

(19)



(11)

EP 4 013 187 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
12.03.2025 Patentblatt 2025/11

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H05B 3/44 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20213106.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H05B 3/44; H05B 2203/003; H05B 2203/022

(22) Anmeldetag: **10.12.2020**

(54) **ELEKTRISCHER GAS-STRÖMUNGSHEIZER SOWIE
GAS-STRÖMUNGSHEIZER-HERSTELLUNGSVERFAHREN**

ELECTRIC GAS FLOW HEATER AND GAS FLOW HEATER MANUFACTURING METHOD

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE DE GAZ ET PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CHAUFFAGE
ÉLECTRIQUE DE GAZ

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
15.06.2022 Patentblatt 2022/24

(73) Patentinhaber: **Sunfire GmbH
01237 Dresden (DE)**

(72) Erfinder:
• **Brettschneider, Eric
01307 Dresden (DE)**
• **Weber, Diego
01099 Dresden (DE)**

(74) Vertreter: **Hauck Patentanwaltspartnerschaft
mbB
Postfach 11 31 53
20431 Hamburg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2016/172441 US-B1- 9 980 518

EP 4 013 187 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen elektrischen Gas-Strömungsheizter für die Solid-Oxide-Cell-Technologie aufweisend wenigstens eine zylindrische Struktur, in der wenigstens ein Kanal zur Gasleitung ausgebildet und wenigstens ein elektrisches Heizelement in dem Kanal der zylindrischen Struktur angeordnet ist, wobei von dem elektrischen Heizelement Wärme auf ein durch den Kanal strömendes Gas zur Erwärmung des Gases und/oder zur Erzielung von hohen Gastemperaturen übertragbar ist.

[0002] Ferner betrifft die Erfindung ein Gas-Strömungsheizter-Herstellungsverfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen elektrischen Gas-Strömungsheizters für die Solid-Oxide-Cell-Technologie.

[0003] Der elektrische Gas-Strömungsheizter ist insbesondere für eine vertikale Durchströmung konzipiert. Eine horizontale Verwendung ist ebenfalls möglich. Der typische Temperaturbereich liegt bei Gastemperaturen von 800 °C bis 1200 °C, gleichwohl kann der hier beschriebene elektrische Gas-Strömungsheizter auch bereits bei deutlich niedrigeren oder auch bei höheren Betriebstemperaturen eingesetzt werden.

[0004] Aus dem **Stand der Technik** sind unterschiedliche Arten von Gas-Strömungsheizern mit verschiedenen Herstellungsverfahren bekannt.

[0005] Aus der DE 10 2014 102 474 A1 ist ein Gas-Strömungsheizter bekannt, bei welchem ein elektrischer Heizdraht durch mehrere einzelne Kanäle geführt wird. Der Heizdraht wird bei dieser Lösung in kleinen keramischen Röhrchen gelagert und elektrisch isoliert. Durch diese komplexe Anordnung und das entsprechende aufwendige Herstellungsverfahren ist diese Art des Gas-Strömungsheizers relativ teuer.

[0006] Die Europäische Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen EP20159612.9 offenbart eine entsprechend einfachere Herstellungsverfahren für einen im Stand der Technik bekannten Gas-Strömungsheizter, der elektrisch beheizt wird. Das Heizelement wird aus einem vorgebogenen Heizdraht gefertigt, wobei dieser in ein Wachs getaucht wird, das wiederum eine Schicht auf dem Leiter bildet. Der Draht wird samt Wachsschicht in Beton oder ein ähnliches Material gegossen und das Wachs anschließend ausgeschmolzen, sodass Kanäle mit darin befindlichen Heizdrähten ausgebildet werden, so dass eine einfachere Fertigung mit gesenkten Kosten möglich ist.

[0007] Aus US 9 982 418 ist ein kompakter Luftwärmetauscher/Heizelement-Element zur Verwendung in einem tragbaren Verdampfer bekannt, wobei in einer Anordnung das Heizelement ein mehrschichtiges Keramikelement mit mehreren internen leitenden Schichten, die Widerstände bildet. Das Heizelement kann hergestellt werden unter Verwendung von Niedertemperatur-Co-Fired Ceramic (LTCC) und Printed Circuit Board (PCB) Circuit Board (PCB).

[0008] Gemäß WO 2016/172441 ist ebenfalls ein Heiz-

element für einen Verdampfer mit einem planaren Bereich mit mindestens einem Filament bekannt, wobei das Filament einen Luftkanal durch den planaren Bereich bildet.

[0009] Weiter sind im Stand der Technik mäanderförmige Heizter bekannt, welche aus Graphit bestehen, welche zu Röhren gebogen werden. Lösungen dieser Art werden z.B. seitens der Firma SGL Carbon angeboten (vgl. <https://www.sglcarbon.com/loesungen/anwendung/hochtemperaturoefen/>).

[0010] Weiterhin sind im Stand der Technik Heizter bekannt, bei welchen ein Heizdraht serpentinenartig um einen Kern herum angeordnet ist, wobei der Kern in einem Kanal angeordnet ist. Lösungen dieser Art werden z.B. seitens der Firma Tutco Heating Solutions angeboten (vgl. <https://www.tutco.com/cartridge-heaters>).

[0011] Die **Probleme** der im Stand der Technik bekannten elektrischen Gas-Strömungsheizter sind im Wesentlichen, dass die Herstellung der Heizelemente sowohl zeit- als auch kostenintensiv ist und ihr Einbau bzw. der Zusammenbau technisch kompliziert erfolgen muss.

[0012] Weiter lassen sich diese zudem schlecht bis gar nicht warten bzw. reparieren und sind zudem sehr kompliziert in Bezug auf die Realisierung einer gleichmäßigen Temperatur am Ende des Kanals, in dem das Gas erhitzt wird.

[0013] Der vorliegenden Erfindung liegt die **Aufgabe** zugrunde, einen elektrischen Gas-Strömungsheizter sowie ein Gas-Strömungsheizter-Herstellungsverfahren bereitzustellen, welche eine Realisierung sowohl kleiner als auch großer, leistungsstarker Gaserhitzer-Heizelemente mit verringertem Fertigungsaufwand ermöglicht und mit verringerten Fertigungskosten wirtschaftlich betrieben werden können.

[0014] **Gelöst** wird diese Aufgabe mit einem Gas-Strömungsheizter gemäß Hauptanspruch Anspruch 1 sowie einem Gas-Strömungsheizter-Herstellungsverfahren gemäß nebengeordnetem Anspruch.

[0015] Der elektrische Gas-Strömungsheizter für die Solid-Oxide-Cell-Technologie weist anordnungsgemäß wenigstens eine zylindrische Struktur, in der wenigstens ein Kanal zur Gasleitung ausgebildet und wenigstens ein elektrisches Heizelement in dem Kanal der zylindrischen Struktur angeordnet ist, auf, wobei von dem elektrischen Heizelement Wärme auf ein durch den Kanal strömendes Gas zur Erwärmung des Gases und/oder zur Erzielung von hohen Gastemperaturen übertragbar ist, und ist dadurch gekennzeichnet, dass

- das elektrische Heizelement senkrecht zur Strömungsrichtung des Kanals zwei oder mehr beabstandete mäanderartig ausgebildete Heizgitterstrukturebenen aufweist, und
- die zwei oder mehr beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen in Strömungsrichtung nacheinander in dem Kanal ange-

ordnet sind, wobei die einzelnen beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen mäanderartig miteinander über jeweils eine elektrisch leitende Zwischenverbindung verbunden sind und die erste sowie die letzte der beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen einen elektrischen Konnektor aufweisen, und

- die zylindrische Struktur auf ihrer Innenwand zur Aufnahme der zwei oder mehr beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen ausgebildet ist.

[0016] Bevorzugt kann das elektrische Heizelement einstückig oder einteilig oder werkstoffeinstückig ausgebildet sein. Hierdurch werden mögliche Schwachstellen während des Betriebs durch Füge- oder Verbindungsfehler nahezu ausgeschlossen und zusätzliche Montageschritte vermieden.

[0017] Die zylindrische Struktur kann innenseitig zur Aufnahme der zwei oder mehr beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen bevorzugt mit einem Innengewinde, besonders bevorzugt mit einem zweigängigen Innengewinde ausgebildet sein, wobei das elektrische Heizelement durch eine Drehbewegung des elektrischen Heizelements gegenüber der zylindrischen Struktur in diese ein- bzw. ausbringbar ist. Das elektrische Heizelement kann also in das Gewinde geschraubt werden. Im montierten Zustand sind die einzelnen Heizgitterstrukturebenen in den Gewindegängen gelagert, wobei ein linienartiger Kontakt zwischen den Heizgitterstrukturebenen und den Gewindegängen hergestellt ist.

[0018] Ein zweigängiges Gewinde auf der Innenseite der zylindrischen Struktur ist vorteilhaft gegenüber einem eingängigen Gewinde, da dieses einer zu starken Biegung der Heizgitterstrukturebenen vorbeugt und eine gute Montierbarkeit gewährleistet.

[0019] Die Anordnung, insbesondere der Abstand der einzelnen benachbart zueinander angeordneten Heizgitterstrukturebenen ist derart gewählt, dass diese mit dem Innengewinde der zylindrischen Struktur passförmig sind. Jede Ebene der Heizgitterstrukturebenen wird durch das Innengewinde gehalten und gelagert.

[0020] Die zylindrische Struktur kann einstückig oder einteilig aber auch mehrstückig oder mehrteilig ausgebildet sein. Bevorzugt kann die zylindrische Struktur aus zwei Halbschalen ausgebildet sein, die zusammengesetzt die zylindrische Struktur bilden. Die Verwendung von Halbschalen erleichtert die Fertigung der zylindrischen Struktur durch Formgießen oder Formen und Sintern eines Grünlings, da weniger komplexe Halbzeuge zur Formung verwendet werden können und eine Nachbearbeitung vermieden werden kann.

[0021] In einer alternativen Ausgestaltung kann die zylindrische Struktur auf ihrer Innenwand zur Aufnahme der zwei oder mehr beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen nicht mit einem Ge-

winde, sondern mit einer Anordnung von Nuten versehen sein. Die Abstände der Nuten ist dabei so gewählt, dass diese mit den Abständen der mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen passförmig ist. Durch eine solche Anordnung ist eine besonders einfache Montage möglich, nämlich indem das elektrische Heizelement in eine erste der Halbschalen eingesetzt oder eingelegt wird und anschließend die zweite Halbschale mit der ersten zusammengesetzt wird. Die mäanderartig miteinander verbundenen einzelnen beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen können insbesondere in Strömungsrichtung gleichbeabstandet angeordnet werden.

[0022] Das elektrische Heizelement kann bevorzugt wenigstens eines der Merkmale ausgewählt aus den nachfolgenden Merkmalen aufweisen:

- die einzelnen beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen weisen eine kreisrunde Einhüllende auf;
- die einzelnen beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen sind in ihren Randbereichen breiter als in ihren Innenbereichen ausgebildet;
- der Leiterquerschnitt der Zwischenverbindungen ist deutlich größer als die Leiterquerschnitte der beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen.

[0023] Geometrisch ist die Kreisform besonders bevorzugt, da sich auf diese Weise ein Ebenenkonstrukt ausbilden lässt, das sich zur Aufnahme in dem Gewinde in die zylindrische Struktur einbringen lässt. Insbesondere ist es von besonderem Vorteil dabei, wenn die runde Ausgestaltung in Kombination mit dem zweigängigen Gewinde auf der Innenseite der zylindrischen Struktur ausgebildet wird, da dies eine optimale Schraubbarkeit gewährleistet.

[0024] Ein Vorteil der Ausgestaltung, dass der Leiterquerschnitt in den Randbereichen der mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen größer als die Leiterquerschnitte der innenliegenden Heizleiter der mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen ist, ist die erhöhte Lebensdauer, wobei dies dadurch realisiert wird, dass dort aufgrund des größeren Leiterquerschnitts weniger Wärmeenergie freigesetzt wird, sodass die Temperatur des der Heizgitterstrukturebenen im Kontaktbereich mit der zylindrischen Struktur unkritisch ist. Die Gefahr einer lokalen Überhitzung infolge schlechter Wärmeabfuhr an den Kontaktstellen zwischen elektrischem Heizelement und zylindrischer Struktur wird folglich minimiert, ohne eine aufwendige keramische Geometrie nötig zu machen. Mit Leiterquerschnitt ist im Zusammenhang mit der vorbeschriebenen Ausgestaltung ausschließlich die Breite der elektrischen Stege der Mäanderstruktur zu verstehen und nicht deren Höhe. Das elektrische Heizelement wird bevorzugt aus einem Blech von im Wesentlichen konstanter Dicke ausgeformt, z.B.

0,7 mm oder 1,0 mm.

[0025] Die zylindrische Struktur kann bevorzugt als elektrischer Isolator ausgebildet sein. Auf diese Weise wird in einer Struktur gleichzeitig die elektrische Isolation realisiert und das elektrische Heizelement gehalten.

[0026] Besonders bevorzugt wird die zylindrische Struktur aus technischer Keramik und/oder Beton und/oder Aluminiumoxid gebildet.

[0027] In einer weiteren bevorzugten Variante wird das elektrische Heizelement supportstrukturfrei ausgebildet, so dass das elektrische Heizelement ausschließlich in dem Gewinde der zylindrischen Struktur gelagert ist. Dies stellt einen erheblichen Fertigungsvorteil dar, da lediglich das Heizelement und die zylindrische Struktur gefertigt und anschließend zusammengeführt werden müssen.

[0028] In einer weiteren bevorzugten Variante sind die benachbarten Heizgitterstrukturebenen der mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen so ausgeformt, dass die Öffnungen der einzelnen Heizgitterstrukturebenen bezüglich der Strömungsrichtung nicht miteinander in Deckung sind. In einer weiteren bevorzugten Variante sind die mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen mit Diffuser-Elementen versehen, die mit den einzelnen Heizgitterstrukturebenen einstückig oder einteilig oder werkstoffeinstückig ausgeformt sind. Über die Anordnung der Öffnungen der einzelnen Ebenen und über Diffuser-Elemente kann die Strömung des zu erwärmenden Gases und der Wärmeeintrag in das Gas beeinflusst und somit die Temperaturverteilung in dem Gas optimiert werden.

[0029] Das elektrische Heizelement kann insbesondere aus VDM® Aluchrom W, Kanthal® APM oder einem anderen aluminiumhaltigen ferritischen Chromstahl zur Verwendung bei Temperaturen von bis zu 1250°C gefertigt sein. Denkbar sind jedoch auch andere Legierungen, die in dem gewählten Temperaturbereich ausreichend hohe Formstabilität aufweisen und bevorzugt während des Betriebs und unter Anwesenheit von Sauerstoff eine die Oberfläche schützende Oxidschicht ausbilden.

[0030] Die zylindrische Struktur kann mit Öffnungen so ausgestaltet sein, dass sich durch diese Verbindungsmittel zur elektrischen Kontaktierung der Konnektoren der ersten bzw. letzten Heizgitterstrukturebene durchführen und mit diesen elektrisch verbinden lassen, so dass das elektrische Heizelement darüber mit einer elektrischen Energiequelle versorgt werden kann.

[0031] Prinzipiell kann gesagt werden, dass der hier beschriebene Gas-Strömungsheizler maßgeblich aus zwei funktionellen Komponenten besteht, nämlich der zylindrischen Struktur und dem elektrischen Heizelement in doppelter Mäanderform, nämlich einmal in der Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung und einmal entlang der Strömungsrichtung.

[0032] Verfahrensgemäß weist das Gas-Strömungsheizler-Herstellungsverfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen elektrischen Gas-Strömungsheizlers für die Solid-Oxide-Cell-Technologie wenigstens die fol-

genden Schritte auf:

- a) Herstellen der zylindrischen Struktur;
- b) Herstellen des elektrischen Heizelements durch Biegen mittels der folgenden Schritte:

- Herstellen eines Rohlings durch Stanzen und/oder Lasern und/oder Schneiden aus einem Blech, wobei miteinander über Zwischenverbindungen verbundene mäanderartig ausgebildete Heizgitterstrukturebenen ausgebildet werden;
- Biegen des Rohlings jeweils im Bereich der Zwischenverbindungen um jeweils 180°, so dass eine zylinderförmige Struktur aus planparallelen mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen entsteht, deren Abstand durch die Zwischenverbindungen gewahrt wird;

- c) Montage des Gas-Strömungsheizlers mittels der folgenden Schritte:

- Einschrauben oder Einsetzen des elektrischen Heizelements in die zylindrische Struktur; und
- elektrisches Kontaktieren des elektrischen Heizelements.

[0033] Die zylindrische Struktur kann durch Formgießen oder Formen und Sintern eines Grünlings hergestellt werden. Durch dieses Verfahren ist es möglich, einen entsprechenden Gas-Strömungsheizler kostengünstig und mit möglichst wenig Verfahrensschritten herzustellen. Insbesondere kann durch die Anpassung der Anzahl der Ebenen von Heizgitterstrukturebenen die Dimensionierung erfolgen. Zudem ist durch die getrennte Fertigung von Heizelement und zylindrischer Struktur auch eine ortsunabhängige Einzelherstellung der beiden Komponenten möglich, wobei diese bei der Endmontage lediglich zusammengeschraubt werden müssen, also das elektrische Heizelement in die zylindrische Struktur. Das Verfahren ermöglicht zudem die Herstellung eines dreidimensionalen Heizelements, bei welchem ausschließlich das Prinzip der Reihenschaltung zur Anwendung kommt. Parallelschaltungen, die eine Verwendung höherer Stromstärken erforderlich machen, werden vermieden.

[0034] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen in der **Abbildungsbeschreibung** detailliert beschrieben, wobei diese die Erfindung erläutern sollen und nicht beschränkend zu werten sind:

Es zeigen:

Abb. 1 eine schematische Darstellung eines Rohlings des elektrischen Heizelements in geschnittener bzw. ausgestanzter Form;

Abb. 2 eine schematische Darstellung des Rohlings des elektrischen Heizelements aus Fig. 1 in

- mäanderartig gefalteter Form in Seitenansicht;
- Abb. 3 eine schematische Darstellung des in Fig. 2 gezeigten mäanderartig gefalteten elektrischen Heizelements in isometrischer Darstellung;
- Abb. 4 eine schematische Darstellung eines alternativen Rohlings des elektrischen Heizelements in geschnittener bzw. ausgestanzter Form, wobei zusätzliche Stege für das Handling während des Herstellungsprozesses vorgesehen sind;
- Abb. 5 eine schematische Darstellung des in Fig. 4 gezeigten nun mäanderartig gefalteten elektrischen Heizelements in isometrischer Darstellung;
- Abb. 6 eine schematische Darstellung der zylindrischen Struktur in einer geschnittenen Seitenansicht;
- Abb. 7 eine schematische Darstellung eines eingebauten elektrischen Heizelements in einer zylindrischen Struktur in Draufsicht;
- Abb. 8 eine schematische Darstellung eines eingebauten elektrischen Heizelements in einer zylindrischen Struktur in einer geschnittenen Seitenansicht; und
- Abb. 9 eine schematische Darstellung des zusammengesetzten elektrischen Gas-Strömungsheizers in einer isometrischen Darstellung; und
- Abb. 10 eine schematische Darstellung einer alternativen Ausführung des elektrischen Gas-Strömungsheizers in einer Explosionsdarstellung.

[0035] Die nachfolgenden exemplarischen weiteren Ausführungen sollen bzw. müssen nicht zwingend beschränkend gewertet werden, sondern stellen vielmehr besondere Ausführungen dar und sollen die hier offenbarte Erfindung erläutern:

Zunächst wird ein Rohling des elektrischen Heizelements gefertigt, wobei hierzu aus einem 1 bis 0,7 Millimeter dicken Blech eine Struktur gestanzt oder schnitten wird, beispielsweise mittels eines Lasers. Der Fertigungsschritt kann beispielsweise CNC-gestützt erfolgen. Hierbei entsteht eine flächige Mäanderstruktur als Band aus mehreren, bezüglich ihrer Einhüllenden kreisförmiger Segmente, also die einzelnen Heizgitterstrukturebenen, die durch Zwischenverbindungen bzw. Stege miteinander verbunden sind (vgl. Abb. 1). Die Mäander

der einzelnen Heizgitterstrukturebenen sind so gestanzt bzw. geschnitten, dass der Leiterquerschnitt bezüglich des Kreismittelpunkts im Außenbereich größer ist als der Leiterquerschnitt der innenliegenden Heizleiter (vgl. Abb. 7). Anschließend an das Ausschneiden wird der Rohling nach gängigen Verfahren entgratet (nicht dargestellt). An den Zwischenverbindungen bzw. Stegen wird der Rohling um 180° gebogen, sodass ein Zylinderpaket aus übereinanderliegenden parallelen Mäanderblechen entsteht, deren Abstand, exemplarisch ca. 3 mm, durch die Stege gewahrt wird (vgl. Abb. 2 und 3).

[0036] Alternativ können die einzelnen Heizgitterstrukturebenen einzeln geschnitten und miteinander verschweißt werden. Entsprechend würde kein bandförmiger Rohling, sondern nur einzelne kreisförmig Blechsegmente bereitgestellt werden.

[0037] Um die Fertigung zu erleichtern, können Stege für das Handling während des Herstellungsprozesses an den Heizgitterstrukturebenen (vgl. Abb. 4 und 5 gegenüber Abb. 1 und 3) vorgesehen sein, welche nach dem Biegen oder Schweißen bzw. vor der Montage (Schritt c) abgetrennt werden.

[0038] Das fertig hergestellte elektrische Heizelement wird dann entsprechend in die zylindrische Struktur (vgl. Abb. 6) eingebracht, wobei dies insbesondere durch Eindrehen bzw. Einschrauben erfolgen kann (vgl. Abb. 7, 8 und 9). Die zylindrische Struktur, die gleichzeitig als Isolator dient, ist in Abb. 6 gezeigt und mit einem Innengewinde versehen.

[0039] Die zylindrischen Struktur kann alternativ aus zwei Halbschalen ausgebildet sein, die zusammengesetzt die zylindrischen Struktur bilden (vgl. Abb. 10).

[0040] In einer alternativen Ausgestaltung kann die zylindrische Struktur auf ihrer Innenwand zur Aufnahme der zwei oder mehr beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen eine Anordnung von Nuten aufweisen (vgl. Abb. 10). Durch diese Ausgestaltung ist eine besonders einfache Montage möglich, nämlich indem das elektrische Heizelement in eine erste der Halbschalen eingesetzt oder eingelegt wird und anschließend die zweite Halbschale mit der ersten zusammengesetzt wird.

[0041] Hinsichtlich weiterer Optimierungsmöglichkeiten wird nachfolgend ausgeführt:

Es besteht die Möglichkeit bei der Herstellung des Rohlings des elektrischen Heizelements entsprechende Heizgitterstrukturebenen oder Bereiche davon in unterschiedlicher Dimensionierung auszuführen, so dass beispielsweise durch dickere Leiterquerschnitte in bestimmten definierten Bereichen andere Wärmemengen an das vorbeiströmende Gas abgegeben werden können. Zudem kann auch gezielt die Strömung beeinflusst werden, indem benachbarte Heizgitterstrukturebenen so ausgeschnitten bzw. ausgestanzt (und bei einem Verschweißen vorselektiert) werden, dass die Öffnungen benachbarter Heizgitterstrukturebenen bezüglich der Strömungsrichtung nicht miteinander in Deckung sind. Die einzelnen Heizgitterstrukturebenen können zudem Dif-

fuser-Elemente aufweisen, die keinen Kontakt zwischen den einzelnen Leitern herstellen, jedoch den Strömungsfluss turbulenz erhöhend beeinflussen (nicht dargestellt).

[0042] Diese individuelle Ausgestaltung kann von Ebene zu Heizgitterstrukturebene anders ausgebildet sein, so dass hier durch gezielte Beeinflussung der Strömung am Ende ein homogen erwärmtes Gas aus dem Gas-Strömungsheizer ausgeleitet wird, das dann der weiteren Prozessierung zur Verfügung gestellt wird. Die Kanalstruktur im Inneren kann so variiert werden und bewirkt eine entsprechende Homogenisierung. Insbesondere ist hierdurch eine große Variabilität in der Gestaltung der so bildbaren Kanal- und Tragstruktur möglich. Es können im Innenbereich quasi Kanalstrukturen gestaltet werden, die dann durchaus einen positiven Einfluss auf die Erwärmung des strömenden Gases haben können. Es können aber auch komplexe innere Kanalstrukturen gebildet werden, um bspw. Strömungen zu beruhigen oder aber auch bewusst turbulent auszugestalten. Mittels Computersimulationen können derartige Engstellen für die Gasströmung berechnet und jeweils entsprechend angepasst werden, da dies von vielen Faktoren wie Gaseintrittsbereich, Gasaustrittsbereich, Strömungsmenge, etc. abhängt.

[0043] Die einzelnen Heizleiter der mäanderartigen elektrischen Heizelemente können unterschiedlich dicht angeordnet sein. In einer speziellen Variante kann auch eine inhomogene Verteilung Heizleiter in einer Ebene realisiert werden, die einer möglichen ungleichmäßigen Gaserwärmung entgegenwirken kann, bspw. in Randbereichen des Heizers. Hierzu kann entsprechend den Strömungsprofilen der Heizer mit den Heizelementen ausgestaltet werden.

[0044] Sollten im Laufe der Zeit das elektrische Heizelement in Folge einer Materialermüdung ausgewechselt werden müssen, kann es in einfacher Weise aus der zylindrischen Fassung geschraubt werden und ein neues elektrisches Heizelement eingesetzt werden. Auf gleiche Weise kann auch die Gaserwärmung optimiert werden, da die erfinderische Lösung bei Verwendung von CNC-gestützten Verfahren eine schnelle Validierung simulierter Temperaturverteilungen des Gas-Strömungsheizer erlaubt.

[0045] Mögliche Anwendungen sind insbesondere im Bereich der Solid-Oxide-Cell-Technologie oder aber auch der Stahlindustrie zu sehen, da in beiden Anwendungsbereichen hohe Gastemperaturen erreicht werden müssen.

[0046] Die zuvor genannten Ausführungsbeispiele sollen die Erfindung erläutern, jedoch nicht zwingend in dessen Schutzzumfang beschränken.

Patentansprüche

1. Elektrischer Gas-Strömungsheizer für die Solid-Oxide-Cell-Technologie aufweisend wenigstens eine zylindrische Struktur, in der wenigstens ein Kanal

zur Gasleitung ausgebildet und wenigstens ein elektrisches Heizelement in dem Kanal der zylindrischen Struktur angeordnet ist,

wobei von dem elektrischen Heizelement Wärme auf ein durch den Kanal strömendes Gas zur Erwärmung des Gases und zur Erzielung von Gastemperaturen von 800 °C bis 1200 °C übertragbar ist, wobei

- das elektrische Heizelement senkrecht zur Strömungsrichtung des Kanals zwei oder mehr beabstandete mäanderartig ausgebildete Heizgitterstrukturebenen aufweist, und
- die zwei oder mehr beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen in Strömungsrichtung nacheinander in dem Kanal angeordnet sind, wobei die einzelnen beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen mäanderartig miteinander über jeweils eine elektrisch leitende Zwischenverbindung verbunden sind und die erste sowie die letzte der beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen einen elektrische Konnektor aufweisen, und
- die zylindrische Struktur auf ihrer Innenwand zur Aufnahme der zwei oder mehr beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen ausgebildet ist.

2. Elektrischer Gas-Strömungsheizer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrische Heizelement einstückig oder einteilig oder werkstoffeinstückig ausgebildet ist.
3. Elektrischer Gas-Strömungsheizer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zylindrische Struktur innenseitig zur Aufnahme der zwei oder mehr beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen mit

- einem Innengewinde, besonders bevorzugt mit einem zweigängigen Innengewinde ausgebildet ist, wobei das elektrische Heizelement durch eine Drehbewegung des elektrischen Heizelements gegenüber der zylindrischen Struktur in diese ein- bzw. ausbringbar ist, oder
- einer Anordnung von Nuten ausgebildet ist, wobei das elektrische Heizelement bei geöffneter zweigeteilter Halbschalenausbildung der zylindrischen Struktur einleg- bzw. entnehmbar ist.

4. Elektrischer Gas-Strömungsheizer nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die beabstandeten mäanderartig miteinander verbundenen einzelnen mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen in Strömungsrichtung gleichbeabstandet angeordnet sind. 5
5. Elektrischer Gas-Strömungsheizer nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das elektrische Heizelement wenigstens eines der Merkmale ausgewählt aus den nachfolgenden Merkmalen aufweist: 10
- die einzelnen beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen weisen eine kreisrunde Einhüllende auf; 15
 - die einzelnen beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen sind in ihren Randbereichen breiter als in ihren Innenbereichen ausgebildet; 20
 - der Leiterquerschnitt der Zwischenverbindungen ist deutlich größer als die Leiterquerschnitte der beabstandeten mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen. 25
6. Elektrischer Gas-Strömungsheizer nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die zylindrische Struktur als Isolator ausgebildet ist. 30
7. Elektrischer Gas-Strömungsheizer nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die zylindrische Struktur aus technischer Keramik und/oder Beton und/oder Aluminiumoxid gebildet ist. 35
8. Elektrischer Gas-Strömungsheizer nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das elektrische Heizelement supportstrukturfrei ausgebildet ist, so dass das elektrische Heizelement ausschließlich in der Aufnahme der zylindrischen Struktur gelagert ist. 40
9. Elektrischer Gas-Strömungsheizer nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die benachbarten Heizgitterstrukturebenen so ausgeformt, dass deren Öffnungen bezüglich der Strömungsrichtung nicht miteinander in Deckung sind und/oder die Heizgitterstrukturebenen mit Diffuser-Elementen versehen sind. 45
10. Gas-Strömungsheizer-Herstellungsverfahren zur Herstellung eines elektrischen Gas-Strömungsheizers für die Solid-Oxide-Cell-Technologie nach ei-

nem der vorangehenden Ansprüche aufweisend wenigstens die folgenden Schritte:

- a) Herstellen der zylindrischen Struktur;
- b) Herstellen des elektrischen Heizelements durch Biegen mittels der folgenden Schritte:

- Herstellen eines Rohlings durch Stanzen und/oder Lasern und/oder Schneiden aus einem Blech, wobei miteinander über Zwischenverbindungen verbundene mäanderartig ausgebildete Heizgitterstrukturebenen ausgebildet werden;
- Biegen des Rohlings jeweils im Bereich der Zwischenverbindungen um jeweils 180°, so dass eine zylinderförmige Struktur aus planparallelen mäanderartig ausgebildeten Heizgitterstrukturebenen entsteht, deren Abstand durch die Zwischenverbindungen gewahrt wird;

- c) Montage des Gas-Strömungsheizers mittels der folgenden Schritte:

- Einschrauben oder Einsetzen des elektrischen Heizelements in die zylindrische Struktur; und elektrisches Kontaktieren des elektrischen Heizelements.

Claims

1. Electric gas flow heater for solid oxide cell technology comprising at least one cylindrical structure in which at least one channel for gas conduction is formed and at least one electric heating element is arranged in the channel of the cylindrical structure wherein heat can be transferred from the electric heating element to a gas flowing through the channel to heat the gas and to achieve gas temperatures of 800°C to 1200°C, wherein
- the electric heating element has two or more spaced meander-like heating grid structure planes perpendicular to the flow direction of the channel, and
 - the two or more spaced meander-like heating grid structure planes are arranged one after the other in the channel in the direction of flow, the individual spaced meander-like heating grid structure planes being connected to one another in a meander-like manner via an electrically conductive intermediate connection in each case and the first and the last of the spaced meander-like heating grid structure planes having an electrical connector, and
 - the cylindrical structure is designed on its inner wall to accommodate the two or more spaced

- meander-like heating grid structure levels.
2. Electric gas flow heater according to claim 1,
characterized in that
the electric heating element is formed in one piece or
is one piece or is one piece made of one material. 5
 3. Electric gas flow heater according to claim 1 or 2,
characterized in that
the cylindrical structure is formed on the inside for
receiving the two or more spaced-apart meander-
like heating grid structure planes with 10
 - an internal thread, particularly preferably with a
double-threaded internal thread, wherein the
electric heating element can be inserted into
or removed from the cylindrical structure by a
rotary movement of the electric heating element
relative to the cylindrical structure, or 15
 - an arrangement of grooves, whereby the elec-
tric heating element can be inserted into or
removed from the cylindrical structure when
the two-part half-shell design of the cylindrical
structure is open. 20
 4. Electric gas flow heater according to one of the
preceding claims,
characterized in that
the spaced meander-like interconnected individual
meander-like heating grid structure planes are ar-
ranged equally spaced in the direction of flow. 25
 5. Electric gas flow heater according to one of the
preceding claims,
characterized in that
the electric heating element has at least one of the
features selected from the following features: 30
 - the individual spaced meandering heating grid
structure planes have a circular envelope; 35
 - the individual spaced meandering heating grid
structural levels are wider in their edge areas
than in their inner areas; 40
 - the conductor cross-section of the intermediate
connections is significantly larger than the con-
ductor cross-sections of the spaced meandering
heating grid structural levels. 45
 6. Electric gas flow heater according to one of the
preceding claims,
characterized in that
the cylindrical structure is designed as an insulator. 50
 7. Electric gas flow heater according to one of the
preceding claims,
characterized in that
the cylindrical structure is formed of technical cera-
mics and/or concrete and/or aluminum oxide. 55
 8. Electric gas flow heater according to one of the
preceding claims,
characterized in that
the electric heating element is designed without a
support structure, so that the electric heating ele-
ment is mounted exclusively in the receptacle of the
cylindrical structure.
 9. Electric gas flow heater according to one of the
preceding claims,
characterized in that
the adjacent heating grid structural planes are
shaped such that their openings do not coincide with
each other with respect to the direction of flow and/or
the heating grid structural planes are provided with
diffuser elements.
 10. A gas flow heater manufacturing method for manu-
facturing an electric gas flow heater for solid oxide
cell technology according to any one of the preced-
ing claims, comprising at least the following steps:
 - a) manufacturing the cylindrical structure;
 - b) manufacturing the electric heating element by
bending by means of the following steps:
 - Producing a blank by punching and/or
lasering and/or cutting from a sheet metal,
wherein meander-like heating grid structure
planes connected to each other via inter-
mediate connections are formed;
 - Bending the blank by 180° in each case in
the area of the intermediate connections, so
that a cylindrical structure of plane-parallel
meandering heating grid structure planes is
formed, the spacing of which is maintained
by the intermediate connections;
 - c) Assembly of the gas flow heater by means of
the following steps:
 - screwing or inserting the electric heating
element into the cylindrical structure; and
electrically contacting the electric heating
element.

Revendications

1. Chauffe-eau électrique à écoulement de gaz pour la
technologie des cellules à oxyde solide, comprenant
au moins une structure cylindrique dans laquelle est
formé au moins un canal pour la conduite du gaz et
au moins un élément chauffant électrique est dis-
posé dans le canal de la structure cylindrique,
de la chaleur pouvant être transmise par l'élément
chauffant électrique à un gaz s'écoulant à travers le
canal pour chauffer le gaz et pour obtenir des tem-

pératures de gaz de 800 °C à 1200 °C, dans lequel

- l'élément chauffant électrique présente, perpendiculairement à la direction d'écoulement du canal, deux ou plusieurs plans de structure de grille chauffante espacés, réalisés à la manière de méandres, et
 - les deux ou plusieurs plans de structure de grille chauffante en forme de méandres espacés sont disposés l'un après l'autre dans le canal dans la direction d'écoulement, les différents plans de structure de grille chauffante en forme de méandres espacés étant reliés entre eux en forme de méandres par une liaison intermédiaire conductrice de l'électricité et le premier ainsi que le dernier des plans de structure de grille chauffante en forme de méandres espacés présentant un connecteur électrique, et
 - la structure cylindrique est formée sur sa paroi intérieure pour recevoir les deux ou plusieurs plans de structure de grille chauffante espacés et formés en meanders.
2. Chauffe-eau électrique à gaz selon la revendication 1,
- caractérisé en ce que**
l'élément chauffant électrique est formé d'une seule pièce ou d'un seul tenant ou d'un seul matériau.
3. Chauffe-eau électrique à gaz selon la revendication 1 ou 2,
- caractérisé en ce que**
la structure cylindrique est dotée, du côté intérieur, d'une grille chauffante pour recevoir les deux ou plusieurs plans de structure de grille chauffante espacés et conçus en forme de meanders
- un filetage intérieur, de préférence un filetage intérieur à deux filets, l'élément chauffant électrique pouvant être introduit ou extrait dans la structure cylindrique par un mouvement de rotation de l'élément chauffant électrique par rapport à celle-ci,
 - ou
 - d'un agencement de rainures, l'élément chauffant électrique pouvant être inséré ou retiré de la structure cylindrique lorsque la demi-coque en deux parties est ouverte.
4. Chauffe-eau électrique à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
les différents plans de structure de grille chauffante en forme de méandres, reliés entre eux et espacés, sont disposés à égale distance dans le sens de l'écoulement.
5. Chauffe-eau électrique à gaz selon l'une quelconque

des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**

l'élément de chauffage électrique présente au moins une des caractéristiques choisies parmi les caractéristiques suivantes:

- les différents plans de structure de grille chauffante espacés et formés en méandres présentent une enveloppe circulaire;
- les différents plans de structure de grille chauffante espacés et formés en méandres sont plus larges dans leurs zones de bordure que dans leurs zones intérieures;
- la section transversale des conducteurs des liaisons intermédiaires est nettement plus grande que les sections transversales des conducteurs des plans de structure de grille chauffante espacés et formés en meanders.

6. Chauffe-eau électrique à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
la structure cylindrique est conçue comme un isolateur.
7. Chauffe-eau électrique à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
la structure cylindrique est formée de céramique technique et/ou de béton et/ou d'alumine.
8. Chauffe-eau électrique à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
l'élément de chauffage électrique est dépourvu de structure de support, de sorte que l'élément de chauffage électrique est exclusivement supporté dans le logement de la structure cylindrique.
9. Chauffe-eau électrique à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
les plans de structure de grille chauffante voisins sont formés de telle sorte que leurs ouvertures ne coïncident pas entre elles par rapport à la direction d'écoulement et/ou les plans de structure de grille chauffante sont pourvus d'éléments de diffusion.
10. Procédé de fabrication d'un radiateur à gaz pour la fabrication d'un radiateur électrique à gaz pour la technologie des cellules à oxyde solide selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant au moins les étapes suivantes:
- a) Fabrication de la structure cylindrique;
 - b) fabriquer l'élément de chauffage électrique par pliage au moyen des étapes suivantes:

- Fabrication d'une ébauche par estampage et/ou par laser et/ou par découpage dans une tôle, des plans de structure de grille chauffante en forme de méandres, reliés entre eux par des liaisons intermédiaires, étant formés; 5

- Pliage de l'ébauche de respectivement 180° dans la zone des liaisons intermédiaires, de sorte qu'il se forme une structure cylindrique constituée de plans parallèles de structures de grille chauffante en forme de méandres, dont l'écartement est maintenu par les liaisons intermédiaires; 10

c) Montage du radiateur à gaz au moyen des étapes suivantes: 15

- visser ou insérer l'élément chauffant électrique dans la structure cylindrique; et établir un contact électrique avec l'élément chauffant électrique. 20

25

30

35

40

45

50

55

Abb. 1

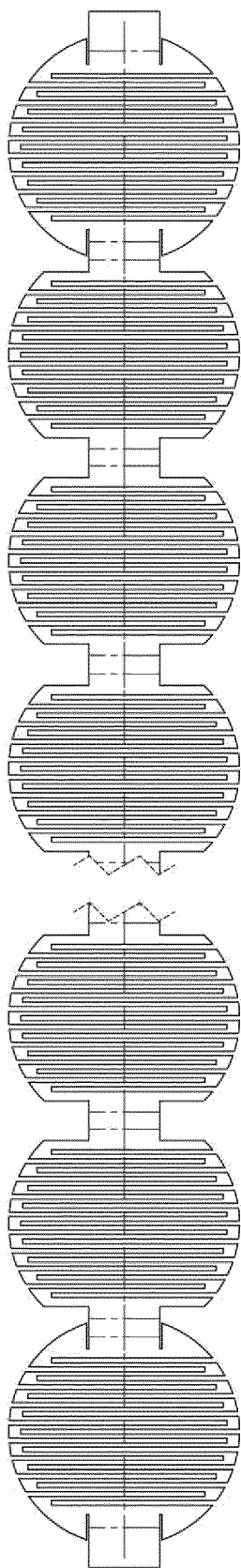


Abb. 2

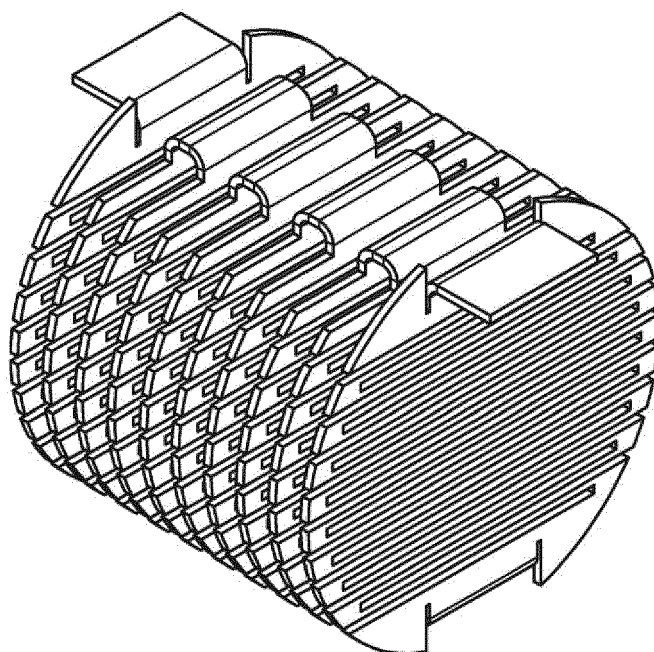
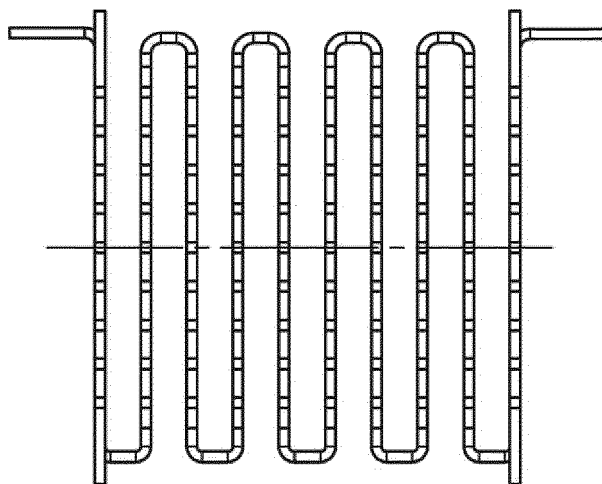


Abb. 3

Abb. 4

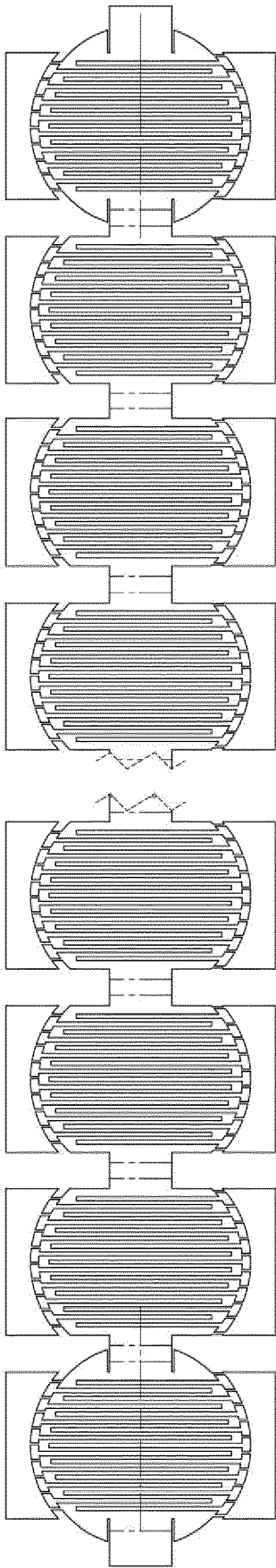


Abb. 5

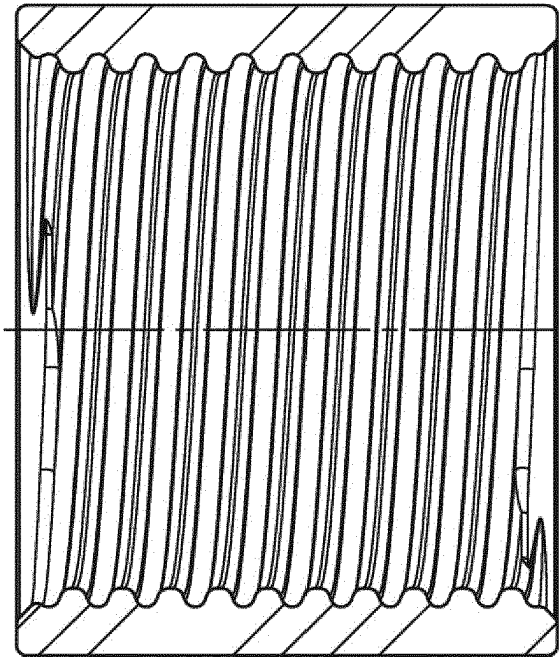
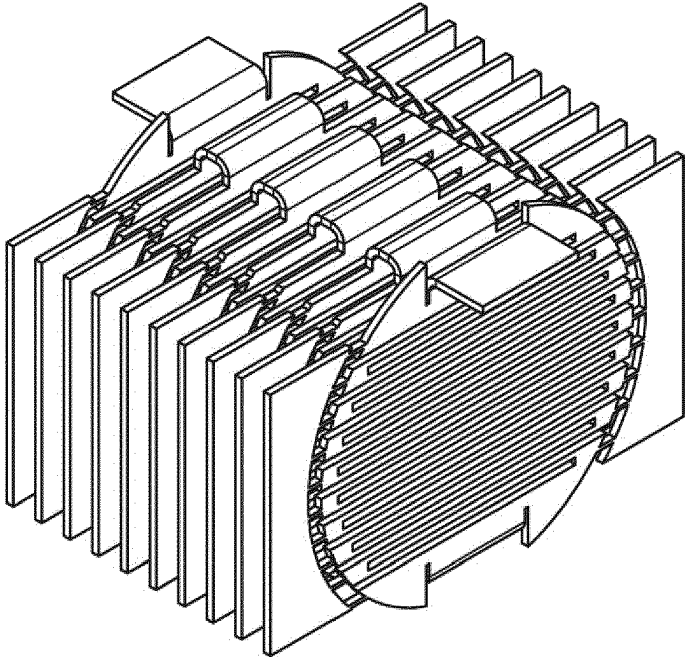


Abb. 6

Abb. 7

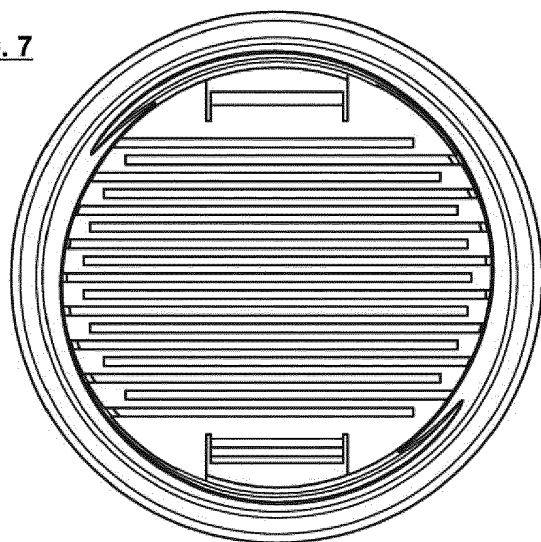


Abb. 8

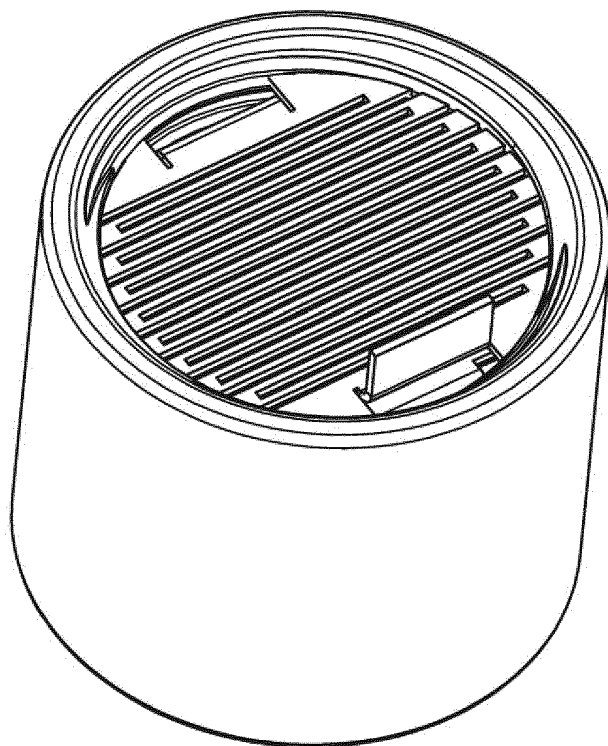
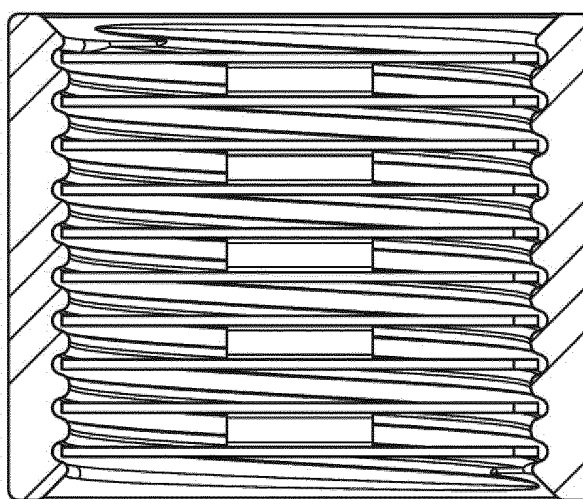
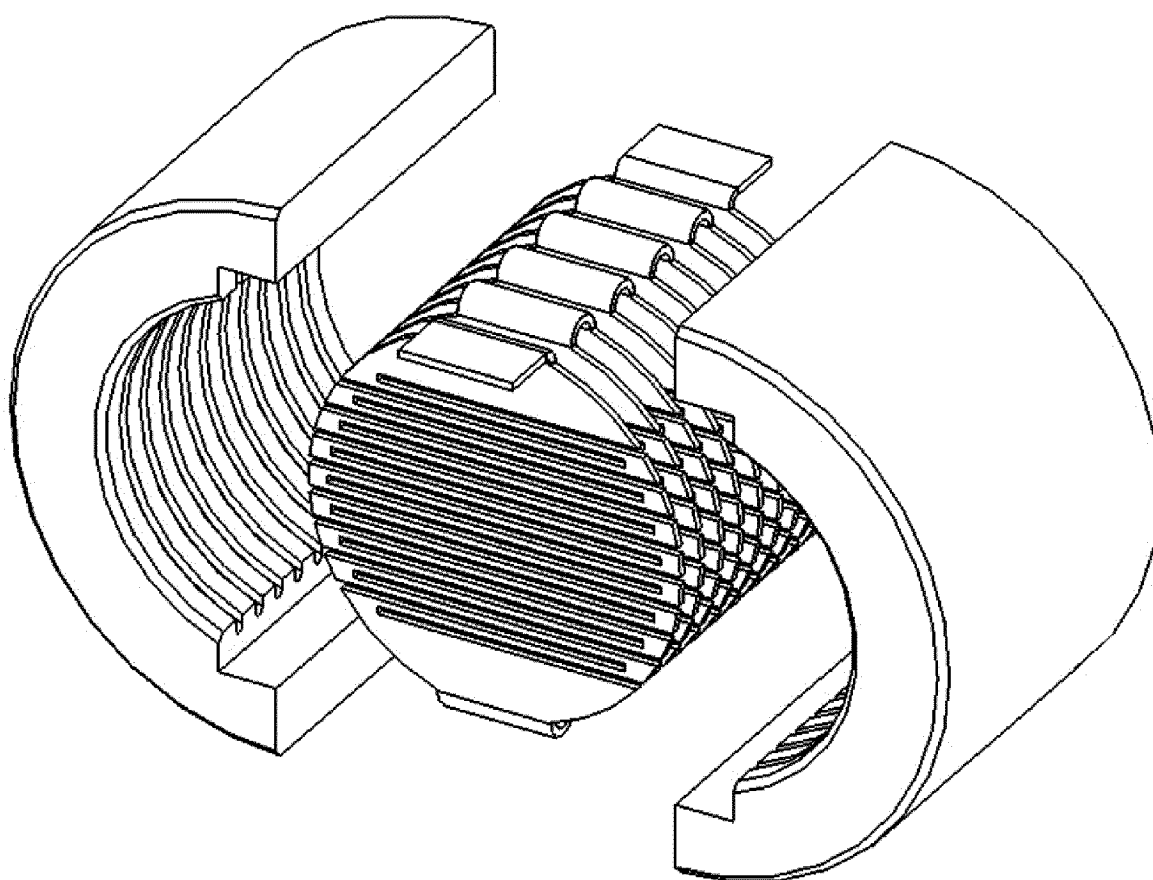


Abb. 9

Abb. 10



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102014102474 A1 [0005]
- EP 20159612 [0006]
- US 9982418 B [0007]
- WO 2016172441 A [0008]