



(11) **EP 2 926 623 B2**

(12) **NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**
Nach dem Einspruchsverfahren

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:
01.05.2019 Patentblatt 2019/18

(51) Int Cl.:
H05B 3/48 (2006.01) **F24H 3/00** (2006.01)

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:
15.06.2016 Patentblatt 2016/24

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/052712

(21) Anmeldenummer: **15705240.8**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/128183 (03.09.2015 Gazette 2015/35)

(22) Anmeldetag: **10.02.2015**

(54) **HEIZELEMENT UND PROZESSHEIZER**
HEATING ELEMENT AND PROCESS HEATER
ÉLÉMENT CHAUFFANT ET DISPOSITIF DE CHAUFFAGE DE PROCESSUS

(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**

• **KRAMER, Michael**
64546 Mörfelden-Walldorf (DE)

(30) Priorität: **25.02.2014 DE 102014102474**

(74) Vertreter: **WSL Patentanwälte Partnerschaft mbB**
Kaiser-Friedrich-Ring 98
65185 Wiesbaden (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.10.2015 Patentblatt 2015/41

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 134 143 CN-A- 102 811 514
DE-A1- 1 615 278 DE-C- 735 982
DE-C1- 19 613 411 KR-B1- 101 314 531
US-A- 1 727 584 US-A- 3 828 161
US-A- 4 877 990 US-A- 5 380 987
US-A1- 2012 141 100 US-A1- 2013 264 326

(73) Patentinhaber: **Sandvik Materials Technology**
Deutschland GmbH
40549 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
• **MANN, Markus**
55130 Mainz (DE)

EP 2 926 623 B2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Heizelement zum Erhitzen von Gasen auf hohe Temperaturen, mit mindestens einem für die Durchströmung von heißem bzw. zu erhitzendem Gas ausgelegten Rohr 1 und einem elektrischen Heizdraht in dem Rohr, welcher für die Übertragung von Wärme auf an dem Heizdraht vorbeiströmendes Gas ausgelegt ist, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Ebenso betrifft vorliegende Erfindung auch einen Prozessheizer mit einem Gehäuse mit einer Gaszufuhr und einem Gasauslass, einem Heizraum zwischen Gaszufuhr und Gasauslass zur Aufnahme eines Heizelementes und elektrischen Anschlüssen für mindestens ein Heizelement, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 15. Entsprechende Heizelemente sind seit langem bekannt. Sie bestehen, wie bereits erwähnt, aus mindestens einem von Gas zu durchströmenden Rohr, das zum Zwecke der Durchströmung beidseitig offen ist, wobei in dem Rohr ein Heizdraht angeordnet ist, an welchem das Gas vorbeiströmt und sich durch den direkten Kontakt mit dem Heizdraht erhitzt.

[0003] Das Dokument DE 16 15 278 A1 offenbart ein Heizelement mit einem in einem Rohr angeordneten wendelförmigen Heizdraht.

[0004] Üblicherweise werden als Heizdrähte wendelförmig aufgewickelte, feine Drähte verwendet, deren Querschnitt sehr viel kleiner als der Rohrquerschnitt ist und die von Strom durchflossen werden und sich dadurch erhitzen. Die durch den Heizdraht in Wärme umgesetzte elektrische Energie hängt selbstverständlich ab von der zur Verfügung stehenden elektrischen Spannung und dem Widerstand entsprechender Heizdrähte, wobei man zur Erzielung gewünschte Widerstandswerte die Länge eines gewendelten Drahtes entsprechend anpassen oder mehrere entsprechende Heizdrähte parallel oder auch in Reihe schalten kann. Die auf das an dem Heizdraht entlangströmende Gas übertragene Wärmeenergie hängt dabei selbstverständlich ab von der maximalen Temperatur, welche der Heizdraht erreicht, von der Strömungsgeschwindigkeit und von der zum Wärmeaustausch zur Verfügung stehenden Oberfläche sowie auch den genauen Strömungsverhältnissen in dem Heizelement. Die maximalen Gastemperaturen, die man im Dauerbetrieb mit derartigen Prozessheizern in der Praxis regelmäßig erreichen kann, liegen in der Größenordnung von 700 °C.

Es werden zwar vereinzelt auch Heizelemente bzw. Prozessheizer angeboten, die eine Erzeugung von höheren Gastemperaturen bis zu etwa 900 °C erlauben, jedoch haben diese nur äußerst kurze Standzeiten. Bei den für viele Prozesse erforderlichen Gasströmungsraten hat der Heizdraht selbst notwendigerweise immer eine mehr oder weniger deutlich über der Gastemperatur liegende Temperatur, wobei bereits kleinste Inhomogenitäten in dem Heizdraht bzw. in dessen Querschnitt oder auch allein ungünstige lokale Strömungsbedingungen und

Turbulenzen dazu führen können, dass sich einige Abschnitte des Heizdrahtes stärker erhitzen als der übrige Teil, was dann schnell zum Bruch und Versagen der Heizdrähte führt. Da der Heizdraht typischerweise in kleinen Mengen Aluminium enthält, führt der Kontakt mit Sauerstoff zunächst zur Ausbildung einer schützenden Aluminiumoxidschicht um den Draht. Nach Verbrauch des Aluminium-Anteils, reagieren jedoch andere Legierungsbestandteile wie Eisen und Chrom mit dem Sauerstoff, was im Allgemeinen das Ende der Lebensdauer des Heizdrahtes bedeutet. Sonstige chemische Reaktionen des zu erhitzenden oder heißen Prozessgases mit dem Material des Heizdrahtes können das Versagen bzw. Brechen der Heizdrähte noch beschleunigt. Kleine Unregelmäßigkeiten in dem Material oder Querschnitt des Heizdrahtes aufgrund chemischer Veränderungen führen schnell zu einem lokalen Überhitzen des Heizdrahtes und zum Bruch. Da auch die Stabilität der sehr dünnen, gewendelten Heizdrähte insbesondere bei hohen Temperaturen relativ gering ist, können die Heizwendeln in einem vertikalen Rohr leicht in sich zusammensacken, wodurch Kurzschlüsse auftreten, die ebenfalls die Lebensdauer solcher Wendeldrähte herabsetzen. Ein solches Versagen durch Überhitzen, vor allem lokales Überhitzen, tritt umso leichter auf, je kleiner der Querschnitt bzw. Durchmesser der Heizdrähte ist. Andererseits wird aber ein großes Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis der Heizdrähte als vorteilhaft für eine effektive Übertragung der in dem Heizdraht erzeugten Wärmeenergie auf das vorbeiströmende Gas angesehen, so dass man bisher die kurze Standzeit solcher Heizelemente in Kauf nimmt, wenn man Gastemperaturen im Bereich von 900 °C oder darüber erreichen will.

[0005] Prozessheizer und Heizelemente, die Gastemperaturen von 900 °C oder auch noch darüber erzeugen, haben aber aus den vorgenannten Gründen regelmäßig nur eine Standzeit von wenigen Stunden.

[0006] Das Dokument US 4,877,990 offenbart ein Heizelement gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und auch einen Prozessheizer gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 15. Die Heizelemente gemäß D1 besteht aus mehreren Bohrungen in einem Block aus isolierendem Material mit, durch welche sich in Längsrichtung zentrale Heizfilamente erstrecken. Das Heizelement dient als Luftsterilisator und ist für die Erzeugung von Temperaturen vorgesehen, die maximal 400 °C betragen. Die konkret beschriebene Ausführungsform beschreibt ein Heizfilament aus NiCr mit einem Widerstand von 100 Ω/m. Daraus ergibt sich ein Querschnitt des Heizelementes zwischen 1 und $1,5 \times 10^{-8} \text{ m}^2$, wobei die Bohrungen, durch welche das Filament hindurchgeführt ist, einen Durchmesser von 2 mm und damit einen Querschnitt von $3,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ haben. Dies führt zu einem Querschnittsverhältnis des Heizfilamentes zu dem Querschnitt des Rohres zwischen 0,031 und 0,0047. Dieses Querschnittsverhältnis begrenzt bei einer gegebenen Maximaltemperatur für das Heizfilament den möglichen Energieübertrag auf das hindurchströmende Gas.

[0007] Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Prozessheizer und ein entsprechendes Heizelement bereitzustellen, die eine Erzeugung von Gastemperaturen bis zu 1000 °C oder auch darüber erlauben, damit extrem große Energiemengen auf das Gas übertragen können und dennoch eine relativ lange Standzeit haben, die bei der Erzeugung von Gastemperaturen bis 1000 °C in der Regel mindestens das 10-fache der Lebensdauer herkömmlicher Heizwendeln beträgt.

[0008] Diese Aufgabe wird für das Heizelement durch die Merkmale des Anspruchs 1 und für den Prozessheizer durch die Merkmale des Anspruchs 15 gelöst.

[0009] Mit anderen Worten ist der Heizdraht kein gewendelter Draht, dessen Materialquerschnitt wesentlich kleiner ist als der des Rohres, sondern vielmehr ein Stab, für den man seinerseits eine entsprechende Längsachse definieren kann, die sich im Wesentlichen entlang der oder parallel zu der Achse des Rohres erstreckt und dabei das Rohr soweit ausfüllt, dass zwischen Heizstab und Rohrwand nur ein relativ kleiner, lichter Abstand verbleibt, der maximal 10 mm und vorzugsweise noch deutlich weniger beträgt, auch wenn er punktuell, d.h. in Bereichen, die weniger als 20% der Überlappungslänge von Rohr und Heizstab oder aber weniger als 20% des Umfangs des Heizstabes ausmachen, größer sein kann. Der Begriff "Heizdraht" wird daher im Rahmen der vorliegenden Beschreibung als Oberbegriff sowohl für relativ dünne gewendelte Drähte als auch für Heizstäbe gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet, wobei die unterschiedliche Dicke nicht das primäre Unterscheidungskriterium ist.

[0010] Der maximale lichte Abstand zwischen Heizstab und Rohr liegt in vielen praktischen Fällen zwischen 1 und 2 mm, etwas darüber oder auch darunter bis herab zu Minimalwerten von 0,02 mm. Der Maximaldurchmesser des Heizstabs liegt selten über 10 mm, weil bei noch größeren Durchmessern die Effizienz der Energieübertragung wegen eines relativ großen Volumen/Oberfläche-Verhältnisses des Heizstabes erheblich nachlässt, was nur teilweise durch eine größere Rohr- und Heizstablänge kompensiert werden kann. Grundsätzlich ist aber dennoch die Verwendung von Heizstäben mit größeren Durchmessern möglich, wenn auch nicht bevorzugt. Ein in der Praxis offenbar günstiger Durchmesserbereich für Heizstäbe im Sinne der vorliegenden Erfindung liegt zwischen 0,5 mm und 5 mm..

[0011] Neben dem maximalen lichten Abstand zwischen Heizstab und Rohr sieht die vorliegende Erfindung ein Mindestverhältnis der Querschnittsfläche des Heizstabes zu dem freien Innenquerschnitt des Rohres vor, welches im Bereich zwischen 0,04 und 0,95 liegt.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsform sollte der Heizstab, zumindest soweit er innerhalb des Rohres verläuft, eine Querschnittsfläche haben, die mindestens 30 % und noch bevorzugter mindestens 50% des freien Rohrquerschnitts beträgt. Bei konkreten Ausführungsformen, die mit positiven Ergebnissen getestet wurden,

lag dieses Querschnittsverhältnis bei etwa 80 %, wobei der maximale lichte Abstand 0,2 bis 0,5 mm betrug und ein entsprechend gleichmäßiger Ringspalt zwischen Heizstab und Rohrwand etwa 0,1 bis 0,25 mm betrug.

[0013] Der Begriff "Rohr" ist im Sinne der vorliegenden Erfindung weit auszulegen und definiert letztlich nur einen Hohlraum mit einer Eintritts und einer Austrittsöffnung, die ein Durchströmen mit zu erheizendem Gas erlauben. Dabei muss nicht einmal der Querschnitt über die Länge des Rohres hinweg konstant sein, auch wenn dies selbstverständlich bevorzugt ist, um mit einfachen Mitteln einen weitgehend konstanten Spalt, insbesondere einen konstanten Ringspalt, zwischen Heizstab und Rohrwand zu erzeugen. Der Ringspalt kann durch Erhöhungen, welche über den Umfang verteilt auf der Heizstaboberfläche oder auf der Innenfläche des Rohres angeordnet sind, unterbrochen werden, um eine Zentrierung des Heizstabes zu ermöglichen und eine homogene Wärmeübertragung zu gewährleisten.

[0014] Als Rohre werden beispielsweise auch durchgehende Bohrungen in einem massiven Block angesehen, wobei ein solcher Block eine Vielzahl paralleler Bohrungen aufweisen kann.

[0015] Da die Heizstäbe gemäß der vorliegenden Erfindung im Vergleich zu den gewendelten Drähten in entsprechenden Rohren herkömmlicher Heizer relativ dick sind, können sie Wärme intern besser übertragen und verteilen, was eine lokale Überhitzung vermeiden hilft, und sie haben schon aus diesem Grund bei hoher thermischer Belastung bzw. hohen Heizstabtemperaturen jenseits von 1000 °C eine deutlich längere Lebensdauer und Standzeit bzw. ermöglichen erst das Erhitzen von Gasen auf über 1000 °C mit metallischen elektrischen Heizelementen.

[0016] Allgemein gesprochen liegen die bevorzugten Maßverhältnisse zwischen dem Querschnitt des Heizstabes und dem Innenquerschnitt des Rohres zweckmäßigerweise im Bereich von 0,2 bis etwa 0,95. Ein Querschnittsverhältnis von 0,2 ergibt sich zum Beispiel in etwa bei einem sehr dünnen Heizstabdurchmesser von 0,2 mm und einem Rohrdurchmesser von 0,45 mm,. Ein Querschnittsverhältnis von 0,9 ergibt sich zum Beispiel bei einem Heizstabdurchmesser von etwa 4,75 mm in einem Rohr mit 5 mm Innendurchmesser, wobei es hinsichtlich der Querschnittsverhältnisse auf die Maßeinheit bzw. auf die Absolutmaße nicht ankommt, solange der Heizstabdurchmesser innerhalb der oben und nachstehend angegebenen Bereiche liegt. Ein bevorzugter Bereich von Querschnittsverhältnissen liegt zwischen 0,3 und 0,8, entsprechend einem Durchmesser Verhältnis zwischen etwa 0,5 und 0,9 mit absoluten Durchmessern der Heizstäbe zwischen 0,5 und 5 mm.

[0017] Gleichzeitig hat sich herausgestellt, dass bei einer im Wesentlichen laminaren Strömung von Gas durch einen Ringspalt zwischen einem stabförmigen, entlang der Rohrachse verlaufenden Heizstab und der Innenwand des Rohres die Wärmeübertragung zwischen Heizstab und hindurchströmendem Gas überraschend

effektiv ist, sodass man mit einem solchen Heizelement ohne Weiteres Prozessgastemperaturen von bis zu 1200 °C oder auch noch darüber erreichen kann, während die Lebensdauer dieser Prozessheizern und insbesondere der Heizstäbe ein Vielfaches der Lebensdauer von herkömmlichen Prozessheizern bzw. Heizdrähten beträgt, die für die Erzeugung von Gastemperaturen von 900 °C oder mehr ausgelegt sind. Dabei muss der Ringspalt entlang des Umfangs des Heizstabs auch nicht notwendigerweise eine konstante Breite haben, sondern kann zwischen 0 (Berührung) und dem Maximalwert (bei kreisförmigen Querschnitten also dem Doppelten der gleichmäßigen Spaltbreite variieren.

[0018] Die absoluten Rohrdurchmesser und Heizstabdurchmesser können in weiten Bereichen variieren, beispielsweise zwischen einem Innendurchmesser des Rohres von 1 mm bis 20 mm oder auch mehr, z. B. 60 mm, wiederum abhängig von den sonstigen Maßen, wie z.B. der Länge von Rohr und Heizstab, der gewünschten Breite des Ringspaltes, der Gasstromrate und dem elektrischen Widerstand des Heizstabes sowie der zur Verfügung stehenden Spannung.

[0019] Der Heizstab hat bei kleinen Rohrdurchmessern selbstverständlich einen entsprechend kleineren Durchmesser, der im Extremfall auch 0,5 mm oder weniger, z.B. 0,2 mm betragen kann. Er ist damit gegenüber herkömmlichen Wendeldrähten oder Heizfilamenten aber immer noch deutlich dicker und vor allem nicht gewandelt, sondern erstreckt sich parallel zu der Rohrachse und entlang der Rohrachse. Der Unterschied zwischen dem "Heizdraht" nach dem Stand der Technik und dem "Heizstab" gemäß der vorliegenden Erfindung liegt also primär nicht (bzw. nicht nur) in der unterschiedlichen Dicke, sondern vielmehr in der definierten Längserstreckung und vergleichsweise stabilen Form des Heizstabes, der sich, soweit praktisch machbar, genau entlang der Achse des Rohres erstreckt, so dass seine Länge innerhalb des Rohres genau der Länge des Rohres entspricht und der Heizstab somit nicht entlang eines künstlich verlängerten Weges im Rohr verläuft. Gleichwohl ist der Heizstab eines Heizelementes gemäß der vorliegenden Erfindung in aller Regel auch dicker als die Heizdrähte bei herkömmlichen Heizelementen mit gleichem Rohrquerschnitt und bei einem in der Heizleistung insgesamt vergleichbaren Heizelement nach dem Stand der Technik.

[0020] Idealerweise ist der Heizstab möglichst genau im Zentrum des Rohres angeordnet, wobei der Außenquerschnitt des Heizstabes mit der Form des Innenquerschnitts des Rohres im Wesentlichen übereinstimmt, was im Ergebnis dazu führt, dass der Ringspalt zwischen Heizstab und Innenwand des Rohres eine im wesentlichen konstante Breite hat. Eventuell könnten aber die Innenfläche des Rohres und/oder die Außenfläche des Heizstabes auch strukturiert sein, d.h. beispielsweise eine in Längsrichtung des Stabes und des Rohres verlaufende Rippen- oder Rillenstruktur aufweisen, die auch einen kleinen Drallwinkel aufweisen kann. Solche ober-

flächliche Strukturen können bei gegebener Ringspaltbreite den Bereich der laminaren Strömung gegebenenfalls zu größeren Gasstromraten hin erweitern.

[0021] Die konkrete Breite des Ringspaltes stellt dabei immer einen Kompromiss zwischen maximaler Wärmeenergieübertragung und Druckverlust bei gewünschter Gasstromrate dar. Das heißt, je enger der Ringspalt ist, desto effektiver ist die Wärmeübertragung von dem Heizstab auf das zwischen Heizstab und Rohr strömende Gas, wobei ein enger Spalt jedoch auch den Gasstrom begrenzt und/oder eine große Druckdifferenz zwischen Einlass und Auslass erfordert.

[0022] Darüber hinaus hängt die sinnvolle Breite des Ringspaltes aber auch von der Länge des Rohres und auch von der im Heizstab umgesetzten elektrischen Heizleistung ab.

[0023] In einer konkreten Ausführungsform beträgt die durchschnittliche Breite des Ringspaltes etwa 0,1 mm, in einem anderen Beispiel 0,2 mm wobei es aber nicht immer gelingt, den Heizstab wirklich konzentrisch in einem Rohr anzuordnen, sodass die Ringspaltbreite zumindest an einigen axialen Positionen in Umfangsrichtung zwischen Null und dem Doppelten der durchschnittlichen Ringspaltbreite variieren kann.

[0024] In einer Ausführungsform sind deshalb an einigen Positionen entlang des Umfangs und/oder über die Länge verteilt Abstandhalter vorgesehen, die den Heizstab in dem Rohr zentrieren. Die Abstandhalter können mit dem Heizstab oder dem Rohr einstückig ausgebildet sein und sind insbesondere so gestaltet, dass sie den Gasstrom zwischen Heizstab und Rohr möglichst wenig behindern. Die Abstandhalter bestehen vorzugsweise aus hitzebeständiger Keramik und sind idealerweise über die Rohrgeometrie realisiert.

[0025] Idealerweise werden Heizstab und Rohr koaxial zueinander angeordnet, d. h. ihre Achsen fallen zusammen.

[0026] Dabei müssen der Heizstab und das Rohr aber keineswegs einen kreisförmigen Querschnitt haben, sie könnten beispielsweise auch den Querschnitt eines vorzugsweise gleichseitigen Polygons haben und es könnte beispielsweise auch ein Rohr mit sechseckigem oder achteckigem Querschnitt oder Außenkontur, das einen zylindrischen Heizstab aufnimmt. Insbesondere eine quadratische oder sechseckige Außenkontur der Rohre ermöglicht eine sehr kompakte Anordnung des Rohrbündels und einen dadurch resultierende minimale Bypass-Strömung zwischen den Rohren.

[0027] In einer Ausführungsform der Erfindung ist eine Mehrzahl von parallelen Rohren zu einem Rohrpaket zusammengefasst und der Heizstab, genauer gesagt die Heizstäbe der einzelnen Rohre des Rohrpaketes haben die Form eines mäanderförmig durch die Rohre hindurchgeführten Heizdrahtes, der am Ende eines Rohres eingeführt wird und von der Austrittseite dieses Rohres durch ein benachbartes Rohr wieder zurückgeführt wird usw. Dabei ist die Anzahl der Rohre, durch die ein einzelner Heizdraht als Heizstab hindurchgeführt ist, vor-

zugsweise gerade, sodass der Heizstab in Form eines durch die Vielzahl von Rohren hin- und her-verlaufenden Drahtes auf der gleichen Seite wie das Eintrittsende parallel zu diesem austritt und somit an einem Ende des Rohrpaketes mit entsprechenden elektrischen Anschlusskontakten verbunden werden kann. Es versteht sich, dass ein Rohrpaket aus mehreren Gruppen von Rohren bestehen kann, die jeweils von einem einzigen zusammenhängenden Heizdraht durchzogen werden. Sollte es die elektrische Anschlussleistung erfordern, hat sich eine Aufteilung in mehrere elektrische Zonen bewährt, welche eine Konnektierung in Dreieck- oder Sternschaltung ermöglichen.

[0028] Zweckmäßigerweise ist eine dichte Packung solcher Rohre in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet, wobei zwischen der Gehäusewand und der Außenseite der dichten Packung aus einzelnen Rohren zusätzlich noch Isolationsmaterial angeordnet ist.

[0029] Das Isoliermaterial ist vorzugsweise ein hochtemperaturbeständiges, keramisches Material, das eine ausreichende Stabilität zur Herstellung von formstabilen Rohren aufweist. Zwischen mehreren parallelen Rohren, die zu einem Paket zusammengefasst sind, kann ein hochtemperaturbeständiges keramisches Isoliermaterial angeordnet werden, wie es von der Anmelderin unter der Markenbezeichnung "Fibrothal" vertrieben wird.

[0030] Statt nebeneinander können auch mehrere der erfindungsgemäßen Heizelemente und entsprechende Pakete aus Heizelementen axial hintereinander angeordnet werden.

[0031] Die Rohre sollten aus einer isolierenden und hochtemperaturbeständigen Keramik bestehen, wofür insbesondere Aluminiumoxid (Al_2O_3) in Betracht kommt.

[0032] Der Heizstab besteht vorzugsweise aus einer Eisen-Chrom-Aluminiumlegierung oder aus einer Nickel-Chrom-Eisen-Legierung. Gegebenenfalls könnte insbesondere ein dickerer Heizstab auch seinerseits aus einem Bündel paralleler, gegebenenfalls auch miteinander verdrehter Einzelstäbe bzw. Drähte bestehen, wobei bei einer solchen Ausführungsform der oben definierte lichte Abstand durch den lichten Abstand einer Einhüllenden des Bündels aus Stäben oder Drähten zu der Innenwand des Rohres definiert ist.

[0033] Der Heizstab kann einen Durchmesser im Bereich von 0,2 bis 50 mm, vorzugsweise zwischen 0,5 und 10 mm haben.

[0034] Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung werden deutlich anhand der folgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform und der dazugehörigen Figuren.

[0035] Es zeigen:

- Figur 1 eine stirnseitige Draufsicht auf ein Heizelement, welches aus einem Bündel von Rohren mit hindurchgeführten Heizstäben besteht.
 Figur 2 eine Seitenansicht des Heizelementes nach Figur 1,
 Figur 3 eine Schnittansicht mit einem Schnitt entlang

der Längsachse eines kompletten Prozessheizers mit einem erfindungsgemäßen Heizelement und einem Gehäuse mit Anschlüssen für Gas und Strom sowie einer Isolierung, eine Stirnansicht von links auf den Prozessheizer nach Figur 3.

- 5 Figur 4
 Figur 5 einen Schnitt durch ein Heizelement gemäß Figur 1 und 2 und
 10 Figur 6 nochmals schematisch einen Prozessheizer mit der Lage der Schnittlinie der Figur 5

[0036] Man erkennt in Figur 1 eine dichte Packung von Rohren 1 in hexagonaler Anordnung, durch welche Heizstäbe 2 hindurchgeführt sind. Die Rohre 1 bestehen aus Aluminiumoxid-Keramik und haben einen Innendurchmesser von etwa 1,7 mm, sowie einen Außendurchmesser von etwa 2,7 bis 2,8 mm, woraus sich eine Wandstärke der Rohre 1 von etwa 0,5 bis 0,55 mm ergibt. Die Heizstäbe werden hier durch einen kontinuierlichen Heizdraht mit einem Durchmesser von etwa 1,5 mm gebildet, der abwechselnd in jeweils entgegengesetzter Richtung durch eine Vielzahl der Rohre dieses Rohrpaketes hindurchgeführt ist, wobei der mit 2a markierte Heizstab die Einführseite des Heizdrahtes in das Rohr 1 a markiert, der dann durch das Rohr 1 b wieder zurückgeführt, in das Rohr 1c wieder eingeführt und auf diese Weise durch eine Vielzahl von Rohren und im Wesentlichen parallel zu deren Achse hindurchgeführt wird, bis schließlich das Ende des Drahtes in Form des Heizstabes 2z durch das Rohr 1 z wieder austritt.

[0037] Einige der Rohre sind Leerrohre 3, welche z. B. der Aufnahme von Thermoelementen oder sonstigen Thermometern dienen, während das zentrale Rohr beispielsweise eine Zentrierung 4 aufweisen kann, mit deren Hilfe das aus dem Rohrpaket und dem hindurchgeführten Heizdraht bestehende Heizelement 10 in dem Gehäuse eines Prozessheizers zentriert werden kann.

[0038] Figur 2 ist eine Seitenansicht des Paketes bzw. der hexagonalen Packung von Rohren gemäß Figur 1.

[0039] Die Länge l der Rohre 1 beträgt beispielsweise zwischen 150 und 500 mm, während die Länge L des gesamten Heizelementes 10 (ohne die überstehenden Anschlussenden 2a und 2z) bei den hier angegebenen Maßen von Rohren 1 und Heizstäben 2 um etwa 4-5 mm größer ist.

[0040] Figur 3 zeigt einen kompletten Prozessheizer 100 mit einem rohrförmigen Gehäuse 6, einem Gaszufuhrrohr 7, einer Gasaustrittsdüse 9 mit Austrittsrohr 8 und einem Befestigungsflansch 13, der seinerseits an einem Stromzufuhrflansch 14 montiert ist.

[0041] Das Gaszufuhrrohr 7 mündet in einen zylindrischen Hohlraum 18, durch den sich auch zwei parallele Stromanschlussrohre 16 erstrecken, von denen in der Seitenansicht der Figur 3 nur eines erkennbar ist. Die Stromanschlussrohre bilden eine Durchführung für die Verbindung der Drahtenden 2a und 2z mit elektrischen Anschlusskontakten an dem elektrischen Anschlussflansch 14. Das Heizelement 10, welches aus einem

Rohrpaket beispielsweise gemäß Figur 1 und 2 besteht, ist im Zentrum des rohrförmigen Gehäuses 6 aufgenommen, wobei zwischen der Innenwand des rohrförmigen Gehäuses 6 und dem Heizelement 10 ein hochtemperaturbeständiges, keramisches Isoliermaterial 17 angeordnet ist, welches typischerweise aus zwei das Heizelement 10 von gegenüberliegenden Seiten her umschließenden Halbschalen 17a, 17b (siehe Figur 5) besteht, deren Innenkontur der Außenkontur des Heizelementes 10 angepasst ist.

[0042] Alternativ können die Halbschalen auch gemeinsam ein einfaches zylindrisches Rohr bilden, wobei dann die verbleibenden Zwischenräume zwischen dem Heizelement 10 mit in loser Faserverbundform vorliegenden Isoliermaterial ausgestopft werden, welches im Übrigen auch die Zwischenräume zwischen den Rohren 1, 3 ausfüllt.

[0043] Als Alternative zu dem Stopfen der Rohrzischenräume könnte die Gaseintrittsseite des Heizelementes 10 auch eine entsprechende gelochte, kreisförmige Abdeckscheibe aufweisen, deren Durchmesser dem maximalen Außendurchmesser des Rohrpaketes des Heizelementes 10 entspricht und welche Bohrungen nur an der Position der Rohre bzw. der Rohröffnungen aufweist und damit die gesamte Stirnseite der Rohrpäckung mit Ausnahme der Bohrungen abdeckt, bevor der Heizdraht durch die Rohre hindurchgeführt wird. Eine solche Abdeckscheibe könnte aus demselben keramischen Isoliermaterial bestehen, wie es auch für die Halbschalen 17a, 17b zwischen Gehäuse und Heizelement 10 verwendet wird und welches von der Anmelderin unter dem Markennamen "Fibrothal" vertrieben wird. Die Enden 2a und 2z des Heizdrahtes bzw. der Heizstäbe 2 werden durch die isolierenden Verbindungsrohre 16 mit äußeren elektrischen Anschlüssen 12 verbunden, die über eine Klemmringverschraubung 11 an dem Zufuhrflansch 14 montiert sind.

[0044] Die hier dargestellte Variante eines Prozessheizers ist bei einem Heizstab- bzw. Heizdrahtdurchmesser von ca. 1,5 mm für eine Heizleistung von 3,5 kW ausgelegt, wobei der lichte innere Rohrdurchmesser zwischen etwa 1,7 und 2,2 mm liegen kann und wobei der Heizdraht bzw. die Heizstäbe aus einer Eisen-Chrom-Aluminium-Legierung bestehen. Geeignete Heizdrähte werden von der Anmelderin unter anderem unter der Markenbezeichnung "NICROTHAL" vertrieben. Es versteht sich, dass man entsprechende Prozessheizer beliebig dimensionieren kann, sodass sich der Leistungsbereich zwischen einigen Watt oder einigen 100 Watt und 100 oder mehr Kilowatt erstrecken kann.

[0045] Das zu erhitzende Gas wird durch den Anschluss 7 zugeführt und gelangt in einem im Wesentlichen zylindrischen Vorraum 18, der ansonsten noch von den beiden isolierenden Rohren 16 der Stromverbindung durchzogen ist und strömt in die offenen Ringspalte 5 zwischen den Rohren 1 und den Heizdrähten 2 hinein und durch die Rohre hindurch, um dann über die Düse 9 und das Austrittsrohr 8 aus dem Prozessheizer auszu-

treten.

[0046] Es versteht sich, dass man mehrere Heizelemente bzw. Prozessheizer auch axial hintereinander schalten kann.

[0047] Figur 4 ist schließlich noch eine stirnförmige Ansicht auf den Prozessheizer nach Figur 3 von links, wobei man wiederum die Düse 9 mit dem Austrittsende 8 erkennt, ebenso wie das Gehäuse 6, das Gaszufuhrrohr 7 und den Anschlussflansch 13.

Bezugszeichenliste

[0048]

1	Rohr
2	Heizstäbe, Heizdraht
2a, 2z	Enden des Heizdrahtes bzw. der Heizstäbe
3	Leerrohr
4	Zentrierung
5	Ringspalte
6	Gehäuse
7	Gaszufuhrrohr
8	Austrittsrohr
9	Düse
10	Heizelement
11	Klemmringverschraubung
12	elektrische Anschlüsse
13	Befestigungsflansch
14	Zufuhrflansch
16	Stromanschlussrohre/Verbindungsrohre
17a, 17b	Halbschalen
18	Vorraum

Patentansprüche

1. Heizelement zum Erhitzen von Gasen auf hohe Temperaturen, mit mindestens einem für die Durchströmung von zu erhitzendem Gas eingerichteten Rohr (1) und einem elektrischen Heizdraht in dem Rohr, welches für die Übertragung von Wärme auf an dem Heizdraht vorbeiströmendes Gas ausgelegt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Heizdraht als sich entlang der Rohrachse erstreckender Heizstab (2) ausgebildet ist, dessen maximaler lichter Abstand zu der Innenwand des Rohres über mindestens 80% des Umfanges und/oder mindestens 80% der Überlappungslänge von Rohr und Heizstab einen Wert von 10 mm nicht übersteigt, wobei das Verhältnis des Querschnittes des Heizstabes zum Innenquerschnitt des Rohres im Bereich zwischen 0,04 und 0,95 liegt.
2. Heizelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis des Querschnittes des Heizstabes zum Innenquerschnitt des Rohres im Bereich zwischen 0,3 und 0,8 liegt.

3. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Heizstab einen Durchmesser im Bereich von 0,2 bis 50 mm, vorzugsweise zwischen 0,5 und 10 mm hat.
4. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der maximale lichte Abstand zwischen dem Heizstab und der Innenwand des Rohres 0,02 und 5 mm beträgt.
5. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der lichte Abstand zwischen Heizstab und Innenwand des Rohres durch einen über die Überlappungslänge und den Umfang hinweg im Wesentlichen konstanten Ringspalt definiert ist.
6. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der lichte Abstand bzw. die Breite des Ringspaltes im Bereich 0,05 bis 1 mm, vorzugsweise im Bereich zwischen 0,1 und 0,5 mm liegt.
7. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Heizstab sich als kontinuierlicher, massiver Heizdraht mäandernd durch eine Mehrzahl paralleler Rohre erstreckt.
8. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Mehrzahl paralleler Rohre mit Heizstäben aufweist, die vorzugsweise in einer dichten Packung nebeneinander angeordnet sind.
9. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Rohr aus Aluminiumoxid besteht.
10. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Heizstab aus einer Eisen-Chrom-Aluminium-Legierung oder Nickel-Chrom-Legierung besteht.
11. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Heizstab seinerseits aus einem Bündel paralleler, gegebenenfalls auch miteinander verdrehter Einzelstäbe bzw. Drähte besteht, wobei der lichte Abstand durch den lichten Abstand einer Einhüllenden des Bündels zu der Innenwand des Rohres definiert ist.
12. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Heizstab und Rohrwand Abstandhalter vorgesehen sind, welche sich vorzugsweise aus der Rohrgeometrie ergeben.

13. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Innenfläche des Rohres strukturiert ist,

- 5 14. Heizelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zwischenraum zwischen mehreren Rohren und zwischen Rohren und Gehäuse durch ein hochtemperaturbeständiges, keramisches Fasermaterial ausgefüllt und abgedichtet ist.

- 10 15. Prozessheizer mit einem Gehäuse, mit einer Gaszufuhr und einem Gasauslass, einem Heizraum zwischen Gaszufuhr und Gasauslass und elektrischen Anschlüssen für mindestens ein elektrisches Heizelement, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Heizraum mindestens ein Heizelement nach einem der Ansprüche 1 bis 14 aufweist.

Claims

1. Heating element for heating gas to high temperatures and comprising at least one tube (1) designed for the through-flow of gas to be heated and an electrical heating wire within said tube, which is designed for the transfer of heat to the gas passing along the heating wire, **characterized in that** the heating wire is formed as a heating rod (2) extending along the tube axis, the maximum clearance of which to the inner wall of the tube does not exceed an amount of 10 mm for at least 80 % of the extent and/or at least 80 % of the overlapping length of the tube and the heating rod, wherein the ratio of the diameter of the heating rod to the inner diameter of the tube is in the range of between 0.04 and 0.95.
2. Heating element according to claim 1, **characterized in that** the ratio of the diameter of the heating rod to the inner diameter of the tube is in the range of between 0.3 and 0.8.
3. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the heating rod has a diameter in the range of between 0.2 and 50 mm, preferably between 0.5 and 10 mm.
4. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the maximum clearance between the heating rod and the inner wall of tube is between 0.02 and 5 mm.
5. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the clearance between the heating rod and the inner wall of the tube is defined by an annular gap which is in general constant over the overlapping length and the extent.

6. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the clearance or the width, respectively, of the annular gap is in the range of between 0.05 and 1 mm, preferably in the range of between 0.1 and 0.5 mm. 5
7. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the heating rod extends through a plurality of parallel tubes as a continuous massive heating wire. 10
8. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** it comprises a plurality of parallel tubes having heating rods, which are preferably arranged in a close packing next to each other. 15
9. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the at least one tube consists of aluminium oxide. 20
10. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the heating rod consists of an iron chromium aluminium alloy or a nickel chromium alloy. 25
11. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the heating rod itself consists of a bundle of parallel single rods or wires, respectively, optionally twisted with each other, wherein the clearance is defined by the clearance of the envelope surface of the bundle to the inner wall of the tube. 30
12. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** spacers are provided between the heating rod and the tube wall, which preferably result from the tube geometry. 35
13. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the inner surface of the tube is structured. 40
14. Heating element according to one of the preceding claims, **characterized in that** the space between a plurality of tubes and between the tubes and the housing is filled in and sealed by a high-temperature resistant ceramic fibre material. 45
15. Process heater having a housing, which comprises a gas supply and a gas discharge, a heating chamber between the gas supply and the gas outlet and electrical connections for at least one electrical heating element, **characterized in that** the heating chamber comprises at least one heating element according to one of claims 1 to 14. 50

Revendications

1. Élément chauffant pour le chauffage de gaz à de hautes températures, avec au moins un tube (1) conçu pour l'écoulement d'un gaz à chauffer et un fil chauffant électrique dans le tube, qui est conçu pour la transmission de la chaleur sur un gaz passant sur le fil chauffant, **caractérisé en ce que** le fil chauffant est conçu comme une tige chauffante (2) s'étendant le long de l'axe du tube, dont l'écartement maximal par rapport à la paroi interne du tube ne dépasse pas, sur au moins 80 % de la circonférence et/ou au moins 80 % de la longueur de superposition du tube et de la tige chauffante, une valeur de 10 mm, le rapport entre la section transversale de la tige chauffante et la section transversale interne du tube étant entre 0,04 et 0.95.
2. Élément chauffant selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le rapport entre la section transversale de la tige chauffante et la section transversale interne du tube est entre 0,3 et 0,8.
3. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la tige chauffante a un diamètre de l'ordre de 0,2 à 50 mm, de préférence entre 0,5 et 10 mm.
4. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'écartement maximal entre la tige chauffante et la paroi interne du tube est entre 0,02 et 5 mm.
5. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'écartement entre la tige chauffante et la paroi interne du tube est défini par un interstice annulaire globalement constant sur la longueur de superposition et sur la circonférence.
6. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'écartement ou la largeur de l'interstice annulaire est de l'ordre de 0,05 à 1 mm, de préférence de l'ordre de 0,1 à 0,5 mm.
7. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la tige chauffante s'étend en zigzag à travers une pluralité de tubes parallèles sous la forme d'un fil chauffant massif continu.
8. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend une pluralité de tubes parallèles avec des tiges chauffantes qui sont disposées de préférence de manière compacte les uns à côté des autres.

9. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'au moins un tube est constitué d'oxyde d'aluminium.
10. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la tige chauffante est constituée d'un alliage fer-chrome-aluminium ou d'un alliage nickel-chrome. 5
11. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la tige chauffante est constituée d'un faisceau de tiges individuelles ou de fils parallèles, le cas échéant torsadés entre eux, l'écartement étant défini par l'écartement entre une enveloppe du faisceau et la paroi interne du tube. 10 15
12. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, entre la tige chauffante et la paroi du tube, se trouvent des entretoises qui dépendent de préférence de la géométrie du tube. 20
13. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la surface interne du tube est structurée. 25
14. Élément chauffant selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'espace intermédiaire entre plusieurs tubes et entre les tubes et le boîtier est rempli et étanchéifié par un matériau à fibres céramiques résistant aux hautes températures. 30
15. Dispositif de chauffage de process avec un boîtier, avec une alimentation en gaz et une sortie de gaz, un espace de chauffage entre l'alimentation en gaz et la sortie de gaz et des branchements électriques pour au moins un élément chauffant électrique, **caractérisé en ce que** l'espace de chauffage comprend au moins un élément chauffant selon l'une des revendications 1 à 14. 35 40

45

50

55

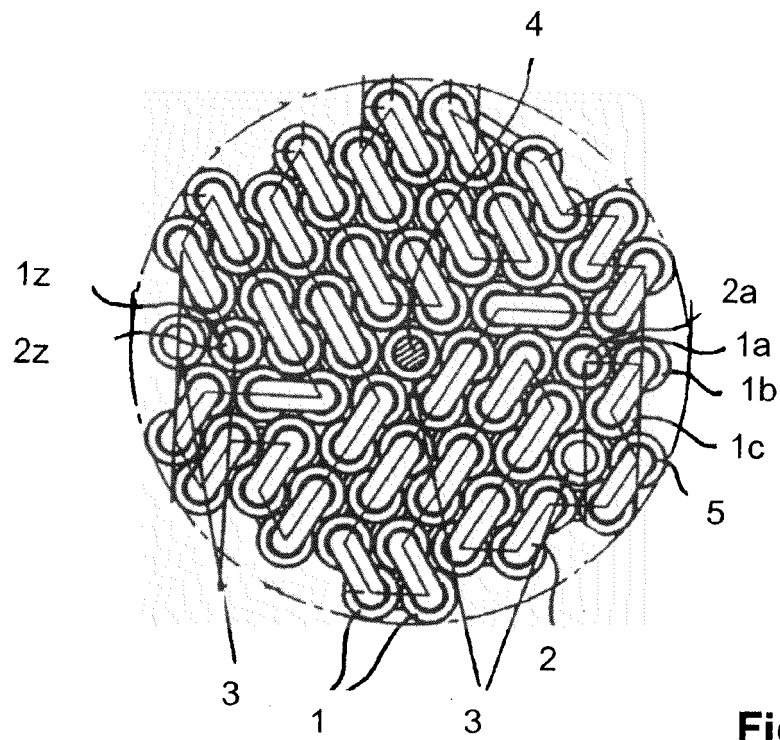


Fig. 1

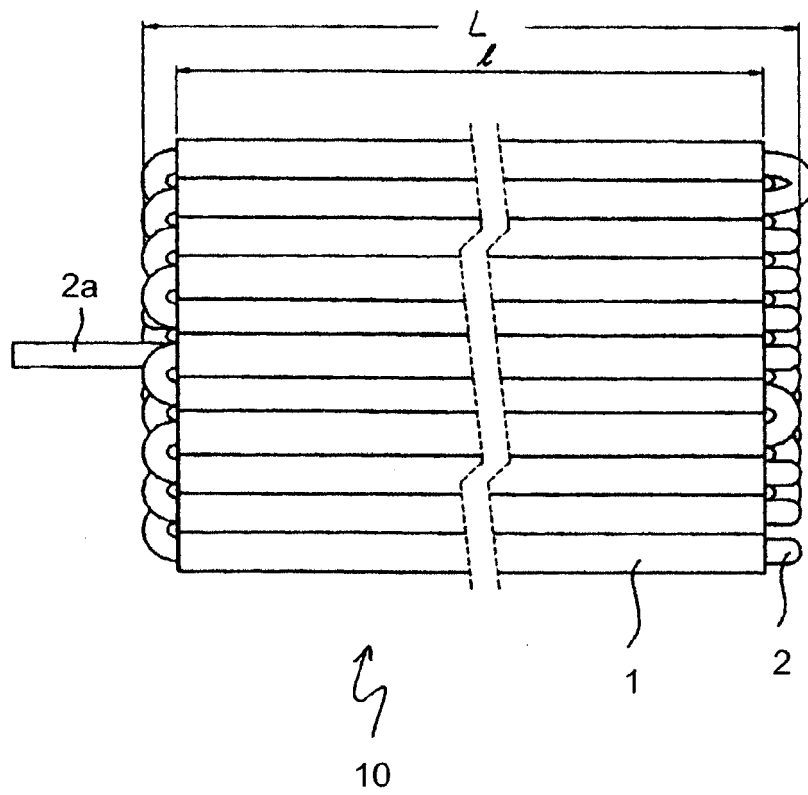


Fig. 2

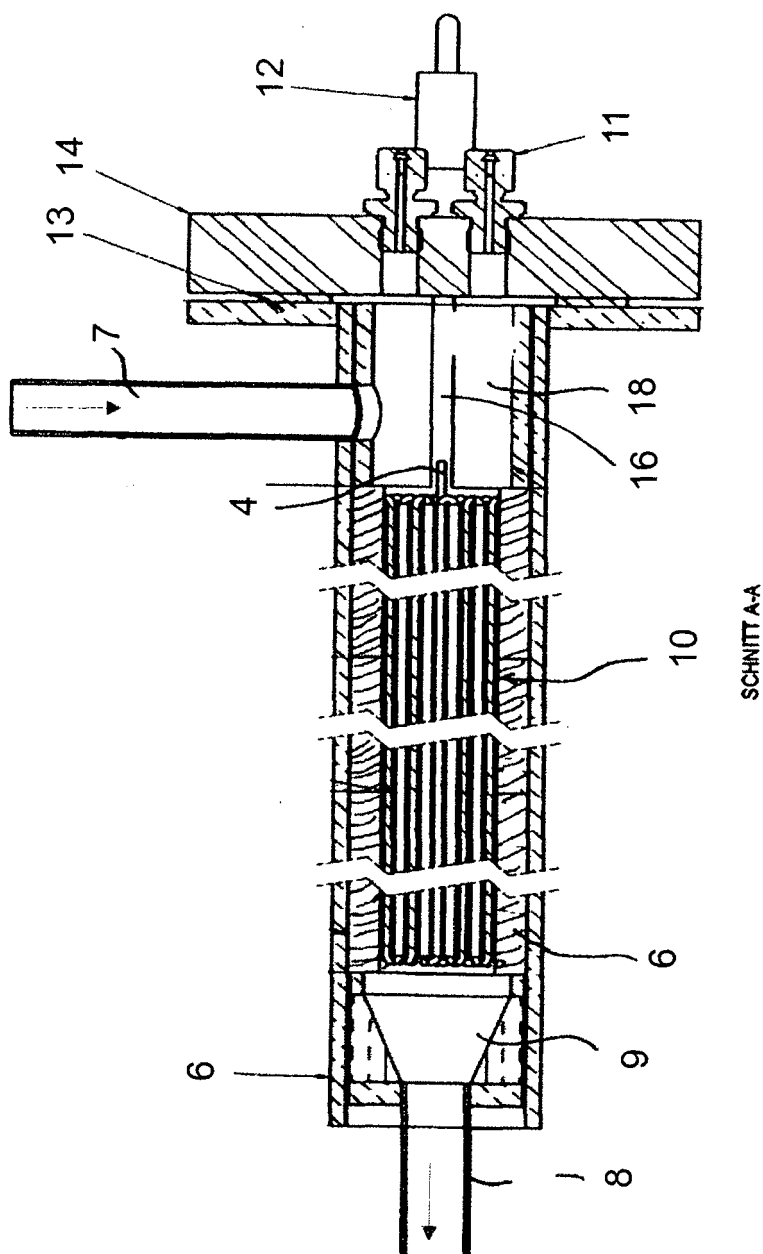


Fig. 3

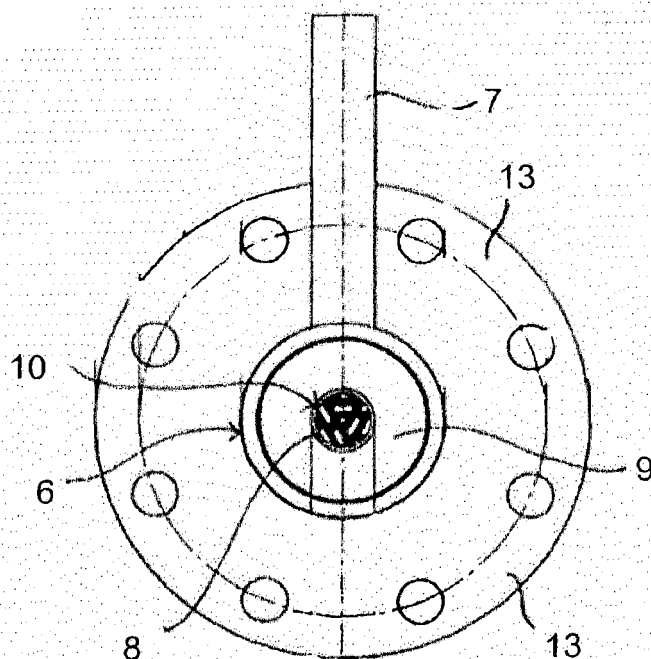


Fig. 4

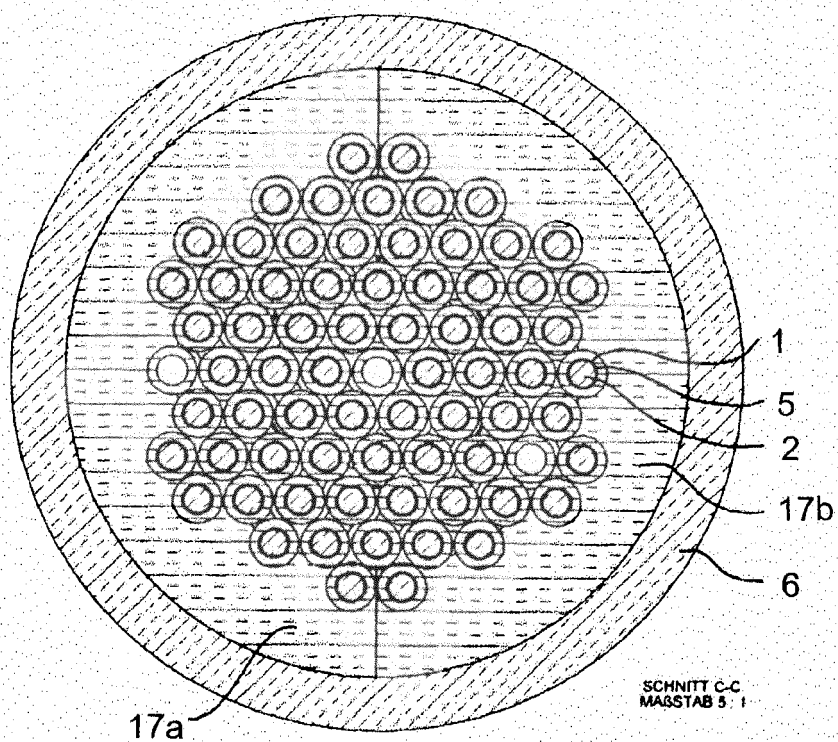


Fig. 5

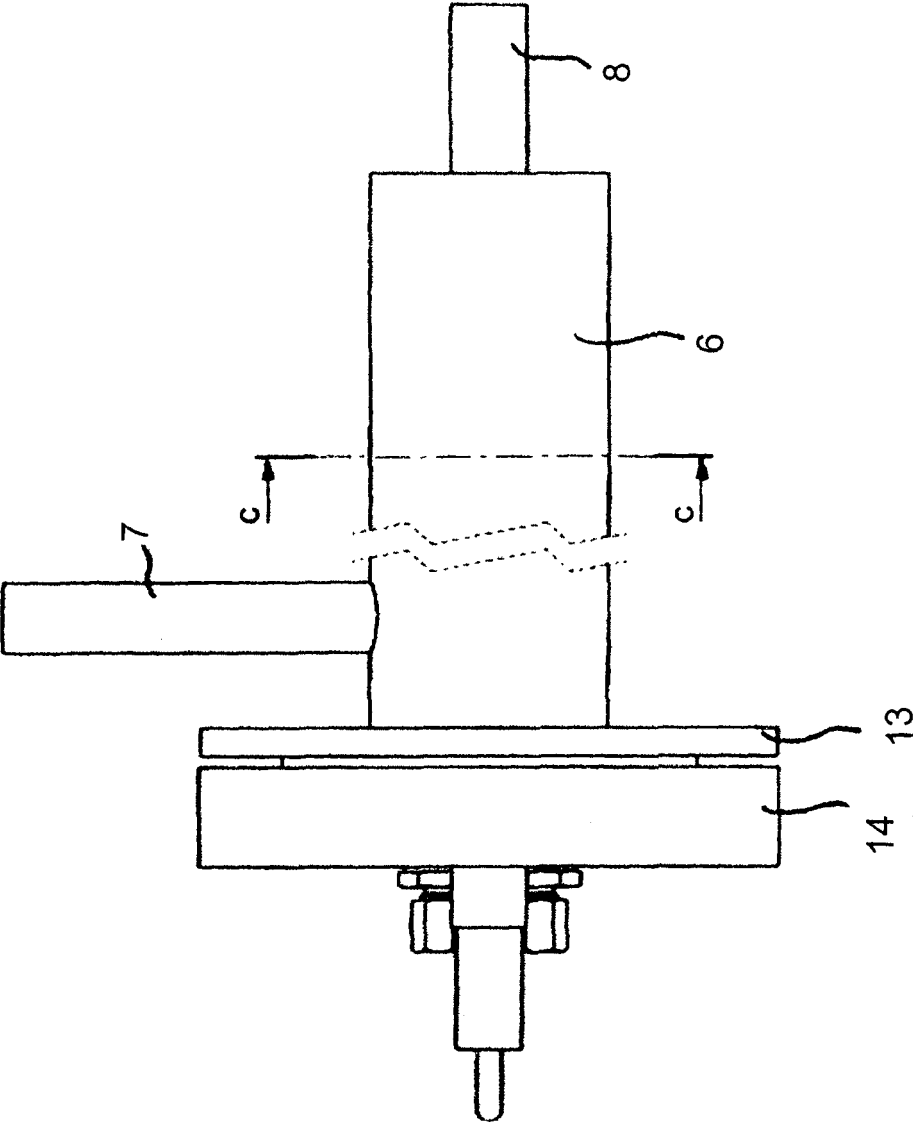


Fig. 6

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 1615278 A1 [0003]
- US 4877990 A [0006]