

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
1. September 2016 (01.09.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/135026 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F23G 7/06 (2006.01) F23L 15/02 (2006.01)
B01D 53/74 (2006.01) F28D 17/02 (2006.01)
B01D 53/88 (2006.01) F28D 17/04 (2006.01)
F23G 7/07 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/053402

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Februar 2016 (18.02.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
62/121,346 26. Februar 2015 (26.02.2015) US

(71) Anmelder: DÜRR SYSTEMS GMBH [DE/DE]; Carl-Benz-Str. 34, 74321 Bietigheim-Bissingen (DE).

(72) Erfinder: WIDHALM, Daniel; 17468 Lake View Circle, Northville, MI 46168 (US).

(74) Anwalt: PRÜFER & PARTNER MBB; Patentanwälte Rechtsanwälte, Sohnckestr. 12, 81479 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MOLDED PART FOR TREATING A FLUID

(54) Bezeichnung : FORMKÖRPER ZUM BEHADELN EINES FLUIDS

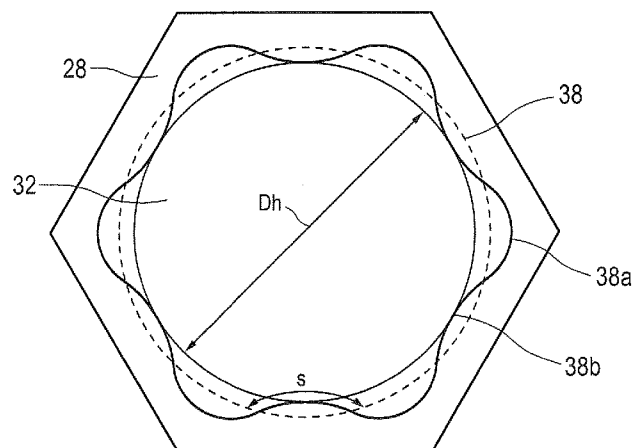


Fig. 7

(57) Abstract: A molded part for treating a fluid, in particular for controlling the temperature of a fluid, which can, for example, be used to form a heated bed (24) of a regenerator (14) or in a wall-flow filter or catalytic converter, comprises a block (27) made of a heat-conducting material, defined by a base (X-Y) and a height extending perpendicular to the base, said block (27), when seen in the cross-section, having a plurality of cells (28) parallel to its base (X-Y). The block (27) has a plurality of channels (30, 32) extending substantially parallel to each other and to the direction of height (Z) of the block, each of said channels (30, 32) being provided in a cell (28) in such a manner that an inner wall (34) is present between the channels (30, 32) in adjacent cells (28). Furthermore, a cross-sectional shape of the channels (30, 32) or of the inner walls (34), parallel to the base (X-Y) of the block (27), has a structural length (s) of a section having a constant curvature sign of not more than 3.5 mm, or of not more than 20% of the total circumference of the cross-sectional shape of the channels.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2016/135026 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Ein Formkörper zum Behandeln, insbesondere Temperieren eines Fluids, der zum Beispiel zum Bilden eines Wärmebetts (24) eines Regenerators (14) oder in einem Wall-Flow-Filter oder Katalysator eingesetzt werden kann, weist einen Block (27) aus einem wärmeleitenden Material auf, der durch eine Grundfläche (X-Y) und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe definiert ist, wobei der Block (27) im Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche (X-Y) eine Vielzahl von Zellen (28) aufweist. In dem Block (27) ist eine Vielzahl von Kanälen (30, 32) ausgebildet, die im Wesentlichen parallel zueinander und zur Höhenrichtung (Z) des Blocks verlaufen, wobei jeder dieser Kanäle (30, 32) in einer Zelle (28) derart vorgesehen ist, dass zwischen den Kanälen (30, 32) in benachbarten Zellen (28) eine Innenwand (34) vorhanden ist. Ferner hat eine Querschnittsform der Kanäle (30, 32) oder der Innenwände (34) parallel zur Grundfläche (X-Y) des Blocks (27) eine Strukturlänge (s) eines Abschnitts eines gleichbleibenden Krümmungsvorzeichens von höchstens 3,5 mm oder von höchstens 20% des Gesamtumfangs der Querschnittsform der Kanäle.

FORMKÖRPER ZUM BEHANDELN EINES FLUIDS

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Formkörper zum Behandeln, insbesondere Temperieren eines Fluids. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner einen Wärmetauscher mit wenigstens einem Wärmebett, das wenigstens einen solchen Formkörper aufweist, einen Thermoreaktor, insbesondere zur regenerativen thermischen Oxidation von brenn-
10 baren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, der wenigstens einen solchen Wärme-
tauscher als Regenerator aufweist, und auch die Verwendung der erfindungsgemäßen Formkörper in Katalysatoren und Filtern.

TECHNISCHER HINTERGRUND

Thermoreaktoren, insbesondere solche in Anlagen zur regenerativen thermischen
15 Oxidation (RTO) von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, weisen
typischerweise eine mit einem thermisch umzusetzenden Gasstrom beaufschlagte Brenn-
kammer und wenigstens zwei Regeneratoren zum Beispiel unterhalb der Brennkammer
auf. Bevorzugt wird dabei einer der Regeneratoren in einem bestimmten Betriebszustand
des Thermoreaktors mit einem (ersten) Gasstrom beaufschlagt, welcher der Brenn-
20 kammer zugeführt wird, während der andere Regenerator mit einem (zweiten) Gasstrom
beaufschlagt wird, der aus der Brennkammer austritt. Üblicherweise erhält der erste
Gasstrom aus dem durchströmten Regenerator eine gewisse Menge an Wärmeenergie,
während der zweite Gasstrom seinerseits Wärmeenergie an den zugeordneten
Regenerator abgibt. Zur Zwischenspeicherung von Wärmeenergie werden in
25 Regeneratoren neben wärmespeichernden Schüttungen (z.B. Kugeln, Satteln, etc.)
alternativ oder zusätzlich Wärmebetten mit zum Beispiel keramischen Formkörpern
eingesetzt. Diese zeichnen sich durch eine vorhersagbare und homogene Druckdifferenz
bei einer gewissen Durchströmung des jeweiligen Wärmebetts aus, da sich in den
Kanälen der Formsteine in der Regel eine laminare Strömung des durch den Regenerator
30 hindurch geleiteten Fluids (Gas oder Flüssigkeit) ausbildet.

Die thermische Effizienz und die Standzeit der Regeneratoren sind wichtige Parameter für
die effiziente Nutzung solcher Regeneratoren. Die thermische Effizienz und die Standzeit
werden dabei jedoch durch die Bildung von Ablagerungen innerhalb der Regeneratoren

mit nachfolgendem abschnittweisen Verstopfen einzelner Strömungskanäle oder ganzer Formsteine in den Wärmebetten beeinflusst (so genanntes "Verblocken"). Dieses "Verblocken" entsteht insbesondere durch Ausfällen von Feststoffen aus dem durchgeleiteten Fluid, wobei sich gewisse Feststoffe an den Kanalwänden absetzen und dort ansammeln. So kommt es beispielsweise bei der Reinigung von siloxanhaltigen Ablüften zum Ausfall von Si-Oxiden an den Kanalwänden.

Die Verblockung der Regeneratoren hat zur Folge, dass die Wärmebetten von betroffenen RTO-Anlagen in regelmäßigen Abständen von den Ablagerungen befreit bzw. die betroffenen Formkörper der Wärmebetten ausgetauscht werden müssen. Für diese Wartungsarbeiten muss die RTO-Anlage abgeschaltet und heruntergekühlt werden, bevor die Formkörper der Wärmebetten gereinigt bzw. ausgetauscht werden können. Bis die RTO-Anlage wieder betriebsbereit ist, vergehen typischerweise 2 bis 3 Arbeitstage. Während dieser Zeit kann der an die RTO-Anlage angeschlossene Produktionsbereich in der Regel nicht in vollem Umfang arbeiten, sodass die Standzeit, d.h. die Zeit bis zu einem Verblocken der Wärmebetten, eines Regenerators einer RTO-Anlage ein entscheidender Faktor für die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlage sein kann.

Die Problematik des Verblockens existiert nicht nur bei Thermoreaktoren bzw. deren Regeneratoren. Das Verblocken der Strömungskanäle kann gleichermaßen in anderen Wärmetauschern, Filtern, Katalysatoren, etc. in den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten auftreten und entsprechende Nachteile zur Folge haben.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, einen verbesserten Formkörper zu schaffen, der die oben beschriebenen Nachteile im Stand der Technik vermeidet oder zumindest vermindert.

Es soll insbesondere ein Formkörper mit einer verbesserten Widerstandsfähigkeit gegen ein Verblocken seiner Strömungskanäle geschaffen werden.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die Lehre der unabhängigen Ansprüche. Besonders bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

- Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung weist ein Formkörper zum Behandeln eines Fluids einen Block aus einem wärmeleitenden Material auf, der durch eine Grundfläche und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe definiert ist, wobei der Block im
- 5 Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche eine Vielzahl von Zellen aufweist. In dem Block ist ferner eine Vielzahl von Kanälen ausgebildet, die im Wesentlichen parallel zueinander und zur Höhenrichtung des Blocks verlaufen, wobei jeder dieser Kanäle in einer Zelle derart vorgesehen ist, dass zwischen den Kanälen in benachbarten Zellen eine Innen-
- 10 wände parallel zur Grundfläche des Blocks eine Strukturlänge eines Abschnitts eines gleichbleibenden Krümmungsvorzeichens von höchstens 3,5 mm, bevorzugt von höchstens 2,85 mm, und/oder von höchstens 20%, bevorzugt von höchstens 15%, des Gesamtumfangs der Querschnittsform der Kanäle auf.
- 15 Das Krümmungsvorzeichen umfasst in diesem Zusammenhang die Werte konvex, konkav und geradlinig. Als Strukturlänge der Querschnittsform eines Kanals wird bei einem n-eckigen Kanal eine Kantenlänge des relevanten n-Ecks verstanden. Es wurde heraus-
- 20 gefunden, dass eine Neigung zur Bildung von Ablagerungen von bei Temperaturen zwischen 400°C und 1.100°C aus einer gasförmigen Fluidströmung ausgefallten Fest-
- 25 stoffen ab einer "kritischen Strukturlänge" stark zunimmt. Konkret beträgt für einen Kanal mit hexagonaler Querschnittsform die kritische Strukturlänge in Bezug auf eine Ab-
- lagerung von Siliziumoxiden etwa 2,82 mm, wenn der Kanal mit einem siloxanhaltigen Abgas bei einer Geschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s durchströmt wird. Die Viskosität des Abgases kann dabei zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen. Durch eine
- 30 Begrenzung der Strukturlänge des Kanalquerschnitts kann allgemein ein Ablagern von (aus der Fluidströmung bei höheren Temperaturen ausgefallten oder aus anderen Gründen in der Fluidströmung mitgeführten) Feststoffen an einer Kanalwand reduziert werden. Für gasförmige Fluide mit einem Stickstoffanteil von mehr als 60 Vol.-% kann daher eine Begrenzung der Strukturlänge der Querschnittsform eines n-eckigen Kanals auf 3,5 mm vorgeschlagen werden.

Der Block des Formkörpers ist aus einem wärmeleitenden Material gebildet. Das wärmeleitende Material hat vorzugsweise eine thermische Leitfähigkeit von wenigstens etwa 1,5 W/mK, bevorzugt von wenigstens etwa 2,0 W/mK oder mehr. Außerdem hat das

wärmeleitende Material vorzugsweise einen niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von höchstens etwa $1 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, bevorzugt von höchstens etwa $1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ oder weniger (jeweils bei 800°C). Ferner hat das wärmeleitende Material vorzugsweise eine hohe spezifische Wärmekapazität von wenigstens etwa 500 J/kgK ,
5 bevorzugt von wenigstens etwa 800 J/kgK oder mehr. Darüber hinaus hat ein bevorzugtes wärmeleitendes Material eine Erweichungstemperatur von wenigstens etwa 1.000°C , bevorzugt von wenigstens etwa 1.200°C , noch bevorzugt von wenigstens etwa 1.400°C . Das wärmeleitende Material für den Formkörper ist vorzugsweise ausgewählt aus Keramiken, Ziegel, Ton, Metallen, Edelmetallen, Kieselerde, Karbiden, Graphit oder
10 dergleichen hochtemperaturstabilen Materialien. Besonders bevorzugt werden Keramiken mit einem Anteil von mehr als 50% an Siliziumoxid und/oder Aluminiumoxid.

Unter einer Grundfläche des Blocks soll im Sinne der Erfindung insbesondere eine senkrecht zur Höhenrichtung des Blocks verlaufende Oberfläche des Blocks verstanden
15 werden, aber auch eine ebene, zur Höhenrichtung des Blocks senkrechte Projektionsfläche einer Oberfläche des Blocks. Dabei kann diese Oberfläche des Blocks selbst zumindest abschnitt- oder ausschnittsweise eben, gestuft und/oder gewölbt ausgebildet oder ausgeführt sein.

20 Der Block weist gemäß der Erfindung eine Vielzahl von Zellen auf. Die Zellen sind bevorzugt Einheitszellen, d.h. im Wesentlichen identisch ausgestaltete und dimensionierte Zellen. Darüber hinaus kann der Block – insbesondere je nach Grundflächenform des Blocks und Querschnittsform dieser Zellen – aber auch weitere Zellen mit anderen Querschnittsformen aufweisen. Solche Zellen mit anderen Querschnittsformen können
25 bevorzugt im Randbereich des Blocks vorhanden sein. Es kann jedoch auch vorteilhaft sein, wenn die Zellen des Blocks mindestens zwei Einheitszellen unterschiedlicher Ausgestaltung und/oder Dimensionierung aufweisen. Vorzugsweise sind die unterschiedlichen Zellen dabei jeweils in einer "Superzelle" in einem Zellmuster angeordnet, wobei der Block bevorzugt aus einer Mehrzahl solcher Superzellen gebildet werden kann.
30 Unter einem Zellmuster soll dabei insbesondere eine sich wiederholende Anordnung von Zellen in einer Superzelle oder einem Block verstanden werden.

Die Kanäle sind vorzugsweise im Wesentlichen mittig in den einzelnen Zellen positioniert.

Der Block des Formkörpers ist vorzugsweise einstückig ausgebildet. Entsprechend sind die Zellen des Blocks nicht durch separate Bauteile gebildet, sondern innerhalb des Blocks als fiktive geometrische Formen definiert. In anderen Ausführungsformen der Erfindung können die Zellen auch durch einzelne Zellenkörper ausgebildet sein, die zu dem Block zusammengefügt sind.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die Querschnittsform der Kanäle bzw. der Innenwände wenigstens einen konvexen Abschnitt und wenigstens einen konkaven Abschnitt auf. Besonders bevorzugt weist die Querschnittsform der Kanäle bzw. der Innenwände mehrere konvexe Abschnitte und mehrere konkave Abschnitte auf, die entlang der Querschnittsform alternierend vorgesehen sind. Die Querschnittsform der Kanäle ist vorzugsweise sternartig oder blütenartig ausgebildet. Die Querschnittsform eines Kanals ist vorzugsweise im Wesentlichen punktsymmetrisch zur Längsachse des Kanals ausgebildet.

Bei herkömmlichen Wärmespeichern sind bereits Formkörper mit verschiedenen Kanalgeometrien bekannt. So weisen die Strömungskanäle der Formkörper herkömmlicher Wärmetauscher zum Beispiel quadratische, rechteckige oder kreisförmige Querschnittsformen auf. Diesen Querschnittsformen ist gemeinsam, dass sie eine rein konvexe Geometrie haben, bei der Richtungsänderungen zwischen benachbarten Abschnitten der Querschnittsform immer auf den Mittelpunkt der Querschnittsform hin gerichtet sind. Es hat sich gezeigt, dass Ablagerungen von (aus dem durch den Formkörper hindurch strömenden Fluid ausgefallten oder aus anderen Gründen im Fluid mitgeführten) Feststoffpartikeln an den Kanalwänden der Formkörper durch Vorsehen von konkaven Abschnitten in der Querschnittsform der Kanäle bzw. von konvexen Abschnitten in der Querschnittsform der Innenwände wirksam verzögert oder sogar unterdrückt werden können.

Die konkaven und konvexen Abschnitten sind vorzugsweise über den gesamten Umfang der Kanäle hinweg verteilt vorgesehen. Im Rahmen der Erfindung können die konkaven und konvexen Abschnitte aber auch nur in Teilbereichen der Querschnittsformen vorgesehen sein.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die Querschnittsform der Kanäle ausgehend von einer Grundform alternierend mehrere Abschnitte innerhalb der Grundform und mehrere Abschnitte außerhalb der Grundform auf. Die Grundform ist vorzugsweise kreisförmig, kann im Rahmen der Erfindung aber auch quadratisch, rechteckig, hexagonal und dergleichen regelmäßig geformt sein. Die Grundform ist in diesem Zusammenhang eine fiktive zweidimensionale geometrische Form, die zum Definieren der Querschnittsform der Kanäle senkrecht zur Höhenrichtung der Kanäle verwendet wird.

Vorzugsweise ist die Querschnittsform der Kanäle ausgehend von der Grundform durch periodische Schwingungen um die Grundform gebildet. Bei den periodischen Schwingungen handelt es sich bevorzugt um sinus- und/oder kosinusförmige Schwingungen. Im Rahmen der Erfindung sind aber auch andere bogenförmige Schwingungen, geradlinige Schwingungen (z.B. Sägezahnmuster, Doppelsägezahnmuster, etc.) als Basisschwingungen oder Kombinationen aus bogenförmigen und geradlinigen Basisschwingungen möglich. Die Kombinationen können dabei zumindest abschnittsweise sequenziell oder überlappend/interferierend aus den jeweiligen Basis-schwingungen gebildet sein.

Vorzugsweise beträgt eine Amplitude der Abweichungen, insbesondere der Schwingungen von der Grundform wenigstens etwa 5% und/oder höchstens etwa 20%, bevorzugt etwa 7,5% oder etwa 10%, in Bezug auf die Basisgröße der Grundform (z.B. Kreisradius, Kantenlänge oder halbe Diagonale).

Vorzugsweise ist eine Anzahl der Schwingungen um die Grundform ausgewählt aus 4, 6, 8 oder 12.

Vorzugsweise beträgt ein Abstand zwischen den Grundformen benachbarter Kanäle wenigstens etwa 0,25 mm, bevorzugt wenigstens etwa 0,35 mm, und/oder höchstens etwa 1,00 mm, bevorzugt höchstens etwa 0,70 mm.

In einer anderen bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung haben die Kanäle jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche des Blocks in Form eines regelmäßigen Vielecks. Die Querschnittsform dieser Kanäle hat vorzugsweise die Form eines Dreiecks,

Quadrats, Pentagons, Hexagons oder Oktagons, wobei die hexagonale Querschnittsform besonders bevorzugt ist.

5 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung haben die Zellen jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche des Blocks in Form eines regelmäßigen Vielecks. Die Querschnittsform der Zellen in Form regelmäßiger Vielecke hat den Vorteil, dass die Zellen mit geringem Abstand zueinander nebeneinander angeordnet werden können, um zum Beispiel ein Wärmebett eines Regenerators aufzubauen. Außerdem können die Kanäle in den Zellen bei dieser Querschnittsform der Zellen sicher von-
10 einander getrennt werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt ein hydraulischer Durchmesser eines Kanals wenigstens etwa 2,3 mm und/oder höchstens etwa 5,0 mm. Im Fall von Kanälen mit einer kreisförmigen Querschnittsform ist der hydraulische Durch-
15 messer im Wesentlichen durch den Kreisdurchmesser der Querschnittsform definiert, bei anderen Kanalgeometrien ist der hydraulische Durchmesser im Wesentlichen durch den Durchmesser eines innen an die Querschnittsform anliegenden Kreises (Inkreis-Durchmesser) definiert.

20 In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt ein Quotient aus einem hydraulischen Durchmesser eines Kanals zu einer minimalen Wandstärke der Innenwand zwischen benachbarten Kanälen höchstens etwa 6,0, bevorzugt höchstens etwa 5,5. Im Speziellen liegt der genannte Quotient zwischen 4,1 und 5,9 bei Verwendung eines Materials mit einer thermischen Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und
25 8,0 W/mK und einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit einer die Kanäle passierenden gasförmigen Fluidströmung zwischen 1 m/s und 6,5 m/s. Die Viskosität der gasförmigen Fluidströmung kann dabei zwischen 20 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen. Es wurde herausgefunden, dass bei einer solchen (vorzugsweise einheitlichen) Festlegung des Verhältnisses zwischen hydraulischem Durchmesser der Kanäle und Wandstärke der Kanäle
30 bei einem erfindungsgemäßen Formkörper ein Optimum erreicht werden kann zwischen möglichst geringer Masse des Blocks einerseits und größtmöglichem Wärmeaufnahmevermögen andererseits.

In einer noch weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine hydraulische Strömungsquerschnittsfläche eines Kanals wenigstens etwa 50% und/oder höchstens etwa 65% in Bezug auf eine Querschnittsfläche der Zelle. Auch eine solche Auslegung trägt zu einer Optimierung des Verhältnisses zwischen möglichst kleiner Masse des Blocks und möglichst großem Wärmeaufnahmevermögen bei. Im Speziellen liegt der genannte Wert zwischen 51% und 63% bei Verwendung eines Materials mit einer thermischen Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8,0 W/mK und einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit einer die Kanäle passierenden gasförmigen Fluidströmung zwischen 1 m/s und 6,5 m/s. Die Viskosität der gasförmigen Fluidströmung kann dabei zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen.

In einer noch weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine offene Querschnittsfläche eines Kanals wenigstens etwa 50% und/oder höchstens etwa 75% in Bezug auf eine Querschnittsfläche der Zelle.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine minimale Wandstärke einer Innenwand zwischen benachbarten Kanälen wenigstens etwa 0,20 mm und/oder höchstens etwa 1,00 mm. Bevorzugt ist die Wandstärke ausgestaltet in einem Wertebereich zwischen 0,25 mm und 0,89 mm. Besonders bevorzugte Einzelwerte für eine im Wesentlichen einheitliche Wandstärke aller Kanäle sind 0,23 mm, 0,25 mm, 0,48 mm, 0,56 mm und 0,81 mm. Es wurde herausgefunden, dass bei einer solchen (vorzugsweise einheitlichen) Festlegung der Wandstärke aller Kanäle bei einem erfindungsgemäßen Formkörper ein Optimum erreicht werden kann zwischen möglichst geringer Masse des Blocks einerseits und größtmöglichem Wärmeaufnahmevermögen andererseits. Dies gilt besonders bei Verwendung eines Materials mit einer thermischen Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8,0 W/mK und einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit einer die Kanäle passierenden gasförmigen Fluidströmung zwischen 1 m/s und 6,5 m/s.

In einer noch weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist eine Nußelt-Zahl eines Kanals für eine laminare Strömung in Abhängigkeit von dem im jeweiligen Anwendungsfall durch den Kanal hindurch strömenden Fluid so gewählt, dass sie wenigstens etwa 3,5, bevorzugt wenigstens etwa 4,0, und/oder höchstens etwa 4,5 beträgt. Die Nußelt-Zahl ist dabei als dimensionslose Größe definiert als ein Produkt des

hydraulischen Durchmessers mit dem Quotienten aus dem Wärmeübergangskoeffizienten zum Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten. Eine derartige Gestaltungswahl wird besonders bevorzugt bei gleichzeitiger Ausführung des Blocks aus einem keramischen Material mit einem Anteil von mehr als 50% Aluminium- und/oder Silizium-Oxiden. Eine derartige
5 Gestaltungswahl wird besonders bevorzugt bei gleichzeitiger Ausführung des Blocks aus einem Material zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Blocks, welches eine thermische Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8 W/mK aufweist. Optional kann vorgesehen sein, dass ein entsprechend gestalteter Formkörper von einer gasförmigen Fluidströmung mit einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und
10 6,5 m/s passiert wird. Die Viskosität der gasförmigen Fluidströmung kann dabei zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die Innenwände des Formkörpers zumindest teilweise porös ausgestaltet. Derart ausgestaltete Formkörper können ins-
15 besondere in Filtern, Katalysatoren und dergleichen in vorteilhafter Weise zum Einsatz kommen.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die die Kanäle begrenzenden Wände mit einer Schutzschicht zum Beispiel in Form einer Schutzschicht
20 aus Nanopartikeln versehen. Zur Realisierung einer erfindungsgemäßen Schutzschicht werden insbesondere Partikel aus Siliziumoxid, Titandioxid, Aluminiumoxid, Eisenoxid, Zinkoxid, Siliziumcarbid, Eisencarbid, Wolframcarbid, Titannitrid, Bornitrid sowie Borcarbid vorgeschlagen, deren größte Ausdehnung jeweils kleiner sei als 100 nm. Eine derartige "Nano-Schutzschicht" erzeugt erfindungsgemäß eine im Nano-Maßstab raue Oberfläche
25 an den Innenwandungen der Kanäle, sodass sich mikroskopisch kleine Wirbel an der Kanaloberfläche bilden. Ein Ablagern von (aus dem durch den Formkörper hindurch strömenden Fluid ausgefallten oder aus anderen Gründen im Fluid mitgeführten) Feststoffpartikeln wird so verhindert bzw. verlangsamt. Auf diese Weise kann einem "Verblocken" der Kanäle wirksam vorgebeugt werden. In bevorzugten Ausbildungen weist die
30 Schutzschicht eine Oberflächenrauheit R_a von weniger als 25 μm , insbesondere weniger als 10 μm , besonders bevorzugt von weniger als 2,5 μm auf. Bevorzugt kann die Schutzschicht als eine hydrophobe Schicht ausgebildet sein. In anderen Anwendungen kann es jedoch auch vorteilhaft sein, die Schutzschicht hydrophil auszubilden.

In einer anderen bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die die Kanäle begrenzenden Wände mit einer Schutzschicht gegen eine Beschädigung durch das durch den Formkörper hindurch strömende Fluid versehen. Insbesondere bei Fluiden, die aggressive Inhaltsstoffe, Komponenten, etc. enthalten können, ist ein solcher Schutz der die Kanäle begrenzenden Wände von Vorteil. Derart ausgestaltete Formkörper können insbesondere in Filtern, Katalysatoren und dergleichen in vorteilhafter Weise zum Einsatz kommen. Diese Schutzschichten enthalten zum Beispiel Edelmetalle wie Platin, Rhodium oder Palladium oder nicht-edle Metalle wie zum Beispiel Kupfer, Titan, Vanadium, Zeolithe. Im Fall von porös ausgestalteten Innenwänden kann eine solche Schutzschicht alternativ oder zusätzlich auch in die Innenräume der Innenwände eingebracht sein.

In einer noch anderen bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die die Kanäle begrenzenden Wände mit einem katalytisch aktiven Material beschichtet. Im Fall von porös ausgestalteten Innenwänden ist das katalytisch aktive Material alternativ oder zusätzlich auch in die Innenräume der Innenwände eingebracht. Derart ausgestaltete Formkörper können insbesondere in Katalysatoren in vorteilhafter Weise zum Einsatz kommen.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung weist ein Wärmetauscher wenigstens ein Wärmebett auf, das wenigstens einen oben beschriebenen Formkörper der Erfindung aufweist.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Wärmebett mehrere Formkörper auf, die parallel zur Grundfläche der Formkörper nebeneinander und bevorzugt ohne Abstand zueinander angeordnet sind. Auf diese Weise lassen sich ein hindurch zu leitender Fluidstrom auf eine beliebig erweiterbare Anzahl von Formkörpern aufteilen und so der Volumenstrom pro Formkörper und die entsprechende Strömungsgeschwindigkeit einstellen. Als bevorzugte Strömungsgeschwindigkeit hat sich ein Wert zwischen 1 m/s und 6,5 m/s ergeben.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist der Wärmetauscher wenigstens zwei Wärmebetten auf, die in der Höhenrichtung der Formkörper übereinander angeordnet sind. Die Kanäle der übereinander angeordneten Formkörper sind vorzugsweise im Wesentlichen coaxial oder parallel zueinander ausgerichtet, haben

vorzugsweise gleiche Querschnittsformen und/ oder haben vorzugsweise gleiche Abmessungen. Durch ein Übereinanderschichten von Wärmebetten kann die Wärmekapazität des Wärmetauschers eingestellt werden. Dabei hat sich herausgestellt, dass bei einer Anzahl von 5 bis 9 Schichten gleichartiger Wärmebetten eine Gesamthöhe des Wärmetauschers von 1,2 m bis 3,5 m und eine entsprechende gesamte Länge an durchströmbaren Kanälen erreichbar ist. Eine derartige Gestaltungswahl wird besonders bevorzugt bei gleichzeitiger Ausführung einer Vielzahl von Wärmetauscher-Blöcken aus einem keramischen Material mit einem Anteil von mehr als 50% Aluminium- und/oder Silizium-Oxiden. Eine derartige Gestaltungswahl wird besonders bevorzugt bei gleichzeitiger Ausführung der Wärmetauscher-Blöcke aus einem Material zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Blocks, welches eine thermische Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8 W/mK aufweist. Optional kann vorgesehen sein, dass ein entsprechend gestalteter Wärmetauscher von einer gasförmigen Fluidströmung mit einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s passiert wird. Die Viskosität der gasförmigen Fluidströmung kann dabei zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine Höhe des Wärmebetts in der Höhenrichtung der Formkörper wenigstens etwa 20 cm, bevorzugt wenigstens etwa 25 cm, und/oder höchstens etwa 50 cm, bevorzugt höchstens etwa 40 cm.

In einer noch weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine Höhe des Wärmetauschers in der Höhenrichtung der Formkörper wenigstens etwa 100 cm, bevorzugt wenigstens etwa 150 cm, und/oder höchstens etwa 300 cm, bevorzugt höchstens etwa 200 cm.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung weist ein Thermoreaktor eine Brennkammer und einen Regenerator auf, wobei der Regenerator als ein oben beschriebener Wärmetauscher der Erfindung ausgestaltet ist. Der erfindungsgemäße Thermoreaktor ist insbesondere in Anlagen zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom in vorteilhafter Weise einsetzbar. Die Kanäle der Formkörper sind vorzugsweise zur Brennkammer hin offen, sodass das Fluid durch die Regeneratoren in die Brennkammer bzw. aus der Brennkammer strömen kann.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist ein Thermoreaktor, insbesondere zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, eine Brennkammer und einen Regenerator auf, wobei der Regenerator wenigstens ein Wärmebett mit wenigstens einem Formkörper zum Temperieren eines
5 Fluids aufweist, der Formkörper einen Block aus einem wärmeleitenden Material aufweist, der durch eine Grundfläche und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe definiert ist, der Block im Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche eine Vielzahl von Zellen aufweist, in dem Block eine Vielzahl von Kanälen ausgebildet ist, die im Wesentlichen parallel zueinander und zur Höhenrichtung des Blocks verlaufen, jeder der Kanäle
10 in einer Zelle derart vorgesehen ist, dass zwischen den Kanälen in benachbarten Zellen eine Innenwand vorhanden ist, und eine Querschnittsform der Kanäle oder der Innenwände parallel zur Grundfläche des Blocks eine Strukturlänge eines Abschnitts eines gleichbleibenden Krümmungsvorzeichens von höchstens 3,5 mm, bevorzugt von höchstens 2,85 mm, oder von höchstens 20%, bevorzugt von höchstens 15%, des
15 Gesamtumfangs der Querschnittsform der Kanäle aufweist.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung weist ein Thermoreaktor eine Brennkammer und einen Regenerator auf, wobei der Regenerator einen oder mehrere erfindungsgemäße Formkörper enthält, die insbesondere zu einem Wärmebett zusammengesetzt
20 sind und von einer insbesondere im Wesentlichen gasförmigen Fluidströmung durchströmt werden, wobei die Fluidströmung eines oder mehrere der folgenden Merkmale aufweist:

- mittlere Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s,
- Viskosität zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$
- 25 - Temperatur zwischen 400°C und 1.100°C
- Stickstoffanteil größer als 60 Vol.-%.

Gemäß einem noch weiteren Aspekt der Erfindung kann der oben beschriebene Formkörper der Erfindung in vorteilhafter Weise auch in einem Filter, insbesondere einem Wall-
30 Flow-Filter, oder einem Katalysator, insbesondere einem Waben-Katalysator, eingesetzt werden. Die Widerstandsfähigkeit des erfindungsgemäßen Formkörpers gegen ein Verblocken seiner Strömungskanäle ist auch bei diesen Verwendungen von Vorteil. Der Filter oder Katalysator weist bevorzugt einen oder mehrere solcher Formkörper auf.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Obige sowie weitere relevante Merkmale der erfindungsgemäßen Lösungen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung verschiedener konkreter Ausführungsbeispiele, für welche die oben genannten Ausführungen umgekehrt ebenfalls anzuwenden sind,
5 anhand der beiliegenden Zeichnung. Darin zeigen, größtenteils schematisch:

- Fig. 1 eine Darstellung eines Thermoreaktors gemäß einer ersten Ausführungsform;
- Fig. 2 eine Darstellung eines Thermoreaktors gemäß einer zweiten Ausführungsform;
- 10 Fig. 2A eine Darstellung eines Thermoreaktors gemäß einer Variante der zweiten Ausführungsform;
- Fig. 2B eine Darstellung eines Thermoreaktors gemäß einer weiteren Variante der
15 zweiten Ausführungsform;
- Fig. 3 eine Draufsicht eines Wärmebetts für einen Thermoreaktor von Fig. 1 oder 2;
- Fig. 4 eine vergrößerte Teildraufsicht eines Formkörpers eines Wärmebetts von
20 Fig. 3 gemäß einer ersten Ausführungsform;
- Fig. 5 eine vergrößerte Teildraufsicht eines Formkörpers eines Wärmebetts von Fig. 3 gemäß einer zweiten Ausführungsform;
- 25 Fig. 6 eine Draufsicht mehrerer Kanäle eines Formkörpers von Fig. 5 gemäß einer Ausführungsform;
- Fig. 7 eine vergrößerte Draufsicht einer Zelle und eines Kanals von Fig. 6;
- 30 Fig. 8 eine Draufsicht mehrerer Kanäle eines Formkörpers von Fig. 5 gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- Fig. 9 eine vergrößerte Draufsicht einer Zelle und eines Kanals von Fig. 8;

Fig. 10 eine Draufsicht mehrerer Kanäle eines Formkörpers von Fig. 5 gemäß einer weiteren Ausführungsform;

Fig. 11 eine vergrößerte Draufsicht einer Zelle und eines Kanals von Fig. 10;

Fig. 12 eine Draufsicht mehrerer Kanäle eines Formkörpers von Fig. 5 gemäß einer noch weiteren Ausführungsform;

Fig. 13 eine vergrößerte Draufsicht einer Zelle und eines Kanals von Fig. 12;

Fig. 14 eine Draufsicht mehrerer Kanäle eines Formkörpers von Fig. 5 gemäß einer noch weiteren Ausführungsform;

Fig. 15 eine vergrößerte Draufsicht einer Zelle und eines Kanals von Fig. 14;

Fig. 16 verschiedene weitere Ausführungsformen von möglichen Querschnittsformen von Kanälen eines Formkörpers von Fig. 5;

Fig. 17 eine vergrößerte Teildraufsicht eines Formkörpers eines Wärmebetts von Fig. 3 gemäß einer dritten Ausführungsform; und

Fig. 18 eine Schnittansicht eines Regenerators mit mehreren Lagen von Wärmebetten für einen Thermoreaktor von Fig. 1 oder 2.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Fig. 1 zeigt einen Thermoreaktor 10, der zum Beispiel in einer Anlage zur regenerativen thermischen Oxidation (RTO) eines brennbaren Stoffe, insbesondere flüchtige organische Bestandteile (VOC) enthaltenden Abluft- oder Abgasstroms eingesetzt werden kann, gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel.

Der Thermoreaktor 10 weist eine Brennkammer 12 und zwei unterhalb der Brennkammer 12 angeordnete Regeneratoren 14 auf. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist der Thermoreaktor 10 zwei Regeneratoren 14 auf, denen jeweils eine Vorkammer 16 zugeordnet ist. In anderen Ausführungsformen können aber auch drei, vier oder mehr

Regeneratoren 14 vorgesehen sein. In die Brennkammer 12 ragt ein Brenner (nicht dargestellt), über den flüssiger oder gasförmiger Brennstoff und optional auch Verbrennungsluft in die Brennkammer 12 eingeleitet werden. Der Brenner dient zur Erzeugung einer Flamme in der Brennkammer, über die wiederum ein Zünden und Verbrennen der in dem zu reinigenden Rohgas enthaltenen Schadstoffe ermöglicht wird. Die Temperatur in der Brennkammer 12 kann im Betrieb – u.a. abhängig vom Energieinhalt der im Rohgas enthaltenen brennbaren Stoffe – bis zu etwa 1.250°C betragen.

Die Vorkammern 16 der Regeneratoren 14 sind jeweils mit einer Rohgaszuführung 18 und mit einer Reingasabführung 20 verbunden. Das über die Rohgaszuführung 18 in eine Vorkammer 16 eingeleitete Rohgas wird im jeweiligen Regenerator 14 erwärmt, bevor es in die Brennkammer 12 geleitet wird. Nach einer thermischen Umsetzung des Rohgases in der Brennkammer 12 entsteht heißes Reingas, welches im anderen Regenerator 14 abgekühlt wird, bevor es über die andere Vorkammer 16 und die Reingasabführung 20 in ein Abluftsystem abgeleitet wird. In einem modifizierten Ausführungsbeispiel kann der gekühlte Reingasstrom weiteren Wärem austausch- und/oder Reinigungsstufen zugeführt werden, bevor das Reingas in die Umgebung oder zur weiteren Verwendung entlassen wird.

In dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 werden der Thermoreaktor 10 und seine Regeneratoren 14 durch ein Umschalten der Regelventile 22a, 22b in der Rohgaszuführung 18 und der Reingasabführung 29 in gewissen vorgebbaren Zeitintervallen wechselweise in entgegengesetzten Strömungsrichtungen durchströmt. Zur genaueren Funktionsweise eines solchen Thermoreaktors wird an dieser Stelle beispielhaft auf die EP 1 312 861 B1 verwiesen.

Fig. 2 zeigt einen Thermoreaktor 10 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel, der ebenfalls zum Beispiel in einer Anlage zur regenerativen thermischen Oxidation (RTO) eines brennbaren Stoffe enthaltenden Abluft- oder Abgasstroms eingesetzt werden kann.

Der Thermoreaktor 10 von Fig. 2 unterscheidet sich von dem Thermoreaktor 10 von Fig. 1 durch eine andere Art der Strömungsregelung. Wie in Fig. 2 dargestellt, sind die Rohgaszuführung 18 und die Reingasabführung 20 jeweils mit einem gemeinsamen Rotationsventil 23 verbunden, welches seinerseits mit den Vorkammern 16 beider Regeneratoren

14 verbunden ist. Durch eine Rotation des Rotationsventils 23 werden der Thermoreaktor 10 und seine Regeneratoren 14 auch in diesem Fall in gewissen vorgebbaren Zeitintervallen wechselweise in entgegengesetzten Strömungsrichtungen durchströmt.

5 Fig. 2A zeigt eine erfindungsgemäße Variante des Ausführungsbeispiels von Fig. 2. In diesem Ausführungsbeispiel weist der Thermoreaktor 10 eine gemeinsame Regeneratorkonstruktion 14 auf, die strömungstechnisch in zwei Bereiche getrennt ist, sodass sich die gleiche Funktionsweise wie bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 2 ergibt.

10 Fig. 2B zeigt eine weitere erfindungsgemäße Variante des Ausführungsbeispiels von Fig. 2. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Thermoreaktor 10' mit seinen Regeneratoren 14 drehbar ausgestaltet und über ein gemeinsames Verteilerventil 23' mit der Rohgaszuführung 18 und der Reingasabführung 20 verbunden. Eine derartige Konfiguration ist insbesondere bei kleinen Thermoreaktoren 10' vorsehbar.

15

In weiteren Varianten der Erfindung können die Ausführungsformen von Fig. 2A und 2B auch mit dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 kombiniert werden.

20 Für Ausführungsformen mit einem rotierenden Thermoreaktor 10' werden für die Reingasströmung vorzugsweise eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0,6 m/s und 2,5 m/s sowie eine brennerseitige Temperatur zwischen 700°C und 900°C sowie eine auslassseitige Temperatur zwischen 40° und 150°C eingestellt. Die Viskosität der Reingasströmung kann dabei zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 35 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen.

25 Für Ausführungsformen mit einem feststehenden bzw. unbeweglichen Thermoreaktor 10 werden für die Reingasströmung vorzugsweise eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s sowie eine brennerseitige Temperatur zwischen 800°C und 1.100°C sowie eine auslassseitige Temperatur zwischen 60° und 250°C eingestellt. Die Viskosität der Reingasströmung kann dabei zwischen 20 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen. Die
30 genannten Werte können besondere Bedeutung erlangen im Zusammenhang mit der nachfolgend beschriebenen Geometrie gewisser Formkörper.

Wie in Fig. 1 und 2 angedeutet, weisen die Regeneratoren 14 des Thermoreaktors 10 jeweils mehrere übereinander angeordnete Wärmebetten 24 auf. Diese Wärmebetten 24

sind jeweils aus einer Vielzahl von Formkörpern 26 zusammengesetzt, welche senkrecht zur Stapelrichtung der Wärmebetten (= Höhenrichtung Z der Wärmebetten und der Formkörper) im Wesentlichen ohne Abstand zueinander nebeneinander angeordnet sind, wie in Fig. 3 dargestellt. Vorzugsweise sind die Formkörper 26 eines Wärmebetts 24 im Wesentlichen identisch zueinander ausgestaltet und dimensioniert.

Es werden nun Bezug nehmend auf Fig. 4 bis 17 verschiedene bevorzugte Ausführungsformen eines Formkörpers 26 in mehr Einzelheiten beschrieben, die zum Beispiel für die Wärmebetten 24 der Thermoreaktoren 10 von Fig. 1 und 2 eingesetzt werden können.

Der Formkörper 26 gemäß dem in Fig. 4 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel weist einen Block 27 aus einem keramischen Material auf. Vorzugsweise kann eine Hartkeramik mit einem Anteil von mehr als 50% Aluminium- und/oder Silizium-Oxiden verwendet werden. Bevorzugt werden außerdem Keramikwerkstoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8 W/mK (bevorzugt z.B. etwa 2,1 W/mK), einem niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von höchstens etwa $1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ (bevorzugt z.B. etwa $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) bei 800°C, einer hohen spezifischen Wärmekapazität von wenigstens etwa 800 J/kgK (bevorzugt z.B. etwa 910 J/kgK) und einer hohen Erweichungstemperatur von wenigstens etwa 1.000°C für den Block 27 verwendet. Wahlweise können auch andere hochtemperaturstabile Materialien für den Block 27 verwendet werden.

Der Block 27 hat zum Beispiel eine im Wesentlichen rechteckige oder quadratische Grundfläche parallel zur X-Y-Ebene (= Zeichenebene). Wie in Fig. 4 veranschaulicht, ist der Block 27 parallel zu dieser Grundfläche X-Y in eine Vielzahl von Einheitszellen 28 unterteilt, die in diesem Ausführungsbeispiel eine hexagonale Querschnittsform haben. Die Einheitszellen 28 grenzen direkt aneinander. Die Querschnittsformen der Zellen 28 in Form regelmäßiger Vielecke sind insbesondere vorteilhaft für die kompakte und im Wesentlichen abstandslose Anordnung der Zellen 28.

In jeder der Einheitszellen 28 ist ein Kanal 30 ausgebildet. Die Kanäle 30 erstrecken sich im Wesentlichen parallel zueinander und im Wesentlichen parallel zu einer Höhenrichtung Z (senkrecht zur Zeichenebene von Fig. 4) des Blocks 27. Die Kanäle haben in diesem Ausführungsbeispiel eine hexagonale Querschnittsform und sind jeweils im Wesentlichen

mittig in den Zellen 28 angeordnet. Wie in Fig. 4 erkennbar, ist zwischen den Kanälen 30 benachbarter Zellen 28 jeweils eine Innenwand 34 vorhanden. Außerdem ist der Block 27 von einer Außenwand 36 umschlossen. Im Randbereich des Formkörpers 26 können wahlweise auch Zellen 28' und Kanäle 30' mit anderen Querschnittsformen vorhanden
5 sein.

Die Kantenlänge des Hexagons der Querschnittsform der Kanäle 30, welche die Struktur-
länge s im Sinne der Erfindung bildet, beträgt vorzugsweise maximal etwa 2,82 mm. Bei
RTO-typischen Strömungsgeschwindigkeiten von zum Beispiel etwa 2,5 m/s ist diese
10 begrenzte Strukturlänge s von Vorteil, um Ablagerungen an den Kanalwänden zu ver-
langsamen oder zu unterdrücken.

Ferner definieren die Kanäle 30 jeweils einen hydraulischen Durchmesser D_h , der bei den
hexagonalen Kanälen 30 dem Durchmesser eines in das Hexagon eingeschriebenen
15 Kreises entspricht, und eine hydraulische Strömungsquerschnittsfläche A_h . Der
hydraulische Durchmesser D_h beträgt zum Beispiel etwa 2,90 mm oder 4,85 mm, und die
hydraulische Strömungsquerschnittsfläche A_h beträgt zum Beispiel etwa 60,8% oder etwa
62,0% der Querschnittsfläche der Zelle 28.

20 Die Innenwände 34 zwischen den Kanälen 30 benachbarter Zellen 28 haben eine Wand-
stärke t . Die Wandstärke t' der Außenwand 36 ist größer bemessen als die Wandstärke t
der Innenwand. Die Wandstärke t der Innenwände 34 beträgt zum Beispiel etwa 0,56 mm
oder etwa 0,89 mm.

25 Fig. 5 zeigt einen Formkörper 26 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel. Der Form-
körper 26 des zweiten Ausführungsbeispiels unterscheidet sich von dem des ersten
Ausführungsbeispiels durch die Querschnittsformen der Kanäle 32.

Im zweiten Ausführungsbeispiel von Fig. 5 haben die Einheitszellen 28 ebenfalls eine
30 hexagonale Querschnittsform. Die Kanäle 32 haben jedoch eine Querschnittsform, die auf
einer kreisförmigen Grundform basiert. D.h. die Querschnittsform der Kanäle 32 ist nicht
kreisförmig, sondern basiert nur auf dieser in Fig. 5 veranschaulichten, fiktiven kreis-
förmigen Grundform.

Es hat sich gezeigt, dass eine Widerstandsfähigkeit der Kanäle 32 gegen Ablagerungen aus der hindurch geleiteten Abluft erhöht werden kann, wenn die Querschnittsform der Kanäle 32 nicht allein konvex ausgebildet ist, sondern konvexe und konkave Abschnitte aufweist.

5

Bezug nehmend auf Fig. 6 bis 16 wird nachfolgend anhand verschiedener Ausführungsbeispiele erläutert, wie die Kanalgeometrien basierend auf der kreisförmigen Grundform von Fig. 5 gebildet werden können.

10 In der Ausführungsform von Fig. 6 und 7 weist die Querschnittsform der Kanäle 32 ausgehend von der kreisförmigen Grundform 38 insgesamt sechs konvexe Abschnitte 38a und sechs konkave Abschnitte 38b auf, die alternierend entlang des Umfangs angeordnet sind. Bei einer anderen Betrachtungsweise haben die Innenwände 34 zwischen den benachbarten Kanälen 32 Querschnittsformen mit alternierend konkaven und konvexen
15 Abschnitten.

Die Querschnittsform der Kanäle 32 ist in der Ausführungsform der Fig. 6 und 7 ausgehend von der kreisförmigen Grundform 38 nach der folgenden Gleichung (1) gebildet:

$$20 \quad r_i(\varphi) = RI * (1 + P \cdot \sin(N \cdot \varphi - \pi/2)) \quad \dots (1)$$

mit: RI = Radius des Grundkreises, 1,45 mm

P = Schwingungsamplitude in Bezug auf RI, 10%

N = Anzahl der Schwingungen, 6

25 Dsep = Abstand zwischen benachbarten Grundkreisen, 0,55 mm

Der Radius r der Querschnittsform schwingt dabei mit der sechsfachen Frequenz und mit einer Amplitude P von 10% des Nennradius RI, der bevorzugt zwischen 1,2 mm und 2,5 mm gewählt ist. Durch die sechsfache Schwingungsfrequenz können die Kanäle 32
30 bevorzugt analog zu einer dichtesten Packung von Kreisen in einem hexagonalen Gitter angeordnet werden, wobei in diese Anordnung zusätzlich der Abstand Dsep einfließt, der die minimale Wandstärke t der Innenwände 34 zwischen benachbarten Kanälen 32 bestimmt.

Wie in Fig. 7 erkennbar, ist der hydraulische Durchmesser D_h der Kanäle 32 im Vergleich zur kreisförmigen Querschnittsform reduziert. Er beträgt in diesem Ausführungsbeispiel etwa 2,61 mm. Dieser Nachteil kann in einer Abwandlung (nicht dargestellt) dieses Ausführungsbeispiels zum Beispiel dadurch zumindest teilweise kompensiert werden, dass
 5 der Parameter D_{sep} reduziert wird, indem der Nennradius RI so vergrößert wird, dass die Radiusschwingung als Minimum den Grundkreis 38 von Fig. 7 hat und damit der hydraulische Durchmesser etwa 2,90 mm beträgt.

Die oben beispielhaft beschriebene Radiusschwingung kann zudem durch ein oder
 10 mehrere weitere Schwingungen überlagert werden.

So ist die Querschnittsform der Kanäle 32 in der Ausführungsform der Fig. 8 und 9 ausgehend von der kreisförmigen Grundform 38 nach der folgenden Gleichung (2) gebildet:

$$r_i(\varphi) = RI * (1 + P \cdot \sin(N \cdot \varphi - \pi/2) + P2 \cdot \sin(F \cdot N \cdot \varphi - DPHI \cdot \pi/2)) \quad \dots (2)$$

mit: $RI = 1,45$ mm, $P = 10\%$, $N = 6$, $D_{sep} = 0,55$ mm, $P2 = 25\%$ (sekundäre Schwingungsamplitude), $F = 0,5$ und $DPHI = 3$.

Die Ausführungsform der Fig. 10 und 11 geht aus jener der Fig. 8 und 9 durch eine Veränderung der Parameter hervor.

So ist die Querschnittsform der Kanäle 32 in der Ausführungsform der Fig. 10 und 11 ausgehend von der kreisförmigen Grundform 38 ebenfalls nach der obigen Gleichung (2),
 25 aber mit $RI = 1,45$ mm, $P = 10\%$, $N = 6$, $D_{sep} = 0,4$ mm, $P2 = 25\%$, $F = 2$ und $DPHI = 3$ gebildet.

Neben den obigen Ausführungsbeispielen der Fig. 6 bis 11 mit $N=6$ können auch andere Vielfache der Kreisfrequenz (z.B. $N=4$, $N=8$ oder $N=12$) zum Erzielen einer verringerten
 30 Ablagerungsneigung an den Kanalwänden verwendet werden.

So ist die Querschnittsform der Kanäle 32 in der Ausführungsform der Fig. 12 und 13 ausgehend von der kreisförmigen Grundform 38 ebenfalls nach der obigen Gleichung (2),

aber mit $RI = 1,45 \text{ mm}$, $P = 10\%$, $N = 8$, $Dsep = 0,4 \text{ mm}$, $P2 = 15\%$, $F = 2$ und $DPHI = 3$ gebildet.

Weiter ist die Querschnittsform der Kanäle 32 in der Ausführungsform der Fig. 14 und 15 ausgehend von der kreisförmigen Grundform 38 nach der obigen Gleichung (1), aber mit $RI = 1,45 \text{ mm}$, $P = 7,5\%$, $N = 12$ und $Dsep = 0,55 \text{ mm}$ gebildet.

Alle obigen Ausführungsformen können im Rahmen der Erfindung dadurch modifiziert werden, dass anstelle der Sinus-Terme entsprechende oder ähnliche Kosinus-Terme verwendet werden. Entsprechende oder ähnliche Kosinus-Terme verwendet werden. So ist beispielsweise auch eine Entwicklung in einer Mehrzahl von Sinus- und/oder Kosinus-Termen gemäß folgender Gleichung (3) denkbar:

$$r_i(\varphi) = RI * \left(1 + \sum_{j=1}^i [P_j \cdot \sin(N_j \cdot \varphi - \delta\varphi_j) + Q_j \cdot \cos(M_j \cdot \varphi - \Delta\varphi_j)] \right) \quad (3)$$

$$i \in \mathbb{N}; \quad P_j, Q_j \in [-1; 1]; \quad N_j, M_j \in \mathbb{R}; \quad \delta\varphi_j, \Delta\varphi_j \in [-\pi; \pi]$$

In allen obigen Ausführungsformen sind die Strukturlängen s der Abschnitte mit gleichbleibendem Krümmungsvorzeichen, d.h. der konvexen Abschnitte 38a und der konkaven Abschnitte 38b der Querschnittsformen der Kanäle 32 jeweils kleiner als $2,85 \text{ mm}$ bemessen.

Neben den oben beschriebenen Querschnittsformen der Kanäle 32 sind selbstverständlich zahlreiche weitere Varianten im Rahmen der vorliegenden Erfindung denkbar. So zeigt Fig. 16 beispielhaft einige weitere Ausführungsbeispiele für sternartige oder blütenartige Querschnittsformen der Kanäle 32. Neben den in Fig. 16 angedeuteten hexagonalen Querschnitten der Einheitszellen 28 können auch andere den jeweiligen Kanal 32 umhüllende Querschnitte von Einheitszellen 28, beispielsweise Polygone [z.B. Dreiecke, Vierecke, Fünfecke, Oktagons, etc.], polygonähnliche Geometrien, etc., von Vorteil sein, insbesondere wenn durch einen entsprechenden Querschnitt der Einheitszelle 28 eine bevorzugt dichte Parkettierung einer Grundfläche des Blocks 27 erreicht werden kann. Unter einem umhüllenden Querschnitt der Einheitszelle 28 wird dabei insbesondere eine Ausgestaltung der Einheitszelle 28 bezüglich des jeweiligen Kanals 32 verstanden, bei der eine sich zwischen den jeweiligen Kanälen 32 von zwei benachbarten

Einheitszellen 27 ergebende Wandstärke einen Wert von 0,2 mm nicht unterschreitet und/oder von 1,0 mm nicht überschreitet. Unter einer bevorzugt dichten Parkettierung wird dabei insbesondere eine Parkettierung der Grundfläche des Blocks 27 verstanden, bei der die Summe der Querschnittsflächen aller Kanäle 27 in der Grundfläche min. 50%, vorzugsweise min. 60%, besonders bevorzugt min. 65% der Grundfläche des Blocks ausmacht.

In einer weiteren Modifikation der Erfindung zeigt Fig. 17 einen Formkörper 26 mit einem Block 27, in dem Zellen 28 mit einer quadratischen Querschnittsform definiert sind. Die Querschnittsformen der Kanäle 32 basieren auf einer kreisförmigen Grundform 38 und entsprechen zum Beispiel den obigen Ausführungsformen der Fig. 6 bis 16.

Bezug nehmend auf Fig. 18 wird schließlich der Aufbau eines Regenerators 14 mit mehreren Lagen a-g von Wärmebetten 24 näher beschrieben.

Der Regenerator 14 ist in einem Reaktorgehäuse 40 des Thermoreaktors 10 unterhalb der Brennkammer 12 angeordnet. Die untere Basis des Regenerators 14 bildet ein Gitterrost 42 (z.B. aus Metall oder Edelmetall), auf dem optional ein Streckmetall oder Streckgitter 44 liegt.

Auf dem Gitterrost 42 und dem Streckmetall 44 sind die mehreren Lagen a-g von Wärmebetten 24 angeordnet. Jedes Wärmebett 24 ist aus einer Vielzahl von Formkörpern 26 zusammengesetzt. Die Wärmebetten 24 bzw. Formkörper 26 der Lagen a-f haben jeweils eine Höhe h von zum Beispiel etwa 30 cm, während das Wärmebett 24 bzw. die Formkörper 26 der optionalen obersten Lage eine Höhe h von zum Beispiel nur etwa 15 cm haben, sodass sich für den Regenerator 14 insgesamt eine Höhe H von etwa 195 cm in diesem Ausführungsbeispiel ergibt. Zwischen den Wärmebetten 24 und dem Reaktorgehäuse 40 ist optional zudem ein sogenannter Sattelkörper 46 aus wärmespeicherndem Schüttgut vorgesehen.

In diesem Ausführungsbeispiel sind die Wärmebetten 24 der Lagen a-e zum Beispiel aus 23x29 Formkörpern 26 gebildet, und sind die Wärmebetten 24 der Lagen f-g zum Beispiel aus 21x27 Formkörpern 26 gebildet. Dabei können in den Wärmebetten 24 der verschiedenen Lagen a-g wahlweise gleiche oder unterschiedliche Formkörper 26, d.h.

insbesondere Formkörper mit Zellen 28 gleicher oder unterschiedlicher Querschnittsformen und/oder Kanälen 30, 32 gleicher oder unterschiedlicher Querschnittsformen verwendet werden. Ferner können die Wärmebetten 24 zum Teil auch aus Formkörpern gebildet sein, die nicht den erfindungsgemäßen Ausführungsformen entsprechen. Die Vorteile der Erfindung können auch schon erzielt werden, wenn zumindest ein Teil der Wärmebetten 24 des Regenerators 24 gemäß der oben beschriebenen Erfindung ausgestaltet ist.

Weitere typische Varianten von Regeneratoren 14 enthalten beispielhaft die folgenden

Anzahlen an Formkörpern 26 in X- bzw. Y-Richtung und an Lagen von Wärmebetten 24:

Anzahl Formkörper		
X	Y	Lagen
8	13	5 - 7
10	13	5 - 7
14	13	5 - 7
16	13	5 - 7
15	16	5 - 7
17	16	5 - 7
15	23	5 - 7
19	23	5 - 7
22	23	5 - 7
29	23	5 - 7
29	26	5 - 7

In den obigen Ausführungsbeispielen wurde der Formkörper beispielhaft für einen Regenerator eines Thermoreaktors eingesetzt. Die Erfindung ist aber nicht auf diesen Anwendungsfall beschränkt.

So kann der oben anhand der Fig. 4 bis 17 erläuterte Formkörper in vorteilhafter Weise zum Beispiel auch in einem Wall-Flow-Filter oder einem Waben-Katalysator eingesetzt werden. Diese können zum Beispiel als Diesel- oder Rußpartikelfilter in Kraftfahrzeugen oder anderen industriellen Anwendungen (z.B. Abluftreinigung, chemische Prozess-

technik) verwendet werden. Insbesondere in industriellen Anwendungen werden vorzugsweise mehrere Formkörper nebeneinander und/oder aufeinander gestapelt angeordnet, um größere Fluidbehandlungseinheiten zu schaffen.

- 5 In diesem Fall sind die Innenwände des den Formkörper bildenden Blocks zwischen den Kanälen vorzugsweise porös ausgestaltet, sodass das Fluid durch sie hindurch strömen kann und die Innenwände dabei als Filter dienen. Dabei ist zum Beispiel der eine Teil der Kanäle an dem einen Stirnende des Blocks geschlossen, während der andere Teil der Kanäle an dem anderen Ende des Blocks geschlossen ist. Optional können die Innenwände mit einer Schutzschicht überzogen sein, um auch Fluide mit aggressiven Komponenten durch den Formkörper hindurch leiten zu können. Falls der Formkörper in einem Katalysator eingesetzt werden soll, sind die Innenwände vorzugsweise mit einem katalytisch aktiven Material beschichtet und/oder gefüllt.

15 BEZUGSZIFFERNLISTE

- | | | |
|----|-----|--|
| | 10 | Thermoreaktor |
| | 10' | Thermoreaktor |
| | 12 | Brennkammer |
| 20 | 14 | Regenerator |
| | 16 | Vorkammer |
| | 18 | Rohgaszuführung |
| | 20 | Reingasabführung |
| | 22a | Regelventil |
| 25 | 22b | Regelventil |
| | 23 | Rotationsventil |
| | 23' | Verteilerventil |
| | 24 | Wärmebett |
| | 26 | Formkörper |
| 30 | 27 | Block |
| | 28 | Zelle, Einheitszelle |
| | 28' | abgewandelte Zelle, Randzelle |
| | 30 | Kanal (polygonale Querschnittsform) |
| | 32 | Kanal (kreisförmige Querschnittsgrundform) |

	34	Innenwand
	36	Außenwand
	38	Grundform, bevorzugt kreisförmig
	38a	konvexer Abschnitt
5	38b	konkaver Abschnitt
	40	Reaktorgehäuse
	42	Gitterrost
	44	Streckmetall
	46	Sattelkörper
10	Ah	hydraulische Strömungsquerschnittsfläche
	Ao	offene Strömungsquerschnittsfläche
	Dh	hydraulischer Durchmesser
	Dsep	Abstand der Grundkreise
	h	Höhe von 24 bzw. 26
15	H	Höhe von 14
	N	Anzahl der Schwingungen
	P	Amplitude
	Rl	Radius des Grundkreises
	s	Strukturlänge
20	t	minimale Wandstärke der Innenwand
	t'	Wandstärke der Außenwand
	X-Y	Grundfläche
	Z	Höhenrichtung

25

ANSPRÜCHE

1. Formkörper zum Behandeln, insbesondere Temperieren eines Fluids, aufweisend:
einen Block (27) aus einem wärmeleitenden Material, der durch eine Grundfläche
(X-Y) und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe definiert ist, wobei
5 der Block (27) im Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche (X-Y) eine Vielzahl von
Zellen (28) aufweist,
in dem Block (27) eine Vielzahl von Kanälen (30, 32) ausgebildet ist, die parallel
zueinander und zur Höhenrichtung (Z) des Blocks verlaufen,
10 jeder der Kanäle (30, 32) in einer Zelle (28) derart vorgesehen ist, dass zwischen
den Kanälen (30, 32) in benachbarten Zellen (28) eine Innenwand (34) vorhanden
ist, und
eine Querschnittsform der Kanäle (30, 32) oder der Innenwände (34) parallel zur
Grundfläche (X-Y) des Blocks (27) eine Strukturlänge (s) eines Abschnitts eines
15 gleichbleibenden Krümmungsvorzeichens von höchstens 3,5 mm, bevorzugt von
höchstens 2,85 mm, oder von höchstens 20%, bevorzugt von höchstens 15%, des
Gesamtumfangs der Querschnittsform der Kanäle aufweist.
2. Formkörper nach Anspruch 1, bei welchem
20 die Querschnittsform der Kanäle (32) oder der Innenwände (34) wenigstens einen
konvexen Abschnitt (38a) und wenigstens einen konkaven Abschnitt (38b) aufweist.
3. Formkörper nach Anspruch 1, bei welchem
25 die Querschnittsform der Kanäle (32) oder der Innenwände (34) mehrere konvexe
Abschnitte (38a) und mehrere konkave Abschnitte (38b) aufweist, die entlang der
Querschnittsform alternierend vorgesehen sind.
4. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem
30 die Querschnittsform der Kanäle (32) ausgehend von einer Grundform (38), bevor-
zugt einer kreisförmigen Grundform, alternierend mehrere Abschnitte innerhalb der
Grundform und mehrere Abschnitte außerhalb der Grundform aufweist.

5. Formkörper nach Anspruch 4, bei welchem
die Querschnittsform der Kanäle (32) ausgehend von der Grundform (38), bevorzugt
einer kreisförmigen Grundform, durch periodische Schwingungen um die Grundform
(38) gebildet ist.
6. Formkörper nach Anspruch 4 oder 5, bei welchem
eine Amplitude (P) der Abweichungen von der Grundform (38) wenigstens etwa 5%
oder höchstens etwa 20% beträgt.
7. Formkörper nach einem der Ansprüche 4 bis 6, bei welchem
eine Anzahl (N) der Schwingungen um die Grundform (38) ausgewählt ist aus 4, 6, 8
oder 12.
8. Formkörper nach einem der Ansprüche 4 bis 7, bei welchem
ein Abstand (Dsep) zwischen den Grundformen (38) benachbarter Kanäle (32)
wenigstens etwa 0,25 mm, bevorzugt wenigstens etwa 0,35 mm, oder höchstens
etwa 1,00 mm, bevorzugt höchstens etwa 0,70 mm beträgt.
9. Formkörper nach Anspruch 1, bei welchem
die Kanäle (30) jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche (X-Y) des
Blocks (27) in Form eines regelmäßigen Vielecks haben.
10. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem
die Zellen (28) jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche (X-Y) des
Blocks (27) in Form eines regelmäßigen Vielecks haben.
11. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem
ein hydraulischer Durchmesser (Dh) eines Kanals (30, 32) wenigstens etwa 2,3 mm
oder höchstens etwa 5,0 mm beträgt.

12. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem eine hydraulische Strömungsquerschnittsfläche (A_h) eines Kanals (30, 32) wenigstens etwa 50% oder höchstens etwa 65% in Bezug auf eine Querschnittsfläche der Zelle (28) beträgt.
13. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die die Kanäle (30, 32) begrenzenden Wände (34, 36) mit einer Schutzschicht versehen sind.
14. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Innenwände (34) zumindest teilweise porös ausgestaltet sind.
15. Formkörper nach Anspruch 14, bei welchem die Innenwände (34) und/oder Innenräume der Innenwände (34) mit einem katalytisch aktiven Material versehen sind.
16. Wärmetauscher (14), aufweisend wenigstens ein Wärmebett (24), das wenigstens einen Formkörper (26) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 aufweist.
17. Wärmetauscher nach Anspruch 16, bei welchem das Wärmebett (24) mehrere Formkörper (26) aufweist, die parallel zur Grundfläche (X-Y) der Formkörper nebeneinander, bevorzugt ohne Abstand zueinander, angeordnet sind.
18. Wärmetauscher nach Anspruch 16 oder 17, welchem wenigstens zwei Wärmebetten (24) aufweist, die in der Höhenrichtung (Z) der Formkörper (26) übereinander angeordnet sind.
19. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 16 bis 18, bei welchem eine Höhe (h) des Wärmebetts (24) in der Höhenrichtung (Z) der Formkörper (26) wenigstens etwa 20 cm, bevorzugt wenigstens etwa 25 cm, oder höchstens etwa 50 cm, bevorzugt höchstens etwa 40 cm beträgt.

20. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 16 bis 19, bei welchem eine Höhe (H) des Wärmetauschers (14) in der Höhenrichtung (Z) der Formkörper (26) wenigstens etwa 100 cm, bevorzugt wenigstens etwa 150 cm, oder höchstens etwa 300 cm, bevorzugt höchstens etwa 200 cm beträgt.
21. Thermoreaktor (10), insbesondere zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, aufweisend eine Brennkammer (12) und einen Regenerator (14), wobei der Regenerator (14) als ein Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 16 bis 20 ausgestaltet ist.
22. Thermoreaktor (10), insbesondere zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, aufweisend eine Brennkammer (12) und einen Regenerator (14), wobei der Regenerator (14) einen oder mehrere Formkörper (26) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 enthält, die insbesondere zu einem Wärmebett (24) zusammengesetzt sind und von einer insbesondere im Wesentlichen gasförmigen Fluidströmung durchströmt werden, wobei die Fluidströmung eines oder mehrere der folgenden Merkmale aufweist:
- mittlere Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s,
 - Viskosität zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$,
 - Temperatur zwischen 400°C und 1.100°C,
 - Stickstoffanteil größer als 60 Vol.-%.
23. Verwendung eines Formkörpers nach einem der Ansprüche 1 bis 15 in einem Filter oder Katalysator.

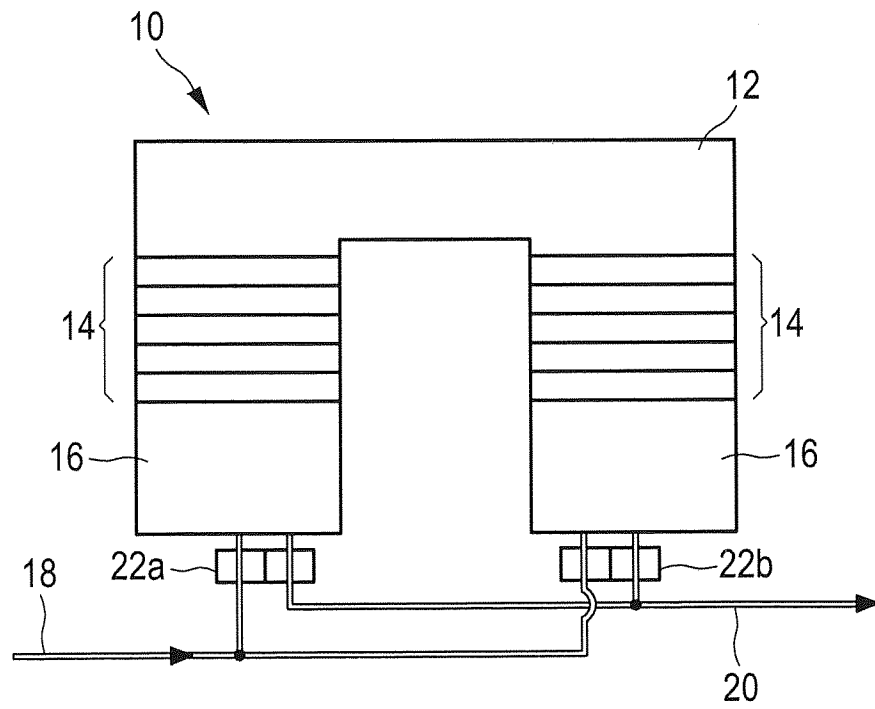


Fig. 1

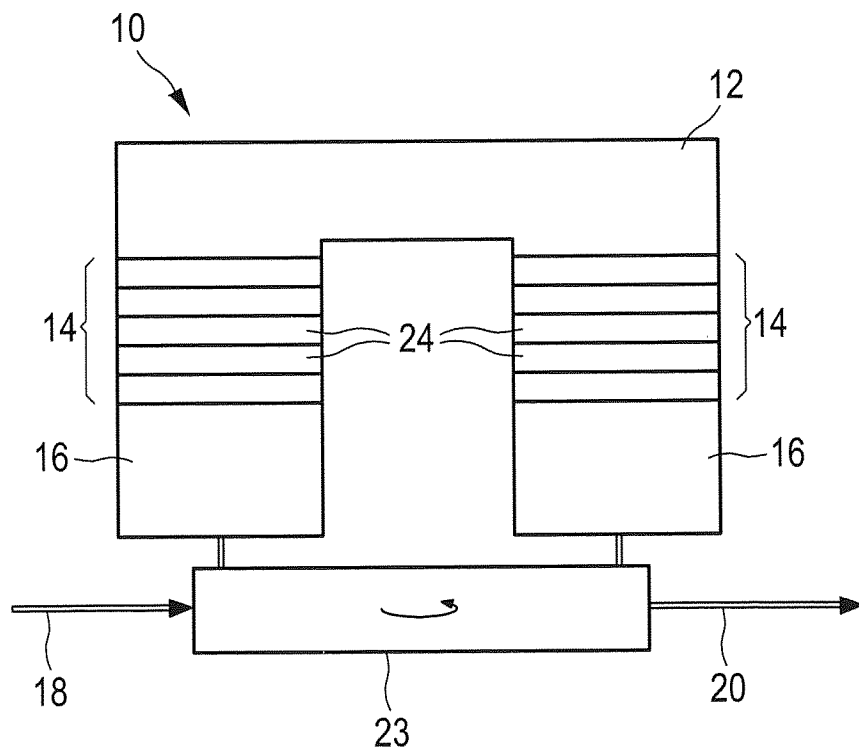


Fig. 2

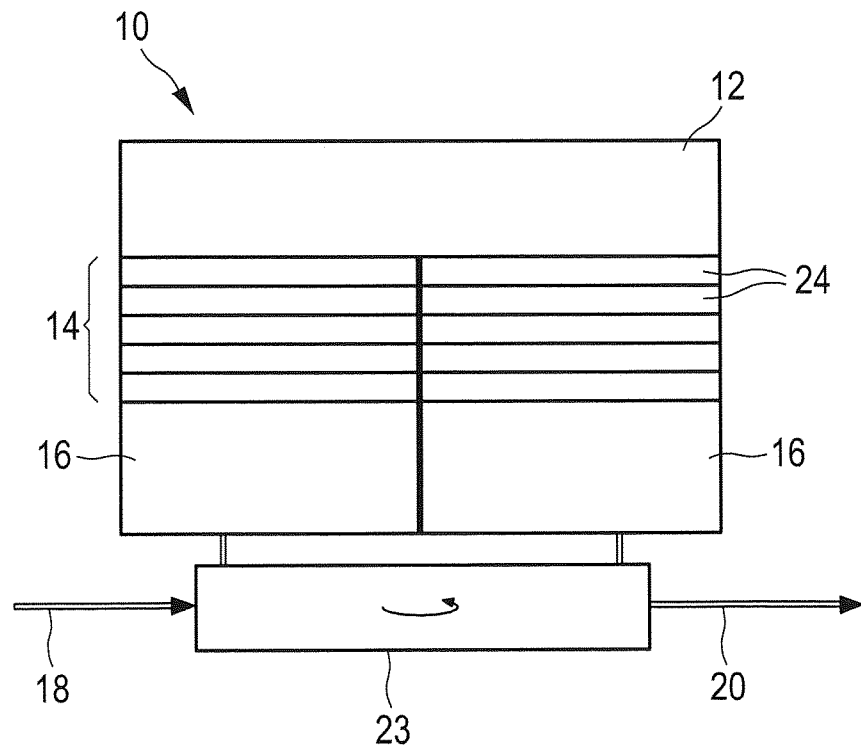


Fig. 2A

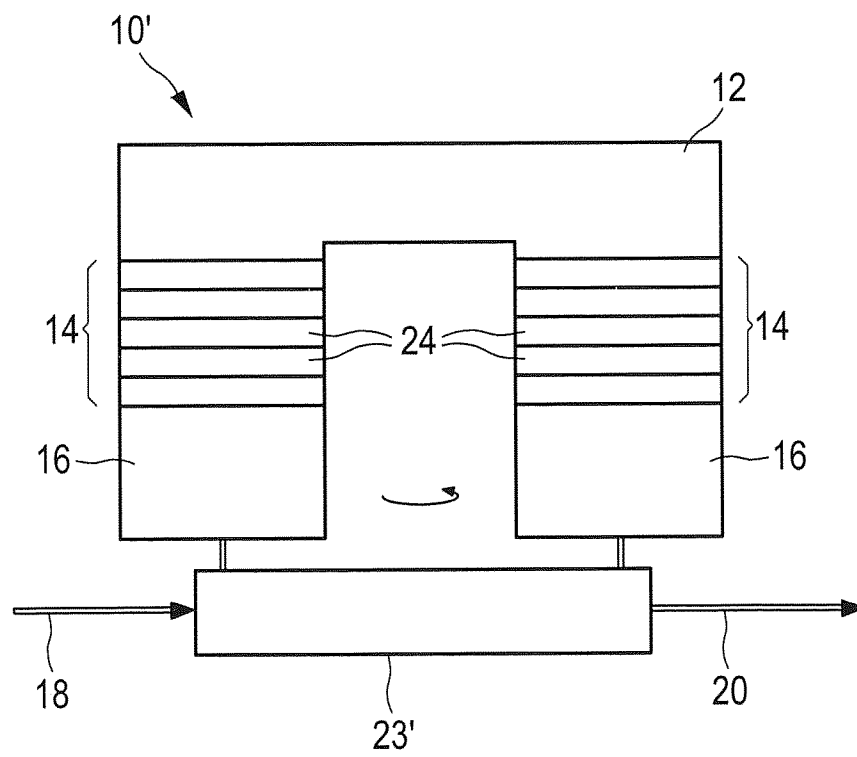


Fig. 2B

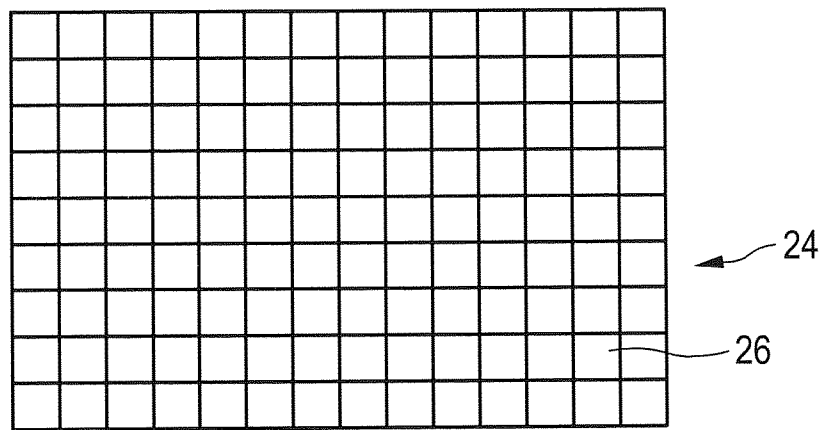


Fig. 3

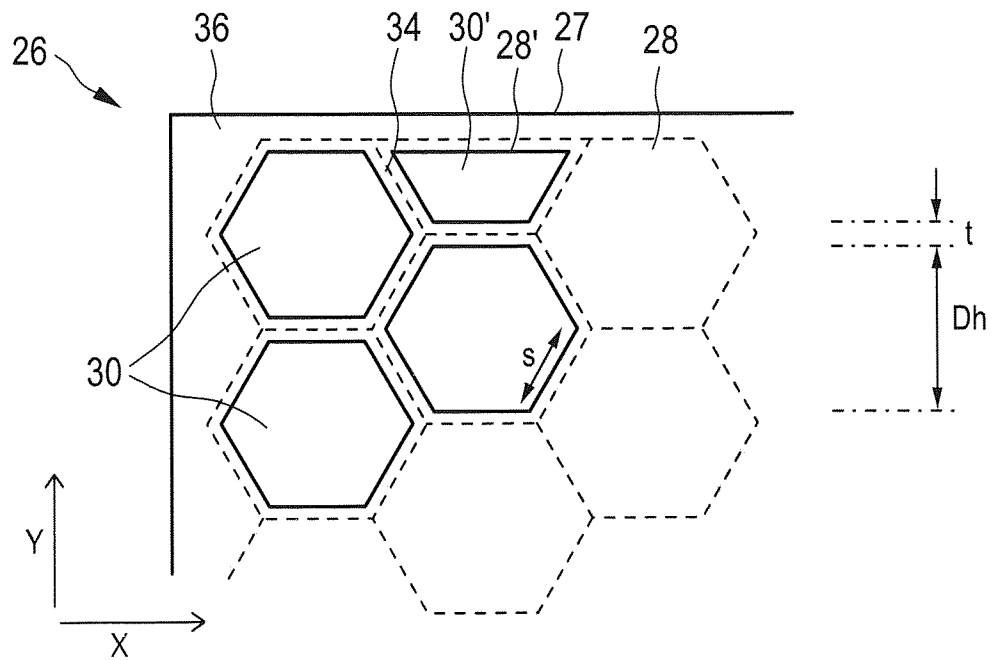


Fig. 4

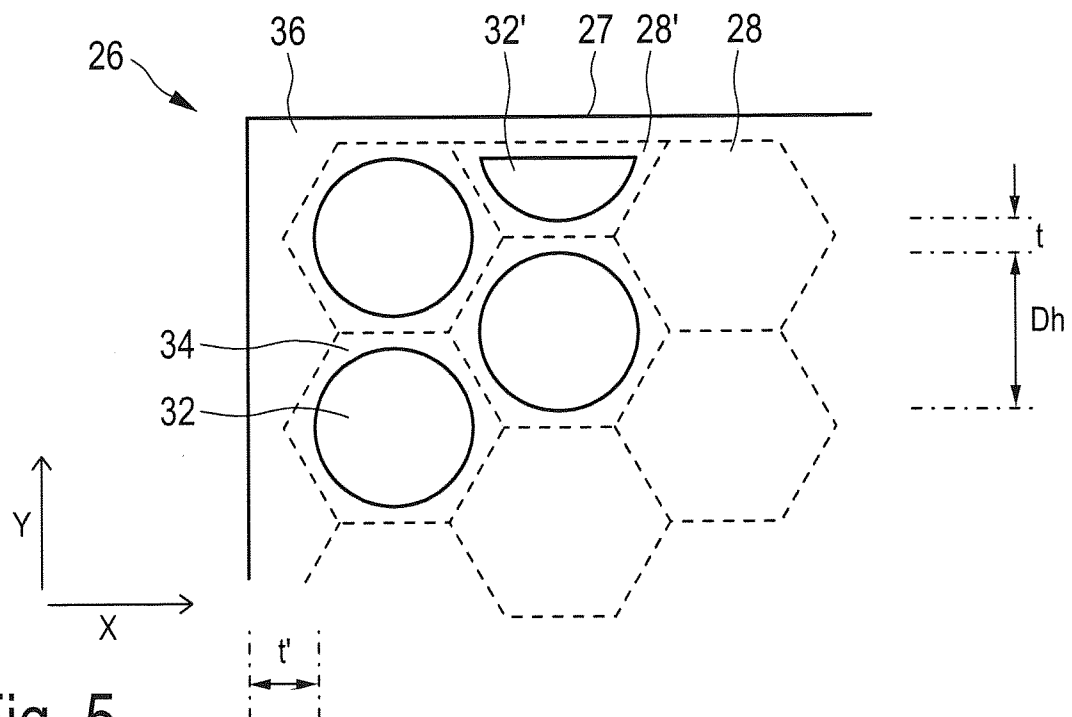


Fig. 5

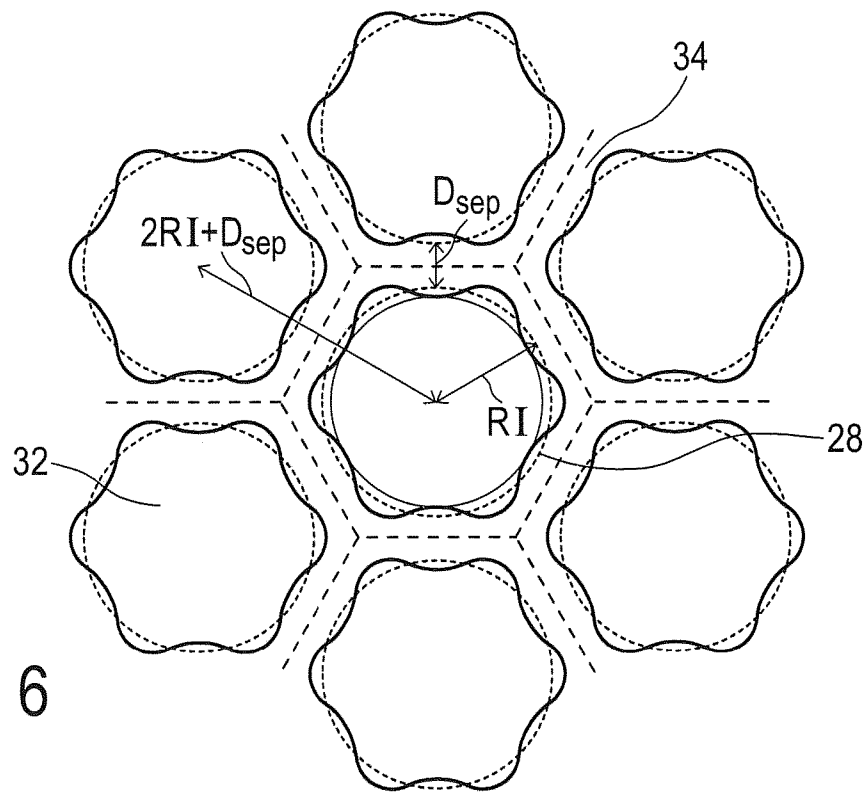


Fig. 6

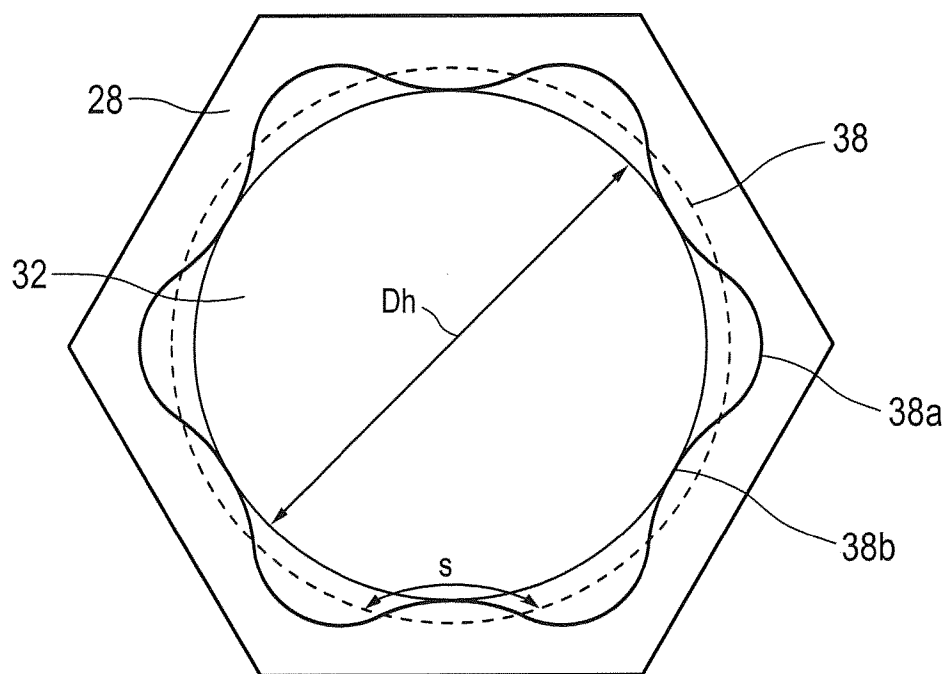


Fig. 7

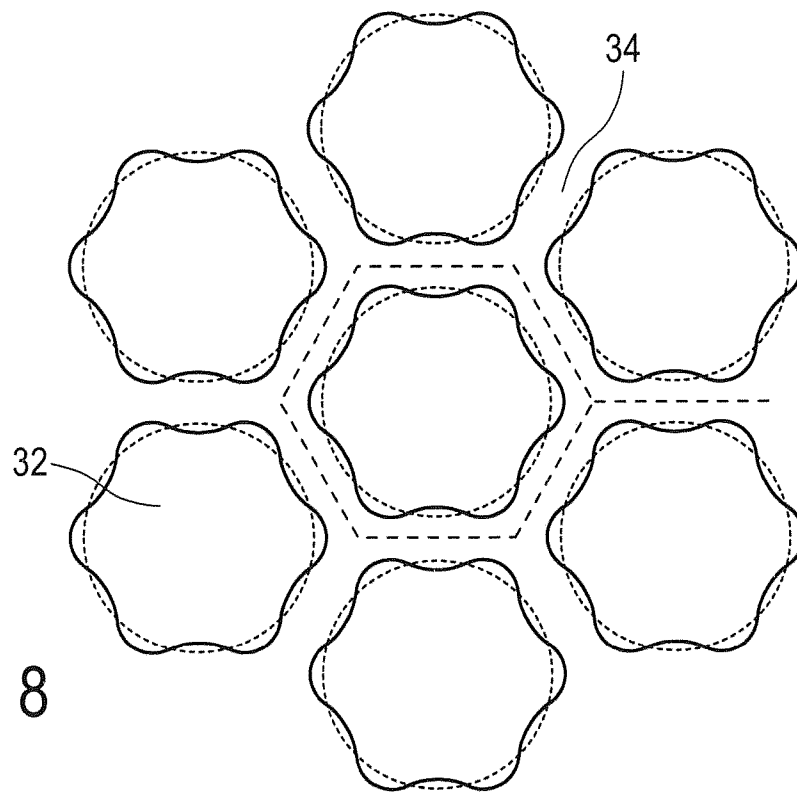


Fig. 8

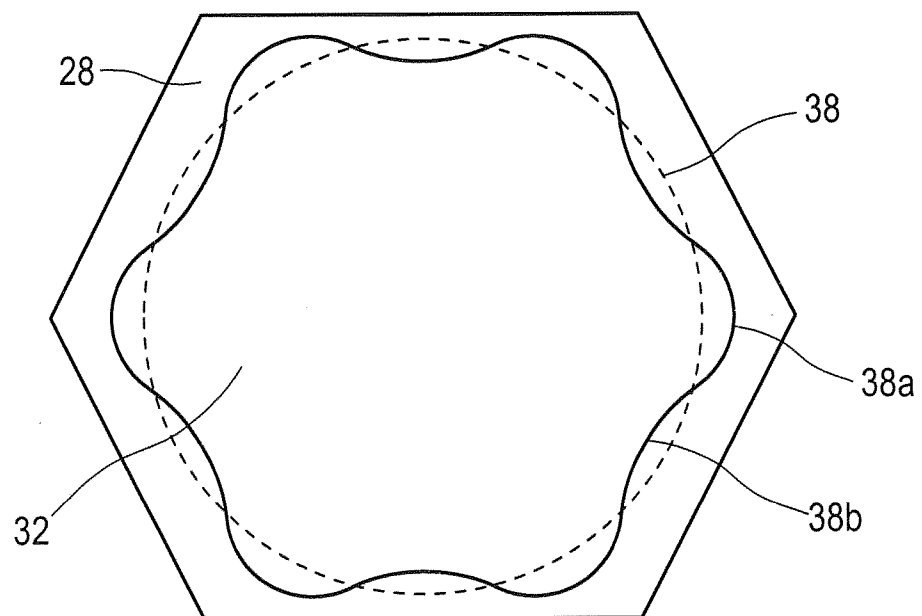


Fig. 9

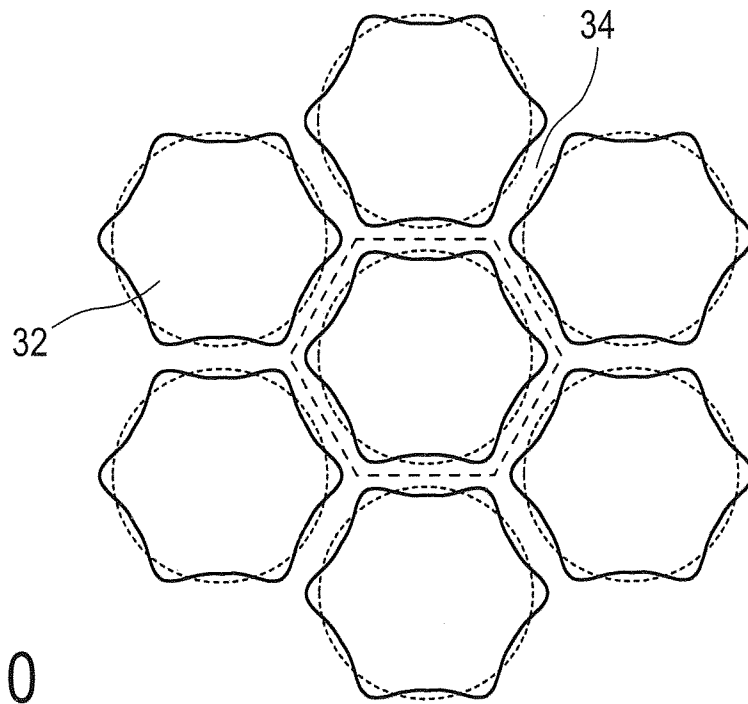


Fig. 10

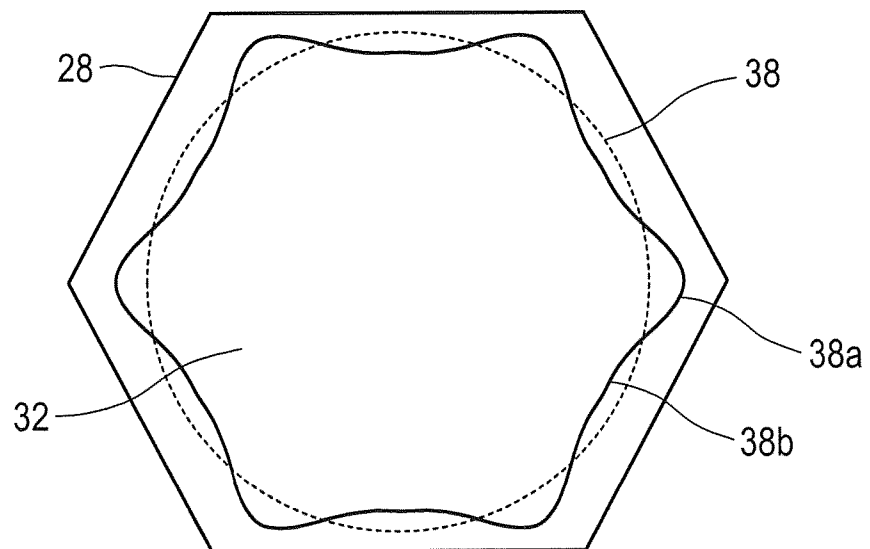


Fig. 11

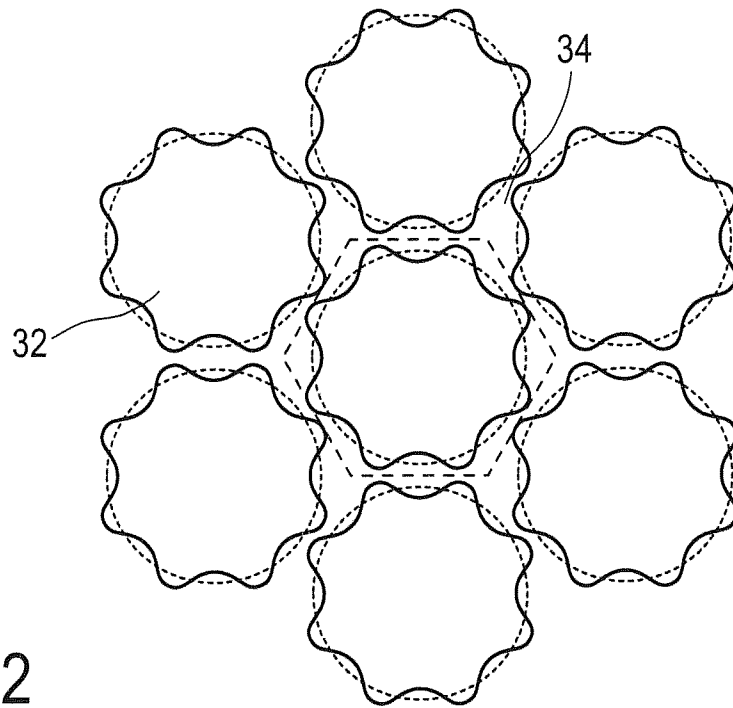


Fig. 12

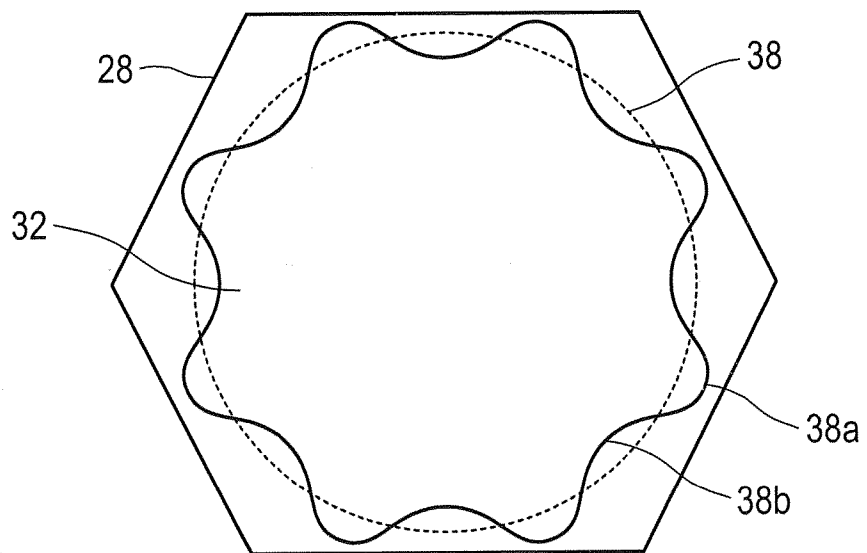


Fig. 13

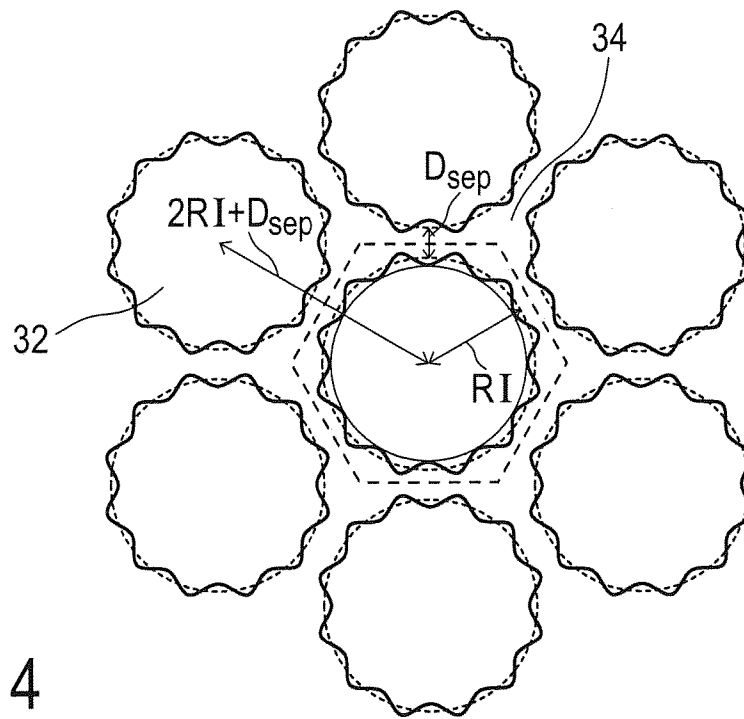


Fig. 14

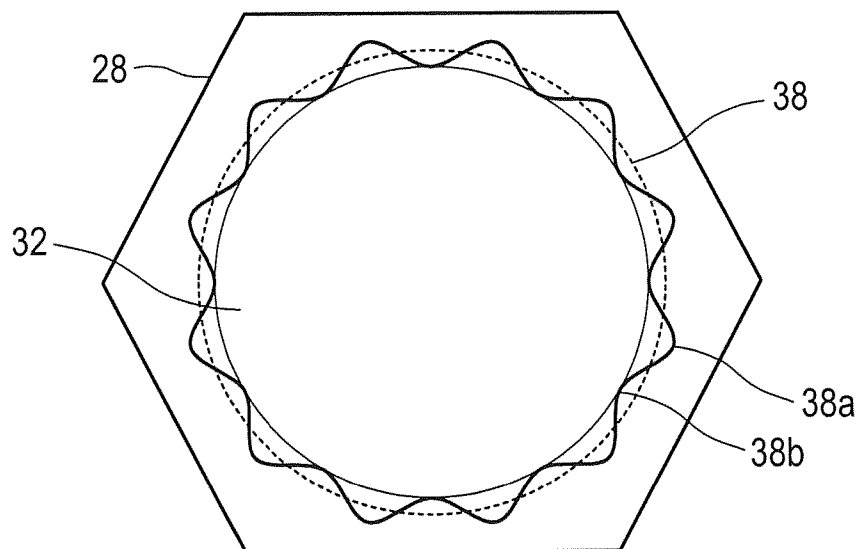


Fig. 15

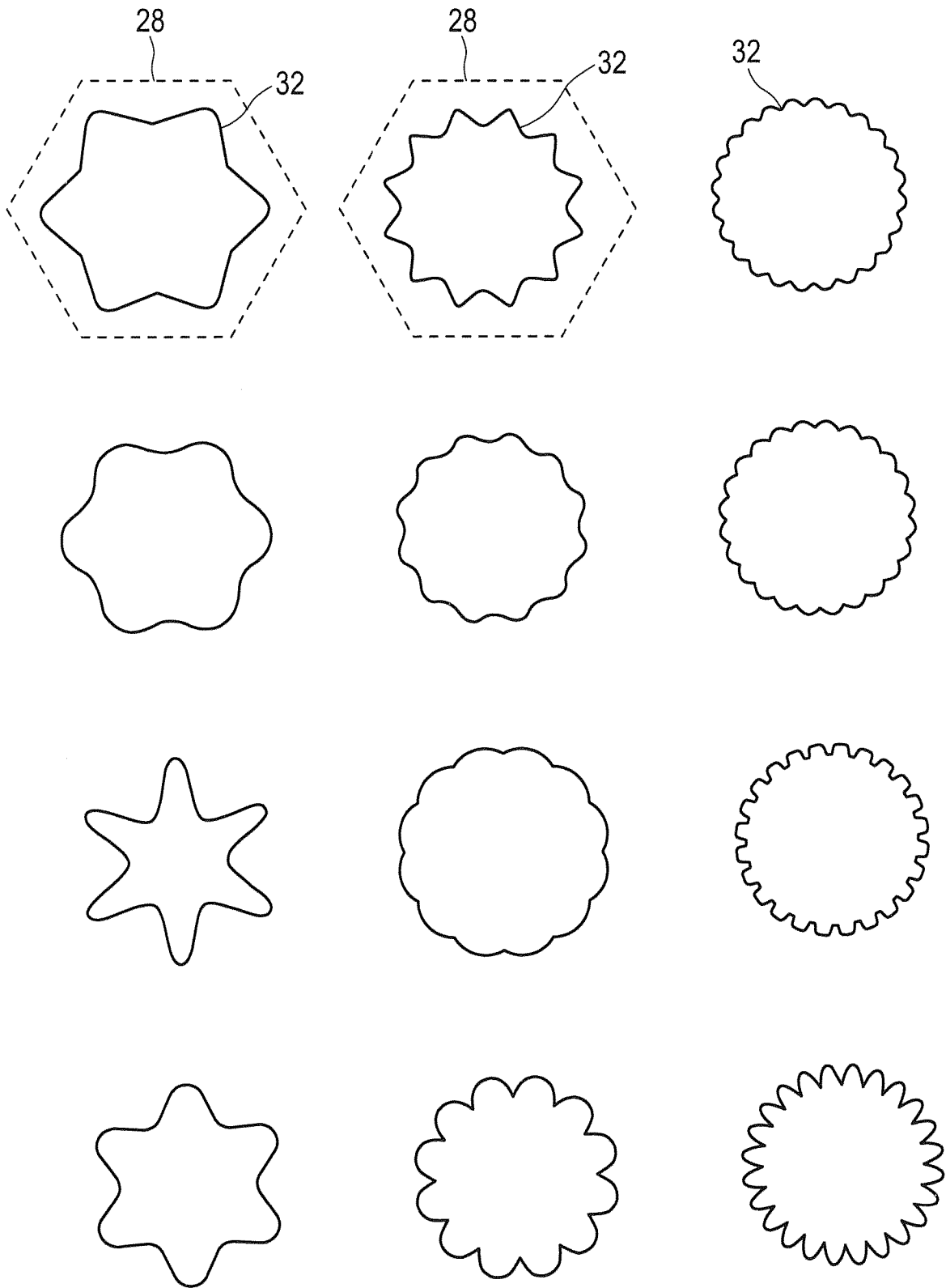


Fig. 16

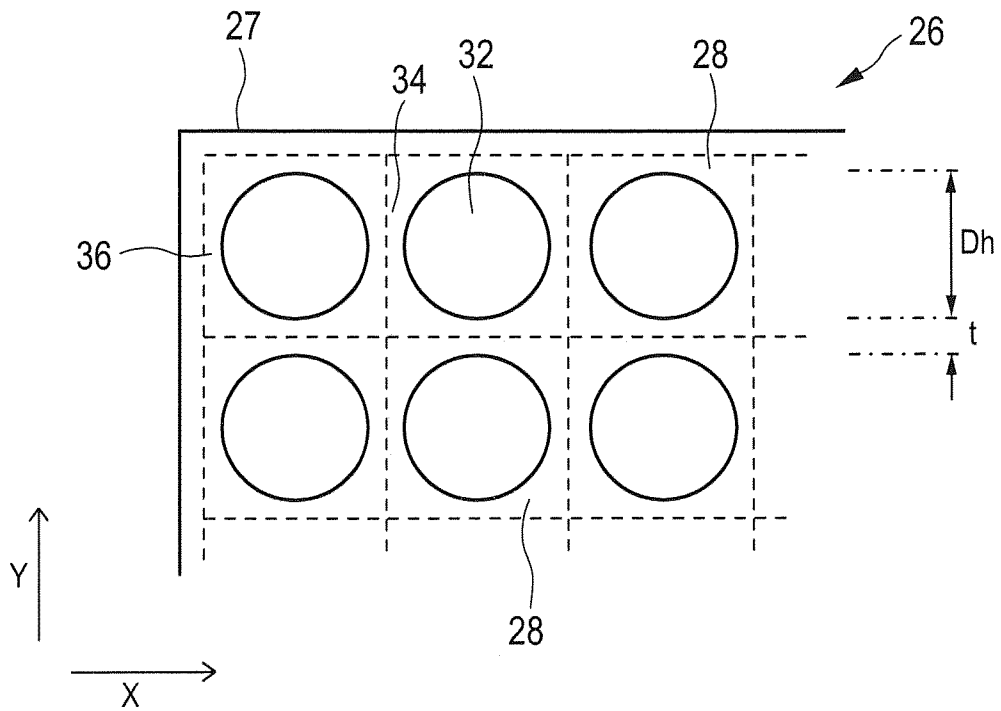


Fig. 17

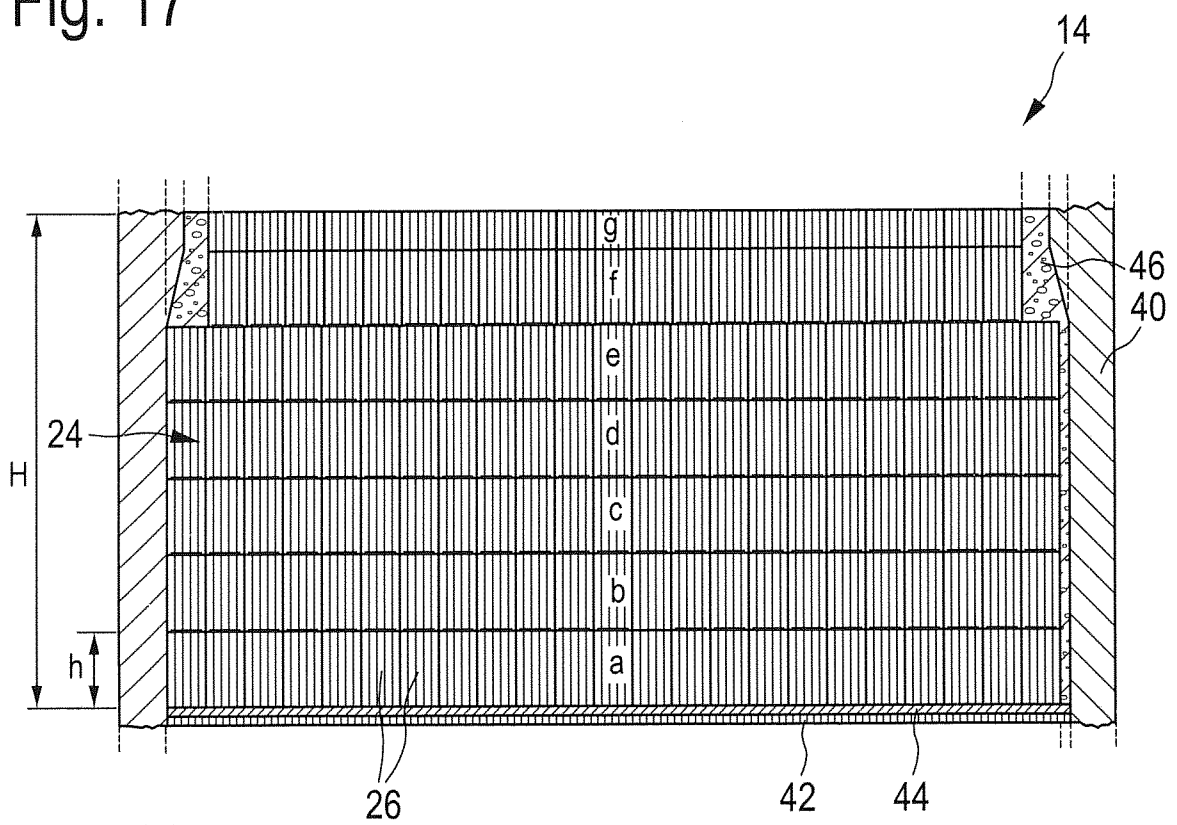


Fig. 18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/053402

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F23G7/06 B01D53/74 B01D53/88 F23G7/07 F23L15/02
F28D17/02 F28D17/04

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F23G B01D F23L F28D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 121 536 A (REES NATHANIEL) 24 December 1918 (1918-12-24)	1-7, 10-12, 16,17,21
Y	the whole document	9
X	JP 2015 010237 A (JFE STEEL CORP) 19 January 2015 (2015-01-19)	1-8, 10-12, 16-21
	the whole document	
Y	US 4 346 753 A (KLETCH STANLEY J) 31 August 1982 (1982-08-31)	9
A	the whole document	1,2,10, 12, 16-18,21



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 April 2016

Date of mailing of the international search report

27/05/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vogl, Paul

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/053402

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 121536	A	24-12-1918	NONE	

JP 2015010237	A	19-01-2015	NONE	

US 4346753	A	31-08-1982	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F23G7/06 B01D53/74 B01D53/88 F23G7/07 F23L15/02
F28D17/02 F28D17/04

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F23G B01D F23L F28D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB 121 536 A (REES NATHANIEL) 24. Dezember 1918 (1918-12-24)	1-7, 10-12, 16,17,21
Y	das ganze Dokument	9
X	JP 2015 010237 A (JFE STEEL CORP) 19. Januar 2015 (2015-01-19)	1-8, 10-12, 16-21
	das ganze Dokument	
Y	US 4 346 753 A (KLETCH STANLEY J) 31. August 1982 (1982-08-31)	9
A	das ganze Dokument	1,2,10, 12, 16-18,21



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. April 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

27/05/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vogl, Paul

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/053402

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 121536	A	24-12-1918	KEINE
JP 2015010237	A	19-01-2015	KEINE
US 4346753	A	31-08-1982	KEINE