbindungsstellen erzeugt, welche wesentlich höher sind, als beispielsweise bei einer Ausbauchung von einer zylindrischen Wandung bei herkömmlichen Wärmetauschern. Es hat sich im Zuge der Erfindung herausgestellt, dass bei der genannten Druckaufweitung bis nahe an die Belastungs- bzw. Berstgrenzen der Verbindungsbereiche gegangen werden muss. Aufgrund der zur Erzielung einer notwendigen Betriebssicherheit der entsprechenden das Wärmetauscherelement aufweisenden Vorrichtungen wie beispielsweise eines Reaktorbodens war es vor der Erfindung nicht vorstellbar, dass derartige Wärmetauscherelemente ausgebildet werden können.

[0013] So hat es sich im Zuge der Erfindung herausgestellt, dass die Druckaufweitung der Aufweitungsbereiche bei einem erfindungsgemäßen Wärmetauscherelement anders abläuft, als bei herkömmlichen Wärmetauscherelementen. Bei herkömmlichen Wärmetauscherelementen, bei welchen der Plattenver-

bund lediglich monoaxial gekrümmt ist, wie bei zylindrischen Seitenwandungen, erfolgt bei der Druckaufweitung eine im Wesentlichen gleichmäßige Aufweitung der Aufweitungsbereiche. Das heißt, dass sich die Aufweitungsbereiche über praktisch die gesamte Fläche des Plattenverbundes zeitlich kontinuierlich im Wesentlichen in gleichem Maße aufweiten. Dies ist der Fachmann sozusagen als normaler Aufweitungsvorgang gewohnt. Demgegenüber erfolgt bei dem erfindungsgemäßen Wärmetauscherelement die Aufweitung überraschenderweise diskontinuierlich und lokal sprunghaft. So wird beobachtet, dass von der Aufweitung zunächst nur wenige Aufweitungsbereiche erfasst werden, welche sich zunächst auch nur teilweise aufweiten. Die Aufweitung erfolgt hierbei sprunghaft und mit starken akustischen Effekten, was für eine Aufweitung herkömmlicher Wärmetauscherelemente völlig unüblich ist und was die überaus starken Spannungen in den Aufweitungsbereichen und Verbindungsstellen anzeigt. Auch wenn die Aufweitung bereits eine Vielzahl von Aufweitungsstellen erfasst hat, welche damit teilweise aufgeweitet sind, so ist die Aufweitung dennoch unregelmäßig, d.h. verschiedene Aufweitungsstellen weisen eine unterschiedliche Aufweitungshöhe auf. Hierbei wird zunächst eine unregelmäßige Oberfläche der aufgeweiteten zweiten Platte geschaffen, welche in dieser Form als Einsatz für einen Wärmetauscherelement zunächst nicht geeignet ist, da dies im Betrieb der entsprechenden Vorrichtung wie beispielsweise eines Reaktors zu undefinierten Strömungsverhältnissen führen würde. Erst gegen Ende des Aufweitungsprozesses wird dann eine gleichmäßige Aufweitung der gesamten Aufweitungsbereiche des Plattenverbundes festgestellt. Insgesamt gesehen war es für den Fachmann somit überraschend, dass eine Herstellung des erfindungsgemäßen Wärmetauscherelementes überhaupt möglich war.

[0014] Im Zuge der Erfindung wurde festgestellt, dass die erfindungsgemäßen Wärmetauscher herstellbar sind, wenn die Aufweitungsbereiche mit einem wesentlich höheren Druck als bei herkömmlichen Wärmetauscherelementen erzeugt werden, welcher unter Umständen $\geq 80\%$ oder $\geq 90\%$ des Berstdruckes der Verbindungsstellen beträgt oder nahe bis an den Berstdruck heranreicht. Erfindungsgemäß sind somit überraschenderweise Wärmetauscherelemente herstellbar, bei welchen die zweite Platte mit Druckaufweitungen an mehrachsig konvex gekrümmten Bereichen der ersten Platte angeordnet ist.

[0015] Allgemein im Rahmen der Erfindung erstreckt sich die konvexe Krümmung der ersten Platte über eine Vielzahl von Aufweitungsbereichen der zweiten Platte, beispielsweise über $\geq 25\%$ oder $\geq 50\%$, bevorzugt auch $\geq 75\%$ oder über die gesamte Flächenerstreckung der zweiten Platte. Die erste

Platte weist vorzugsweise keine lokalen Aufweitungsbereiche auf. Das Muster der Aufweitungsbereiche der zweiten Platte bildet hierbei konkav und konvex gekrümmte lokale Bereiche auf, wobei der Korpus der zweiten Platte insgesamt konvex ausgebildet sein kann. Die erste Platte kann demgegenüber beispielsweise insgesamt vollständig konvex gekrümmt ausgebildet sein.

[0016] Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0017] Im Rahmen der Erfindung sind die mehrachsig konvex gekrümmten Bereiche der ersten Platte sphärisch gekrümmmt, bspw. Form einer Kugelkalotte, Rotationsellipsoide oder dergleichen. Vorzugsweise weist die erste Platte bzw. der Plattenverbund nur einen sphärisch gekrümmten Bereich auf bzw. ist durchgehend konvex sphärisch gekrümmmt, also ohne konkav gekrümmte Bereiche ausgebildet. Jede der zur Zentrumsachse der sphärischen Oberfläche senkrecht stehenden Achse stellt hierbei eine Krümmungsachse dar. Dies bedingt, dass die aufzuweitenden Aufweitungsbereiche der zweiten Platte zwischen den Verbindungsstellen der Platten miteinander besonders stark eingeengt sind und somit besonders hohe Aufweitungsdrücke einzusetzen sind, welche die Aufweitungsbereiche aber insbesondere auch die Verbindungsstellen der beiden Platten um den Aufweitungsbereich herum besonders stark belasten.

[0018] Vorzugsweise ist die erste Platte des Plattenverbundes Teil eines gewölbten Behälterbodens, insbesondere Reaktorbodens, wobei die zweite Platte an der Behälterinnenseite angeordnet ist. Es versteht sich, dass der Behälterboden am Behälter nach außen ausgewölbt ist. Die erste Platte bestimmt hierbei die Stabilität des Behälterbodens zumindest wesentlich mit, wobei die zweite Platte an der Bodeninnenseite lediglich die das Wärmetauschermedium führenden Zwischenräume zum Behälterinneren abgrenzt. Hierdurch können Behälter, insbesondere Reaktoren, ausgebildet sein, wobei insbesondere auch im Bodenbereich derselben eine besonders effektive Temperierung des Behälterinhaltes möglich ist.

[0019] Insbesondere kann erfindungsgemäß der Behälterboden als Klöpperboden, Korrbogenboden, elliptischer Boden oder Halbkugelboden ausgebildet sein. Hierbei sind besondere Krümmungsverhältnisse des Plattenverbundes gegeben, bei welchen überraschenderweise das erfindungsgemäße Wärmetauscherelement unter Druckaufweitung der Aufweitungsbereiche der zweiten Platte an der Bodeninnenseite herstellbar ist. Der gewölbten Behälterboden kann insbesondere zwei Krümmungsbereiche unterschiedlicher Radien R1 und R2 aufweisen oder aus diesen ausgebildet sein. Bei-

spielsweise kann im mittleren Bereich des Bodens ein Radius R1 vorliegen, wobei $R1 = 0,5 \text{ Da}$ bis $1,2 \text{ Da}$, vorzugsweise $0,7 \text{ Da}$ bis $1,1 \text{ Da}$, betragen kann, beispielsweise $0,8 \text{ Da}$ oder $1,0 \text{ Da}$, wobei Da der Außendurchmesser des Behälters ist, an welchen sich der Boden anschließt. Der zweite Radius R2 kann im Bereich von $0,03$ bis $0,25 \text{ Da}$ betragen, beispielsweise $0,05$ bis $0,15 \text{ Da}$, insbesondere $0,06 \text{ Da}$ oder $0,1 \text{ Da}$ oder ca. $0,15 \text{ Da}$. Bei einem Klöpperboden nach DIN 28011 ist $R1 = \text{Da}$ und $R2 = 0,1 \text{ Da}$. Bei einem Klöpperboden nach ASME F&D ist $R1 = \text{Da}$ und $R2 = 0,06 \text{ Da}$. Bei einem Korbogenboden nach DIN 28013 ist $R1 = 0,8 \text{ Da}$ und $R2 = 0,154 \text{ Da}$. Es versteht sich, dass erfindungsgemäß auch entsprechende Behälterböden gemäß anderen entsprechenden Normen oder Ausgestaltungen ausgebildet sein können. Die genannten Normen beziehen sich insbesondere auf solche mit Gültigkeit zum 01.01.2016. Ein elliptischer Boden kann beispielsweise in einem Teilbereich einen Krümmungsradius wie oben beschrieben aufweisen, beispielsweise einen Krümmungsradius wie bei einem Klöpperboden oder Korbogen, ohne hierauf beschränkt zu sein. Die Aufweitungen der zweiten Platte können jeweils in dem Bereich mit größerem und/oder kleinerem Krümmungsradius des Bodens vorgesehen sein.

[0020] Die Verbindungsstellen können in einem unregelmäßigen aber vorzugsweise gleichmäßigen Raster über die Plattenflächen angeordnet sein, beispielsweise mit einem hexagonalen oder orthogonalen Raster, insbesondere in Ausbildung eines quadratischen oder gegebenenfalls auch rechteckigen Musters der Verbindungsstellen. Ein quadratisches Muster ist bevorzugt, da sich hierdurch für das Wärmetauschermedium strömungstechnisch besonders günstige Zwischenräume ergeben aber die Aufweitungsbereiche etwas weniger eingeengt sind als beispielsweise bei einem Muster aus gleichseitigen Dreiecken. Die einzelnen Aufweitungsbereiche können somit jeweils insbesondere von 3 bis 6 Verbindungsstellen unmittelbar umgeben sein, bevorzugt 3, 4 oder auch 6 Verbindungsstellen. Vorzugsweise sind die Verbindungsstellen mit gleichmäßigen Abstand zueinander um den jeweiligen Aufweitungsbereich verteilt angeordnet. Der Abstand zwischen den einzelnen Verbindungsstellen kann jeweils zumindest im Wesentlichen konstant sein.

[0021] Vorzugsweise wird durch die Aufweitungsbereiche ein zweidimensionales Netz von fluidführend miteinander in Verbindung stehenden Zwischenräumen ausgebildet, welche sich überkreuzende Strömungskanäle für das Wärmetauschermedium ausbilden, wozu die isolierten Verbindungsstellen über die Plattenflächen verteilt angeordnet sein können.

[0022] Die Aufweitungsbereiche der zweiten Platte zwischen den Verbindungsstellen weisen vorzugs-

weise eine zumindest im Wesentlichen isometrische Form auf, beispielsweise mit einem Verhältnis der größten und kleinsten Weite des jeweiligen Aufweitungsbereichs entlang des Erstreckungsfläche der ersten Platte im Bereich von 5:1 bis 1:1 oder 3:1 bis 1:1 oder 2:1 bis 1:1, insbesondere auch ca. 1:1, wie dieses bei Verbindungstellen mit quadratischem Muster vorliegt. Die Aufweitungsbereiche sind hierbei von den diese umgebenden Verbindungsstellen zwischen den Platten begrenzt. Die genannten Erstreckungsverhältnisse sind für die Ausbildung des Netzes an sich überkreuzenden Strömungskanäle für das Wärmetauschermedium und eine wärmetauschereffektive Ausbildung der dem Behälterinhalt zugewandten Seite der zweiten Platte besonders günstig, andererseits wird hierdurch das eingangs genannte Problem der Erzeugung der Aufweitungsbereiche unter Einengung durch die Verbindungsstellen besonders evident.

[0023] Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens sind beispielsweise Behälter mit einem Durchmesser im Bereich von $0,3 \text{ m}$ bis 8 m herstellbar, beispielsweise mit einem Durchmesser $\geq 1 \text{ m}$ oder im Bereich von 2 bis 6 m.

[0024] Die Verbindungsstellen können hierbei beispielsweise einen Abstand von 20-150 mm oder im Bereich von 30-100 mm, beispielsweise ca. 50 mm aufweisen, ohne hierauf beschränkt zu sein.

[0025] Bei dem erfindungsgemäßen Wärmetauscherelement können die Verbindungsstellen als Schweißverbindungen ausgeführt sein, wobei die Schweißraupen derselben besonders bevorzugt geglättet ausgebildet sind. Die Glättung kann beispielsweise durch schleifende Bearbeitung erfolgen, gegebenenfalls zusätzlich auch durch Polieren. Es hat sich herausgestellt, dass die derartigen Verbindungsstellen bei der Plattenaufweitung eine erhöhte Festigkeit gegenüber unbearbeiteten Schweißverbindungen aufweisen, so dass die erfindungsgemäßen Wärmetauscherelemente mit Aufweitungsbereichen an den konvex gekrümmten Bereichen des Plattenverbundes besonders vorteilhaft herstellbar sind. Durch die genannte Materialbearbeitung der Schweißverbindungen wird anscheinend eine bessere Kraftverteilung der Schweißverbindungen bei Belastung derselben erzielt und Kerbwirkungen bei der Aufweitung vermieden, ohne durch die Theorie gebunden zu sein. Die genannte Materialbearbeitung der Schweißverbindungen wird somit vorzugsweise vor der teilweisen oder endgültigen Aufweitung der zweiten Platte durchgeführt. Aufgrund der Bearbeitung der Schweißverbindungen können die Aufweitungsbereiche der zweiten Platte bevorzugt und mit geringerer Gefahr einer Beschädigung der Verbindungsstellen während der Aufweitung hergestellt werden.

[0026] Oftmals ist es erforderlich, den Plattenverbund einer Glühbehandlung zu unterziehen. Die Aufweitungsbereiche der zweiten Platte können auf zumindest einem Teil oder auf ihre endgültige Aufweitungshöhe, welche bei einsatzbereitem Wärmetauscher vorliegt, aufgeweitet werden, bevor die Glühbehandlung durchgeführt wird. Damit wird oftmais die Aufweitung erleichtert, nämlich wenn die Platten aufgrund der Glühbehandlung zum Aneinanderhaften neigen. Die Glühbehandlung kann Diese Vorgehensweise ist aber zur Ausführung der Erfindung nicht zwingend.

[0027] Das erfindungsgemäße Wärmetauscherelement kann mit einem Betriebsdruck des Wärmetauschermaterials von ≥ 3 bar oder ≥ 10 bar oder ≥ 30 bar betrieben werden. Der Innendruck der Vorrichtung, welcher auf die mit Aufweitungen versehene zweite Platte wirkt, kann insbesondere ≥ 5 bar oder ≥ 10 bar oder oftmals auch ≥ 16 bar oder ≥ 40 bar betragen, ohne hierauf beschränkt zu sein. Auf die zweite Platte kann somit durch den Behälterinhalt eine Druckdifferenz zwischen Innendruck und Außendruck von ohne weiteres ≥ 10 bar oder ≥ 20 bar aber auch ≥ 40 bar wirken. Es versteht sich, dass die mit den Aufweitungen versehene zweite Platte dem Differenzdruck standzuhalten hat, aber auch dem Innendruck der Vorrichtung, bspw. wenn der Wärmetauscherkreislauf ausfällt, e. Aufgrund dessen müssen insbesondere die Aufweitungen der zweiten Platte mit entsprechender Materialsteifigkeit wie beispielsweise Plattenstärke ausgelegt sein, was andererseits auch einen entsprechend hohen Aufweitungsdruk bei der Erzeugung der Aufweitungsbereiche bedingt, insbesondere in Zusammenhang mit den eingangs dargestellten Problemen. Überraschenderweise können jedoch derartige Wärmetauscher bzw. Behälterböden erfindungsgemäß hergestellt werden.

[0028] Die Wandstärke der ersten Platte ist größer als die Wandstärke der zweiten Platte, zumeist um den Faktor $\geq 2,5$ oder ≥ 5 , oftmals aber auch ≥ 10 oder ≥ 20 oder höher.

[0029] Es versteht sich, dass der erfindungsgemäße Wärmetauscher nicht auf Herstellung von Behälterböden beschränkt ist, sondern auch für andere Vorrichtungen mit Wärmetauschern, bspw. auch Rohrleitungsbögen, Krümmer, Sammler oder dergleichen, wobei dann entsprechendes gelten kann.

[0030] Die Platten des Wärmetauscherelementes können beispielsweise aus Stahl bestehen, insbesondere austenitischem Stahl oder Duplexstahl aber auch aus ferritischem Stahl oder anderen geeigneten Materialien, bzw. Legierung, einschließlich nicht-Eisen Werkstoffen wie z.B. Hastelloy.

[0031] Die Erfindung sei nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben. Die einzelnen Merkmale des Ausführungsbeispiels können hierbei auch von anderen Merkmalen desselben unabhängig allgemein im Rahmen der Erfindung verwirklicht werden. Es zeigen:

Fig. 1: eine perspektivische Ansicht eines Reaktors im Aufriss mit erfindungsgemäß ausgebildetem Boden,

Fig. 2: eine Querschnittsdarstellung eines Bereichs des Bodens nach **Fig. 1**.

[0032] Als eine den erfindungsgemäßen Wärmetauscher aufweisende Vorrichtung ist in den **Fig. 1** und **2** ein Behälter 1 in Ausbildung als Reaktor dargestellt. Der erfindungsgemäße Wärmetauscher 3 bildet hierbei zumindest teilweise den nach außen gewölbten Boden 2 des Reaktors aus. Es versteht sich, dass der hier beschriebene Wärmetauscher gegebenenfalls auch Teil einer anderer Vorrichtungen sein kann.

[0033] Das Wärmetauscherelement 3 weist zwei zumindest im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Platten auf, nämlich eine erste und eine zweite Platte 4, 5, wobei die erste Platte eine höhere Festigkeit als die zweite Platte aufweist, insbesondere eine deutlich höhere Wandstärke. Die erste und die zweite Platte 4, 5 sind durch eine Vielzahl von über die Plattenfläche verteilt angeordneten isolierten Verbindungsstellen 6 miteinander dauerhaft unter Erzeugung eines Plattenverbundes 7 verbunden sind, wobei die zweite Platte 5 durch plastische Druckaufweitung erzeugte Aufweitungsbereiche 8 zwischen den Verbindungsstellen 6 der Platten miteinander aufweist und die Aufweitungsbereiche 8 mehrere miteinander verbundene fluiddurchströmmbare Zwischenräume 9 ausbilden. Jeweils mehrere Verbindungsstellen 6 sind hier umfänglich um einen Aufweitungsbereich 8 angeordnet sind. Die Verbindungsstellen sind hier in einem quadratischen Muster angeordnet, so dass ein Aufweitungsbereich von vier Verbindungsstellen gleichmäßig umgeben bzw. begrenzt ist. Die Aufweitungsbereiche 8 der zweiten Platte weisen somit zwischen den Verbindungsstellen eine zumindest im Wesentlichen isometrische Form auf. Die Zwischenräume 9 bilden ein zweidimensionales Netz sich überkreuzender und miteinander fluid-verbundener Kanäle für das Wärmetauschermedium aus.

[0034] Der Plattenverbund 7 ist mehrachsig gekrümmt ausgebildet, im speziellen sphärisch gekrümmt, unter Ausbildung von konkav und konvex gekrümmten Bereichen des Plattenverbundes, nämlich einer konkaven Außenseite, welche die Außenseite des Behälterbodens ausbildet, und einer konvexen Innenseite, welche die Innenseite des Behälterbodens ausbildet. Die zweite Platte 5 mit den Aufweitungsbereichen 8 ist an mehrachsig kon-

vex gekrümmten Bereichen der ersten Platte angeordnet, nämlich an der sphärisch konvex gekrümmten Innenseite des Plattenverbundes bzw. Bodens. Die Aufweitungsbereiche 8 der zweiten Platte stehen somit entgegen der Krümmung der ersten Platte von der zweiten Platte vor, nämlich zum Behälterinneren. Der Behälterboden 2 ist somit vom Behälter 1 nach außen gewölbt ausgebaucht.

[0035] Der Behälterboden 2 ist nach dem Ausführungsbeispiel als Klöpperboden ausgebildet, kann aber auch bspw. als Korrbogenboden, elliptischer Boden oder Halbkugelboden ausgeführt sein.

[0036] Die Verbindungsstellen 6 sind als umlaufende Schweißlinien ausgebildet, welche umfänglich geschlossene sind, hier in Form von Kreisbögen. Die Schweißlinien weisen eine zumindest im Wesentlichen glatte Oberfläche auf, welche bspw. durch Schleifen bearbeitet sein kann. Es hat sich herausgestellt, dass hierdurch die Festigkeit der Schweißverbindungen bei der bereichsweisen Aufweitung zweiten Platte erhöht wird, was aufgrund der Aufweitung mit sehr hohem Druck - gegebenenfalls bis nahe an die Berstgrenzen der Verbindungsstellen - besonders vorteilhaft ist.

[0037] Die Aufweitungsbereiche der zweiten Platte können bei Bedarf zumindest mit einem Teil ihrer jeweils endgültigen Aufweitungshöhe oder mit ihrer gesamten Aufweitungshöhe vor der Durchführung einer Glühbehandlung ausgebildet sein, was oftmals zur Vermeidung von Anhaftungen der Platten miteinander besonders vorteilhaft aber zur Durchführung der Erfindung nicht zwingend ist.

[0038] Das Wärmetauscherelement ist für einen Betriebsdruck des Mediums, welches außenseitig des Wärmetaucherelementes angeordnet ist und mit diesem im Wärmeaustausch steht, hier also dem Behälterinhalt, von ≥ 10 bar oder aber auch ≥ 40 bar ausgelegt. Das Wärmetauschermedium im Wärmetauscher kann hierbei beispielsweise mit einem Druck von > 10 bar oder > 20 bar beaufschlagt sein. Hierdurch sind hohe mechanische Anforderungen an den Plattenverbund, insbesondere die Aufweitungsbereiche und Verbindungsstellen, zu stellen.

Patentansprüche

1. Wärmetauscherelement mit zwei zumindest im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Platten (4,5), nämlich einer ersten Platte (4) und einer zweiten Platte (5), wobei die erste Platte (4) eine höhere Festigkeit als die zweite Platte (5) aufweist, wobei die erste und die zweite Platte (4,5) durch eine Vielzahl von über die Plattenfläche verteilt angeordneten isolierten Verbindungsstellen (6) miteinander dauerhaft unter Erzeugung eines Plat-

tenverbundes verbunden sind, wobei die zweite Platte (5) durch plastische Druckaufweitung erzeugte Aufweitungsbereiche (8) zwischen den Verbindungsstellen (6) der Platten (4,5) miteinander aufweist und die Aufweitungsbereiche (8) mehrere miteinander verbundene fluiddurchströmmbare Zwischenräume (9) ausbilden, wobei jeweils mehrere Verbindungsstellen (6) umfänglich um einen Aufweitungsbereich (8) angeordnet sind, wobei ferner der Plattenverbund in seiner Formgestalt mehrachsig gekrümmt geformt ist, unter Ausbildung von konvex und konkav gekrümmten Bereichen des Plattenverbundes, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Platte (5) mit den Aufweitungsbereichen (8) an mehrachsig konvex gekrümmten Bereichen der ersten Platte (4) angeordnet ist und die Aufweitungsbereiche (8) der zweiten Platte (5) entgegen der mehrachsig konvexen Krümmung der ersten Platte (4) von der zweiten Platte (5) vorstehen, wobei die mehrachsig konvex gekrümmten Bereiche der ersten Platte (4) sphärisch gekrümmt sind.

2. Wärmetauscherelement nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Platte (4) Teil eines gewölbten Behälterbodens (2) ist oder einen solchen ausbildet und dass die zweite Platte (5) an der Bodeninnenseite angeordnet ist.

3. Wärmetauscherelement nach Anspruch 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass der Behälterboden (2) ein Klöpperboden, Korrbogenboden, elliptischer Boden oder Halbkugelboden ist.

4. Wärmetauscherelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufweitungsbereiche (8) der zweiten Platte (5) zwischen den Verbindungsstellen (6) eine zumindest im Wesentlichen isometrische Form aufweisen.

5. Wärmetauscherelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbindungsstellen (6) als Schweißlinien ausgebildet sind und dass die Schweißlinien eine zumindest im wesentlichen glatte Oberfläche aufweisen.

6. Wärmetauscherelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufweitungsbereiche (8) der zweiten Platte (5) zumindest mit einem Teil ihrer jeweiligen endgültigen Aufweitungshöhe vor der Durchführung einer Glühbehandlung ausgebildet sind.

7. Wärmetauscherelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wärmetauscherelement (3) für einen Druck des Mediums, welches außenseitig des Wärmetaucherelements (3) angeordnet ist und mit diesem im Wärmeaustausch steht, von ≥ 4 MPa (40 bar) ausgelegt ist.

8. Vorrichtung mit einem Wärmetauscherelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung als Reaktor ausgebildet ist und dass das Wärmetauscherelement (3) zumindest einen Teil eines gewölbten Bodens (2) des Reaktors ausbildet.

10. Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauscherelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 7 wobei die erste und die zweite Platte (4,5) durch eine Vielzahl von über die Plattenfläche verteilt angeordneten isolierten Verbindungsstellen (6) miteinander dauerhaft unter Erzeugung eines Plattenverbundes verbunden werden, wobei ferner der Plattenverbund in seiner Formgestalt mehrachsig sphärisch gekrümmt geformt wird, unter Ausbildung von konvex und konkav gekrümmten Bereichen des Plattenverbundes, wobei die zweite Platte (5) an mehrachsig konvex gekrümmten Bereichen der ersten Platte (4) angeordnet ist, wobei die zweite Platte (5) durch plastische Druckaufweitung unter Erzeugung von Aufweitungsbereichen (8) zwischen den Verbindungsstellen (6) zur Ausbildung von mehreren miteinander verbundenen fluiddurchströmmbaren Zwischenräumen (9) aufgeweitet wird, und wobei die Aufweitungsbereiche (8) an mehrachsig konvex gekrümmten Bereichen der ersten Platte (4) ausgebildet werden, so dass die Aufweitungsbereiche (8) der zweiten Platte (5) entgegen der mehrachsig konvexen Krümmung der ersten Platte (4) von der zweiten Platte (5) vorstehen.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig.1

