

(19)



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets



(11)

EP 2 618 070 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
24.07.2013 Patentblatt 2013/30

(51) Int. Cl.:  
F24H 3/04 (2006.01)  
H05B 3/14 (2006.01)

C23C 24/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 12002883.2

(22) Anmeldetag: 24.04.2012

(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

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA ME

(30) Priorität: 17.01.2012 DE 102012000817

(71) Anmelder: Linde Aktiengesellschaft  
80331 Munich (DE)

(72) Erfinder:

- Binder, Kurt  
50996 Köln (DE)

- Gärtner, Frank, Dr.  
22119 Hamburg (DE)
- List, Alexander  
01259 Dresden (DE)
- Klassen, Thomas, Prof. Dr.  
21465 Wentorf (DE)
- Németh, Norbert  
22119 Hamburg (DE)
- Kreye, Heinrich, Prof. Dr.  
22175 Hamburg (DE)
- Heinrich, Peter  
82110 Germering (DE)
- Krömmer, Werner  
84034 Landshut (DE)

### (54) Gasheizvorrichtung, Gasheizeinrichtung sowie Anordnung zum thermischen Spritzen mit zugehörigem Verfahren

(57) Eine Heizvorrichtung (10) zur Erwärmung eines Gasstroms (G), insbesondere einer Kaltgasspritzeneinrichtung (100), wird vorgeschlagen, die einen mit einem Heizstrom erwärmbaren und mit dem Gasstrom (G)

durchströmhbaren Graphitfilz (11) aufweist. Auch eine entsprechende Heizeinrichtung (20), eine Anordnung (100) zum thermischen Spritzen sowie ein Verfahren (1) sind Gegenstand der Erfindung.

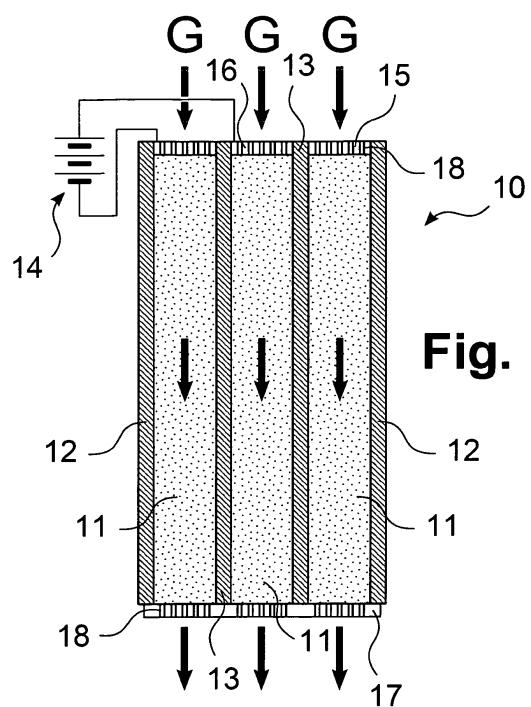


Fig. 1a

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Gasheizvorrichtung, eine Gasheizeinrichtung sowie eine Anordnung zum thermischen Spritzen und ein zugehöriges Verfahren gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

**[0002]** Kaltgasspritzen ist bekannt. Beim Kaltgasspritzen werden metallische Spritzpartikel von 1 bis 250 µm in einem Gasstrom auf Geschwindigkeiten von 200 bis 1600 m/s beschleunigt und auf ein Substrat gespritzt. Hierzu wird in der Regel eine Lavalddüse verwendet. Die Spritzpartikel werden zuvor nicht aufgeschmolzen. Beim Aufprall auf das Substrat bildet sich durch plastische Verformung eine Beschichtung aus. Hierzu muss eine Mindestaufprallgeschwindigkeit, die sogenannte kritische Geschwindigkeit, welche unter anderem von der Beschaffenheit und der Temperatur der Spritzpartikel abhängt, überschritten werden.

**[0003]** Durch ein Aufheizen des Gasstroms können auch die Spritzpartikel erwärmt werden. Dies führt zu einer thermischen Erweichung und Duktilisierung, wodurch sich die kritische Geschwindigkeit verringert. Durch ein Aufheizen kann ferner die Schallgeschwindigkeit des Gases, und damit die Strömungsgeschwindigkeit in der Düse, und somit auch die Geschwindigkeit der Spritzpartikel beim Aufprall, gesteigert werden. Durch eine Erhöhung der Temperatur des Gasstroms wird damit also sowohl die Temperatur als auch die Geschwindigkeit der Spritzpartikel beim Aufprall erhöht. Beides wirkt sich positiv auf den Auftragswirkungsgrad und Schichtqualität aus. Wenngleich die Temperatur des Gasstroms beim Kaltgasspritzen unter der Schmelztemperatur der Spritzpartikel bleibt, also im Vergleich zu anderen Spritzverfahren ein "kalter" Gasstrom verwendet wird, wird daher auch beim Kaltgasspritzen der Gasstrom aufgeheizt.

**[0004]** Der Gasdruck, der zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit der Spritzpartikel ebenfalls gesteigert werden kann, ist anlagentechnisch üblicherweise auf 30 bis 50 bar begrenzt. Gase, wie der beim Kaltgasspritzen häufig verwendete Stickstoff, werden häufig mit einer Temperatur von einigen Hundert Grad Celsius in die Düse eingeleitet. Dabei kann es notwendig werden, die aus Stahl oder Hartmetall bestehenden Düsen zu kühlen.

**[0005]** Bei bekannten Gasheizvorrichtungen wird ein Gas z.B. dadurch erhitzt, dass es durch ein längliches, in Form einer Spule bzw. Spirale bereitgestelltes, resistiv erhitzen Rohr aus hitzebeständigem Material, z.B. einer Nickellegierung wie Inconel, geleitet wird.

**[0006]** Alternativ dazu können auch sogenannte Filamentheizer verwendet werden. In diesen sind zu Heizwendeln bzw. -spiralen geformte, dünne Drähte aus einer hitzebeständigen Metalllegierung, z.B. aus Kanthal (einer Fe-Cr-Al-Legierung), in einer größeren Anzahl parallel ausgerichteter Keramikrohre angeordnet. Die Drähte werden üblicherweise resistiv erhitzt. Das zu erhitzen Gas wird durch die Keramikrohre geleitet und strömt außen an den erhitzten Drähten entlang. Die DE

10 2005 053 731 A1 offenbart eine entsprechende Filamentheizung mit einer Hitzeisolierung.

**[0007]** Die vorliegende Erfindung schlägt eine Gasheizvorrichtung, eine Gasheizeinrichtung sowie eine Anordnung zum thermischen Spritzen und ein entsprechendes Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird eine Heizvorrichtung zur Erwärmung eines Gasstroms, insbesondere einer Vorrichtung oder Einrichtung zum thermischen Spritzen und speziell einer Kaltgasspritzeinrichtung, vorgeschlagen, die einen mit einem elektrischen Heizstrom erwärmhbaren und mit dem Gasstrom durchströmbaren Graphitfilz aufweist. Erfindungsgemäß wird damit ein neuartiger Gasheizer geschaffen, dessen Heizelement aus Graphit besteht. Graphit ist unter sauerstofffreien Bedingungen, wie sie in entsprechenden Spritzverfahren vorliegen, bei Temperaturen bis zu 2200 °C hitzebeständig.

**[0009]** Die Verwendung von Graphit als Heizelement in unterschiedlichen geometrischen Formen ist an sich bekannt. Hierbei wird Graphit jedoch stets als Massivmaterial verwendet. Daher ist die Kontaktfläche zwischen dem Graphit und dem zu erhitzen Medium, beispielsweise einem Gas, einer Schmelze oder einem Festkörper, nur relativ gering. Gemäß dem Stand der Technik werden entsprechend lediglich Kontaktflächen von 0,1 bis 0,5 m<sup>2</sup> erzielt. Ein strömendes Gas, das nur sehr kurze Zeit in Kontakt mit der Oberfläche steht, würde sich hier nur geringfügig erwärmen.

**[0010]** Weil Graphit andererseits aber im Gegensatz zu den genannten Werkstoffen für metallische Heizleiter in Filamentheizern nicht verformbar ist, lassen sich hieraus keine Rohre oder dünne Drahtwendel herstellen, die anstelle von Metalllegierungen in den derzeit bekannten Hochdruckgaserhitzern eingesetzt werden könnten.

**[0011]** Erfindungsgemäß wird dieses Problem durch die bereits erwähnte Verwendung des Graphitfizes gelöst. Hierdurch wird eine Vorrichtung zur Erwärmung eines Gasstroms, insbesondere zur Hochdruckgaserhitzung, geschaffen, die mit hohen Drücken und bei hohen Temperaturen arbeiten kann. So werden Temperaturen, auf welche das Gas erhitzt wird, von über 1000 °C, ja

45 von mehr als 1200 °C und sogar von mehr als 1500 °C möglich. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist geeignet, um beispielsweise beim Kaltgasspritzen Stickstoff auf Temperaturen von deutlich mehr als 1000 °C aufzuheizen. Die Obergrenze für die Erwärmung liegt materialbedingt bei circa 2000 °C. Als Gase werden mit besonderen Vorteilen Stickstoff und Helium sowie deren Gemisch eingesetzt. Es ist es aber auch möglich, andere Gase und Gasmischungen, wie beispielsweise Argon oder auch andere Gasgemische, die keinen Sauerstoff enthalten, zu verwenden.

**[0012]** Graphitfize bestehen aus dünnen Fäden aus Graphit, die sich zusammengeknäult berühren. Wird bei geeigneter Kontaktierung eine elektrische Spannung an

einen Graphitfilz angelegt, fließt trotz der Unterbrechung der Fäden ein Strom, weil dieser sich auch über die Kontaktstellen der Fäden ausbreiten kann. Ein Graphitfilz erwärmt sich daher in seiner Gesamtheit im Stromdurchgang und kann daher ein Gas erhitzen, das durch den Graphitfilz strömt. Weil die Graphitfasern im Graphitfilz sehr dünn sind, ist die Oberfläche, über die die Wärme auf das Gas übertragen wird, insgesamt sehr groß.

**[0013]** In einem Heizelement, wie es in einer erfindungsgemäßen Heizvorrichtung zum Einsatz kommen kann, also einem Graphitfilz, beträgt die Oberfläche das mindestens 10-bis 100-fache der Heizfläche von momentan üblichen Heizern, z.B. an der Innenfläche eines widerstandsbeheizten Rohres oder an den Drahtwendeln eines Filamentheizers.

**[0014]** Besondere Vorteile können dadurch erzielt werden, dass eine Heizvorrichtung wenigstens zwei mit dem Gasstrom durchströmbare und mit dem durch einen Heizstrom erhitzbaren Graphitfilz gefüllte Kanäle aufweist. Hierdurch kann ein entsprechender Gasstrom gezielt mit dem Graphitfilz in Kontakt gebracht werden und der Heizstrom seine maximale Wirkung entfalten. Die gezielte Beaufschlagung der durchströmbaren Kanäle kann, wie auch unten näher erläutert, dadurch erzielt werden, dass in einem Einströmbereich einer entsprechenden Heizvorrichtung Gasverteilungseinrichtungen angeordnet werden. Diese können beispielsweise aus Doppelkegeln, aus Lochscheiben, Gittern, Führungsblechen oder divergierenden Einlaufstrecken bestehen. Wie ebenfalls unten näher erläutert, kann ein Strömungsverteilungselement gleichzeitig als Kontakteinrichtung und/oder Komprimierstruktur ausgebildet sein. Durch die Bereitstellung mehrerer Kanäle kann eine optimierte Gasströmung bewirkt werden.

**[0015]** Vorteilhafterweise können die genannten Kanäle wenigstens teilweise koaxial angeordnet und/oder als Keramikrohre ausgebildet sein. Durch eine entsprechende Ausgestaltung lassen sich auch austauschbare Heizkanäle herstellen, die, beispielsweise in Form einer Heizpatrone, in eine Druckkammer einer Heizeinrichtung eingesetzt werden können. Entsprechende Heizeinrichtungen lassen sich besonders gut warten, wobei bei Abnutzung und/oder Kontamination des Graphitfils ein Austausch vorgenommen werden kann.

**[0016]** Eine entsprechende Heizvorrichtung weist vorteilhafterweise Kontakteinrichtungen zum selektiven Kontaktieren der Kanäle mit dem Heizstrom auf. Die Kontakteinrichtungen können beispielsweise als massive Graphitplatten mit entsprechenden Kanälen bzw. Lochanordnungen, die damit gleichzeitig Strömungsverteilungselemente darstellen, ausgebildet sein. Gleichzeitig können entsprechende Kontakteinrichtungen einen Graphitfilz in den mit dem Gasstrom durchströmbaren Kanälen halten und/oder zusammendrücken.

**[0017]** Eine entsprechende Heizvorrichtung besitzt ferner vorteilhafterweise Mittel zur Bereitstellung eines Gleich-, Dreh- oder Wechselstroms als Heizstrom. Hierbei kann es sich im einfachsten Fall um einen geeigneten

Dreh- oder Wechselstromanschluss handeln. Auch eine Wechselstrom- oder Hochfrequenzheizung kann in bestimmten Einsatzgebieten vorteilhaft sein.

**[0018]** Eine entsprechende Heizvorrichtung weist zur Verbesserung ihrer Effizienz vorteilhafterweise wenigstens eine Komprimierstruktur auf, die bei einer Beaufschlagung durch den Gasstrom eine Komprimierung des Graphitfils bewirken kann. Im einfachsten Fall kann es sich hierbei um eine Lochplatte handeln, die stromaufwärts des Graphitfils in einer zylinderförmigen Heizeinrichtung angeordnet ist. Diese ist mit Löchern versehen, die derart dimensioniert sind, dass die Lochplatte dem Gasstrom einen gewissen Widerstand entgegensetzt. Wird eine derartige Lochplatte durchströmt, drückt sie auf den Graphitfilz und komprimiert diesen. Dies ermöglicht einen besseren elektrischen Kontakt zwischen den Fäden des Graphitfils sowie zwischen dem Graphitfilz und den Kontakteinrichtungen. Andererseits kann hierdurch der Strömungswiderstand, der durch den Graphitfilz auf den Gasstrom ausgeübt wird, erhöht werden, was eine längere Verweildauer des Gasstroms im Graphitfilz und damit eine effektivere Wärmeübertragung zur Folge hat.

**[0019]** Alternativ dazu kann die Heizvorrichtung auch ein im Wesentlichen starres Gerüst ausweisen, in welches der Graphitfilz eingebracht ist. Bei Beaufschlagung mit dem Gasstrom sorgt dieses starre Gerüst dann dafür, dass die Komprimierung des Graphitfils unterbunden oder zumindest stark vermindert wird, da das starre Gerüst dem Graphitfilz Halt und Struktur gibt. Als starres Gerüst ist insbesondere ein keramisches Gerüst geeignet.

**[0020]** Die Heizvorrichtung ist vorteilhafterweise als Teil einer Heizeinrichtung zu Erwärmung eines entsprechenden Gasstroms ausgebildet, die einen von dem Gasstrom durchströmbaren Druckbehälter aufweist. In dem Druckbehälter ist die Heizvorrichtung angeordnet und wird von dem Gasstrom durchströmt. Die Heizvorrichtung kann dem Druckbehälter auch entnommen und/oder entsprechend ausgetauscht werden. Der Druckbehälter weist vorteilhafterweise an seiner Innenseite eine Isolierung auf. Jedoch kann die Isolierung auch an der Heizvorrichtung angebracht sein. Eine entsprechende Gasverteilungseinrichtung, insbesondere mit den genannten Strömungsverteilungselementen, kann als Teil der Heizanordnung ausgebildet sein. Hierdurch kann bewerkstelligt werden, dass eine entsprechende Heizvorrichtung besonders homogen von dem Gasstrom durchströmt wird. Dies gewährleistet eine besonders gleichmäßige und effektive Gaserhitzung.

**[0021]** Eine entsprechende Heizanordnung weist also ferner vorteilhafterweise wenigstens eine Isolierung auf, wie sie beispielsweise aus der DE 10 2005 053 731 A1 bekannt ist. Durch eine derartige Isolierung lässt sich eine Temperatur des Druckbehälters an seiner Außenfläche gegenüber dem heißen Gas auf beispielsweise 60% der Gastemperatur, bevorzugt auf weniger als 40% und bei entsprechender Auslegung weniger als 20% der Ga-

stemperatur reduzieren, so dass sich eine verbesserte Handhabbarkeit entsprechender Einrichtungen ergibt. Zudem werden Abwärmeverluste vermindert.

**[0022]** Eine Anordnung zum thermischen Spritzen, insbesondere zum Kaltgasspritzen, profitiert in gleicher Weise von den Vorteilen der erläuterten Heizvorrichtung und/oder der Heizanordnung. Eine derartige Anordnung zum thermischen Spritzen umfasst eine Spritzvorrichtung, eine Partikelzuführung und eine Gaszuführung, wobei die Gaszuführung wenigstens eine Heizvorrichtung und/oder wenigstens eine Heizanordnung, wie sie zuvor erläutert wurde, umfasst. Eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen, in welcher die erfindungsgemäße Heizvorrichtung und Heizanordnung eingesetzt werden kann, beinhaltet beispielsweise die WO 2007/110134.

**[0023]** Ein entsprechendes Verfahren zum thermischen Spritzen zeichnet sich durch die Verwendung einer entsprechenden Kaltgasspritzteinrichtung, wenigstens einer der erläuterten Heizvorrichtungen und/oder wenigstens einer der erläuterten Anordnungen auf.

**[0024]** In einem entsprechenden Verfahren kann ein Gasstrom auf eine Temperatur von mindestens 700 bis 2000 °C, insbesondere auf 800 bis 1500 °C erwärmt werden. Die Erwärmung kann bei einem Druck bis zu 100 bar, insbesondere bei 30 bis 60 bar erfolgen. Der Gasstrom kann in einem Volumenstrom von 50 bis 400 m<sup>3</sup>/h, insbesondere von 60 bis 200 m<sup>3</sup>/h bereitgestellt werden. In dem Verfahren werden Gasgeschwindigkeiten von bis zu 2500 m/s erreicht.

**[0025]** Der Einfluss der Gastemperatur und des Gasdrucks auf die Geschwindigkeit und die Temperatur von Partikeln beim Kaltgasspritzen, und auch bei anderen thermischen Spritzverfahren ist, wie bereits erwähnt, grundsätzlich bekannt. Werden beispielsweise 25 Mikrometer große Kupferpartikel mit Stickstoff als Prozessgas unter Verwendung bekannter Düsen (z.B. einer deLaval-Düse Typ 24) gespritzt, lässt sich deren Aufprallgeschwindigkeit bei einem konstant gehaltenen Druck von 50 bar noch nahezu linear von ca. 400 m/s auf über 700 m/s erhöhen, wenn die Temperatur des verwendeten Gasstroms von Umgebungstemperatur auf 1000 °C erhöht wird. Bei einem geringeren Druck von nur 5 bar erhöht sich die Partikelgeschwindigkeit in dem genannten Temperaturbereich noch von 350 auf beinahe 550 m/s. Die erzielbaren Auftrefftemperaturen der Partikel erhöhen sich dabei auf bis zu 400 °C. Weitere Details hierzu sind in der Veröffentlichung von H. Assadi et al., "Partikelbeschleunigung, Aufprall und Schichtbildung beim Kaltgasspritzen / Particle acceleration, impact and coating formation in cold spraying", 8. Koll. Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen, 2009, Erding, Seite 27ff. angegeben.

**[0026]** Je höher die Gastemperatur beim thermischen Spritzen, insbesondere beim Kaltgasspritzen, ist, desto höher sind die Geschwindigkeit und die Temperatur der Partikel beim Aufprall. Bei einer Verwendung von Gastemperaturen insbesondere von über 1100 °C kann das Spektrum an Materialien signifikant erweitert werden, die

sich durch Kaltgasspritzen zu hochwertigen Schichten und Strukturen verarbeiten lassen.

**[0027]** Zur Anhaftung der Partikel an das Substrat reicht es aus, wenn die Aufprallgeschwindigkeit die zum Haften erforderliche, materialspezifische kritische Geschwindigkeit erreicht. Hohe Auftragswirkungsgrade können erzielt werden, wenn diese Geschwindigkeit um 20 oder 30% oder mehr überschritten wird. Sind weitere vorteilhafte Eigenschaften erwünscht, wie beispielsweise eine Dichtigkeit gegenüber einem Eindringen von Gasen oder Flüssigkeiten (was eine Voraussetzung für hohe Korrosionsfestigkeit ist) oder eine hohe mechanische Festigkeit bei statischer und/oder dynamischer Beanspruchung, sollte die Auftreffgeschwindigkeit die kritische Geschwindigkeit sogar um 50% oder mehr überschreiten. Durch höhere Gastemperaturen kann also nicht nur das Spektrum der durch Kaltgasspritzen zu Schichten und Strukturen verarbeitbaren Werkstoffe erweitert sondern auch die Qualität entsprechender Schichten und Strukturen verbessert werden. Ein weiterer Vorteil höherer Temperaturen ist der, dass auch größere Partikel als bisher für das Spritzen verwendet werden können, was sich ebenfalls günstig auf die Eigenschaften der Schichten auswirkt und geringere Kosten verursacht. Materialien, die in besonderer Weise von den Maßnahmen der Erfindung profitieren, sind Metalle wie Titan, Nickel und Eisen und deren Legierungen sowie Komposite aus Hartstoffen und Metallmatrizes mit hohen Hartstoffanteilen von bis zu 60 Volumen-%, in Einzelfällen auch bis zu 80 %.

**[0028]** Beispiele für Spritzwerkstoffe, die theoretisch ein großes Anwendungspotential besitzen, deren kritische Geschwindigkeit aber so hoch ist, dass herkömmlicherweise keine hochwertigen Schichten mit hohem Auftragswirkungsgrad erzeugt werden konnten, sind Nickel, Nickellegierungen wie z.B. Inconel, hochlegierte Stähle oder Metalle mit hohem Schmelzpunkt und insbesondere Molybdän sowie Molybdänlegierungen. Derartige Materialien können nun durch Einsatz der erfindungsgemäßen Gasheizvorrichtung auch durch Kaltgasspritzen verarbeitet werden. Foglich können mit der Erfindung temperaturbeständige Werkstoffe, wozu auch warmfeste Legierungen zählen, verarbeitet werden. Insbesondere seien hier Molybdän, Niob und Nickellegierungen erwähnt. Mit der Erfindung können qualitativ hochwertige Schichten hergestellt werden, welche in ihren Eigenschaften vergleichbar sind mit schmelzmetallurgisch oder durch Sintern hergestelltem Vollmaterial gleicher Zusammensetzung.

**[0029]** Eine erfindungsgemäße Anordnung, die eine entsprechende Graphitheizung aufweist, kann vorteilhafterweise auch mit einer Spritzdüse ausgestattet werden, die ein Graphitmaterial aufweist. Der Begriff "Graphitmaterial" umfasst dabei auch sämtliche Graphitmodifikationen, insbesondere sogenannten Glaskohlenstoff.

**[0030]** Ein Graphitmaterial bietet in dem genannten Einsatzgebiet eine Reihe von Vorteilen, die insbesonde-

re in Kombination die erläuterten deutlich erhöhten Temperaturen zulassen. Zudem hat ein Graphitmaterial den Vorteil, dass es ein Anbacken entsprechend heißer Spritzpartikel an der Düseninnenwand unterbindet.

**[0031]** Ein Vollmaterial hat in dem bevorzugten Fall von Graphit den Vorteil, dass dessen Wärmeleiteigenschaften in besonderer Weise wirksam werden können. Eine entsprechende Düse kann daher Wärme besonders effektiv abführen.

**[0032]** Insbesondere kann für ein erfindungsgemäßes Verfahren eine Düse zum Einsatz kommen, die Glaskohlenstoff als Graphitmaterial aufweist. Glaskohlenstoff, auch als glasartiger Kohlenstoff bezeichnet, vereinigt dabei glasartige keramische Eigenschaften mit denen des Graphits und bietet damit besondere Vorteile. Auch metallische, teil- oder vollkeramische Spritzdüsen und/oder Spritzdüsen mit entsprechenden Einsätzen, z.B. Keramikdüsen mit Graphiteinsätzen oder Metalldüsen mit Keramikeinsätzen können vorteilhaft sein. Die jeweiligen Materialien können auch in Form von Beschichtungen aufgebracht werden, was gegenüber Vollmaterialien eine besonders kostengünstige Herstellung ermöglicht.

**[0033]** Ein Einsatz bzw. eine Einlage aus einem entsprechenden Material, z.B. Keramik, Graphit oder Glaskohlenstoff, lässt sich beispielsweise bei Abnutzung sehr einfach ersetzen. Mit besonderem Vorteil können Graphitmaterialien auch in Form von Verbundwerkstoffen eingesetzt werden. Hierbei kann es sich um Materialien auf Grundlagen von Metallen und/oder Kunststoffen handeln.

**[0034]** Eine derartige Anordnung kann neben der erläuterten Graphitheizung auch über weitere Heizeinrichtungen verfügen, z.B. zur Vorwärmung des Gasstroms. Ein verwendbarer Gasheizer ist z.B. in der EP 0 924 315 B1 offenbart. Das verwendete Gas oder Gasgemisch wird in einem Gasdruckbehälter vorgehalten und wird in einem Gaspufferbehälter zwischengespeichert. Nach der Entnahme aus dem Gaspufferbehälter wird das Gas oder Gasgemisch mittels einer elektrischen Widerstandsheizung, induktiv und/oder mittels eines Plasmabrenners erwärmt. Eine ausreichend starke Erwärmung kann auch durch die Verwendung von mehreren Heizern, insbesondere Vor- und Nachheizern wie in der DE 10 2005 004 117 offenbart, erzielt werden.

**[0035]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen. Selbstverständlich lässt sich die erfindungsgemäße Heizvorrichtung und die erfindungsgemäße Heizanordnung auch für andere Anwendungen, bei welchen ein heißer Gasstrahl eingesetzt wird, verwenden, wie beispielsweise zum Vorwärmern beim Schweißen und Hartlöten (beispielsweise mittels Lichtbogen oder Flamme), zum Vorwärmern beim Richen oder ähnlichen Prozessen, zum Löten selbst (sofern ein Lot verwendet wird, das im heißen Gasstrahl

schmilzt) oder zum Trocken von Wasserstoff empfindlichen Werkstoffen.

**[0036]** Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

#### Figurenbeschreibung

##### 10 **[0037]**

Figur 1a zeigt eine Heizvorrichtung gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung im Längsschnitt.

15

Figur 1b zeigt eine Heizvorrichtung gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in Draufsicht.

20

Figur 1c zeigt eine Heizvorrichtung gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in Seitenansicht.

25

Figur 2 zeigt eine Heizeinrichtung gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung im Längsschnitt.

30

Figur 3 zeigt eine Anordnung zum Kaltgasspritzen gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung.

**[0038]** In Figur 1 ist eine Vorrichtung zum Erwärmen eines Gasstroms gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung im Längsschnitt dargestellt und insgesamt mit 10 bezeichnet. Ein Gasstrom ist mit fetten Pfeilen symbolisiert und mit G bezeichnet. Die Vorrichtung 10 weist einen Graphitfilz 11 auf, der von dem Gasstrom G durchströmbar ist. Hierzu ist der Graphitfilz 11 in entsprechenden Kanälen 12 und 13 angeordnet, beispielsweise in Keramikrohren in koaxialer Anordnung. Entsprechende Mittel 14 zur Bereitstellung eines Heizstroms sind vorgesehen und in Figur 1 als Gleichstromquelle veranschaulicht. Die Mittel 14 zur Bereitstellung des Heizstroms können den Graphitfilz 11 über Kontaktanordnungen 15 bis 17 mit einem Heizstrom beaufschlagen.

35

**[0039]** Das erfindungsgemäße Konzept wurde unter Verwendung eines Graphitfilzes mit Fasern mit einem Durchmesser von ca. 15 µm realisiert. Das Dicken-/Längen-Verhältnis der Fasern betrug zumindest 100 : 1, eher 1000 : 1. Der Graphitfilz wies eine Dichte von nur 0,09 g/cm<sup>3</sup> auf. Die gegenüber massivem Graphit um etwa den Faktor 1/15 geringere Dichte ist durch die großen Hohlräume des Filzes bedingt.

40

**[0040]** An einer ersten Seite der Heizvorrichtung 10, nachfolgend als "Oberseite" bezeichnet, sind die jeweils koaxial angeordneten Kanäle 12, 13 hierzu mit Kontakt-

45

50

55

50

55

einrichtungen 15, 16 in Form gelochter Scheiben bzw. Platten abgedeckt. Die Anordnung der gelochten Kontakteinrichtungen 15, 16 wird aus Figur 1b deutlich ersichtlich. Die Kontakteinrichtungen 15, 16 weisen entsprechende Lochanordnungen mit Löchern 18 auf. Die Kontakteinrichtungen 15, 16 sind leitend ausgebildet und beispielsweise in Form von Graphitplatten bereitgestellt. Die Kontakteinrichtungen 15 und 16 berühren einander in der Anordnung, wie sie in Figur 1 a dargestellt ist, nicht und sind durch die Wand des Kanals 13 voneinander elektrisch isoliert.

**[0041]** Beispielsweise die Kontakteinrichtung 15 kann auch als Komprimierstruktur ausgebildet sein. Wird sie von einem Gasstrom G durchströmt, kann sie einen Druck auf den darunterliegenden Graphitfilz ausüben und diesen damit komprimieren.

**[0042]** Auf einer zweiten Seite der Heizvorrichtung 10, nachfolgend als "Unterseite" bezeichnet, befindet sich eine zweite Kontakteinrichtung 17, die ebenfalls mit Lochanordnungen mit Löchern 18 versehen ist. Auch die Kontakteinrichtung 17 kann als Graphitplatte ausgebildet sein. Im Gegensatz zu den Kontakteinrichtungen 15, 16 kontaktiert die Kontakteinrichtung 17 den Graphitfilz 11 in beiden Kanälen 12, 13.

**[0043]** Wird an die Kontakteinrichtungen 15, 16 über die Pole der Mittel 14 zur Bereitstellung des Heizstroms eine Spannung angelegt, fließt ein Strom von der Kontakteinrichtung 15 durch den in dem Kanal 12 angeordneten Graphitfilz 11, über die Kontakteinrichtung 17 und durch den in dem Kanal 13 angeordneten Graphitfilz 11. Durch Widerstandseffekte heizt sich der Graphitfilz 11 in den Kanälen 12 und 13 entsprechend auf und erwärmt damit das durch die Kanäle 12 und 13 strömende Gas G.

**[0044]** Die Figur 1b zeigt die Anordnung 10 der Figur 1a in einer Draufsicht, d.h. von der zuvor erläuterten Oberseite aus. Wie deutlich ersichtlich, kontaktieren die Kontakteinrichtungen 15, 16 einander in der gezeigten Anordnung nicht sondern sind durch die Wand des Kanals 13 voneinander getrennt. Die Kanäle 12, 13 sind hierzu beispielsweise als nicht leitende Keramikrohre ausgebildet. Die in der Figur 1b dargestellte Anordnung umfasst die wesentlichen Komponenten der in Figur 1a dargestellten Anordnung, die Abbildung 1b ist jedoch teilweise vereinfacht.

**[0045]** In Figur 1c ist die Anordnung 10 in einer Seitenansicht dargestellt. Die Blickrichtung entspricht dabei jener der Figur 1 a. Auch hier sind der Figur 1 a entsprechende Elemente nicht erneut bezeichnet. In der Seitenansicht ist eine Wand des Kanals 12 und die Platte 17 erkennbar.

**[0046]** Figur 2 zeigt eine Heizanordnung gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in Längsschnittsansicht. Die Heizanordnung ist insgesamt mit 20 bezeichnet und weist eine zuvor erläuterte Heizvorrichtung 10 auf, deren einzelne Elemente nicht erneut beschrieben werden. Die Heizvorrichtung 10 ist in einem Druckbehälter 21 der Heizvorrichtung 20 angeordnet. Der Gasstrom G durchströmt den Druckbehälter wie

durch die fetten Pfeile veranschaulicht.

**[0047]** Der Gasstrom G durchläuft hierbei zunächst einen Einströmbereich 23. Der Einströmbereich 23 weist eine Gasverteilungseinrichtung 24 auf, die sicherstellt, dass das einströmende Gas sich gleichmäßig über die Oberseite der Heizvorrichtung 10 verteilt und mit homogener Geschwindigkeit einströmt. Die Druckkammer 21 ist beispielsweise als rotationssymmetrischer Körper ausgebildet und weist auf ihrer Innenseite eine Isolierung 22 auf. Die erfindungsgemäße Einrichtung 20 bildet eine standardisierte Einheit, die leicht auswechselbar ist, z.B. im Reparaturfall, oder von denen mehrere hintereinander angeordnet werden können. Die Heizvorrichtung 10 kann, wie zuvor mehrfach erläutert, als leicht auswechselbare Heizpatrone ausgestaltet sein. Hierdurch lässt sich auch die Heizvorrichtung 10 alleine im Reparaturfall leicht ersetzen. Der Gasstrom G durchläuft, wie bereits erwähnt, den Druckbehälter 21, wobei sich durch die Gasverteilungseinrichtung 24, die beispielsweise in Form eines Doppelkegels ausgebildet sein kann, gleichmäßig über den Querschnitt der Heizvorrichtung 10 verteilt. Durch die innen angebrachte Isolierung 22 wird erreicht, dass nur wenig Wärmeenergie über die Wand des Druckbehälters 21 an die Umgebung abgegeben wird.

Der Druckbehälter 21 kann daher relativ dünnwandig und leicht gebaut sein. Der Gasstrom G weist in einem Gasaustrittsbereich 25 die gewünschte Temperatur auf und verlässt den Druckbehälter 21.

**[0048]** In Figur 3 ist eine Anordnung zum Kaltgasspritzen gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung dargestellt und insgesamt mit 100 bezeichnet.

**[0049]** Die Anordnung 100 umfasst eine Spritzpistole 110, die in bekannter Art mit einer Lavaldüse ausgebildet sein kann. Die Düse kann ein Graphitmaterial aufweisen. Eine Partikelzufuhrseinrichtung 120 kann vorgesehen sein, mittels derer entsprechende Spritzpartikel der Spritzpistole 110 zugeführt werden können. Ferner ist eine Gaszuführung 130 vorgesehen, die einen Gas speicher 30 umfasst. Von dem Gas speicher 30 wird ein Gasstrom in eine Heizanordnung 20 wie zuvor erläutert, die eine Heizvorrichtung 10 aufweist, geführt. Der Fachmann wird verstehen, dass auch mehrere Heizeinrichtungen 20 und/oder Heizvorrichtungen 10 bereitgestellt werden können, um die gewünschte Gastemperatur zu erzielen. Der entsprechend erwärmte Gasstrom wird ebenfalls der Spritzpistole 110 zugeführt.

#### Bezugszeichenliste

50

#### **[0050]**

G Gasstrom

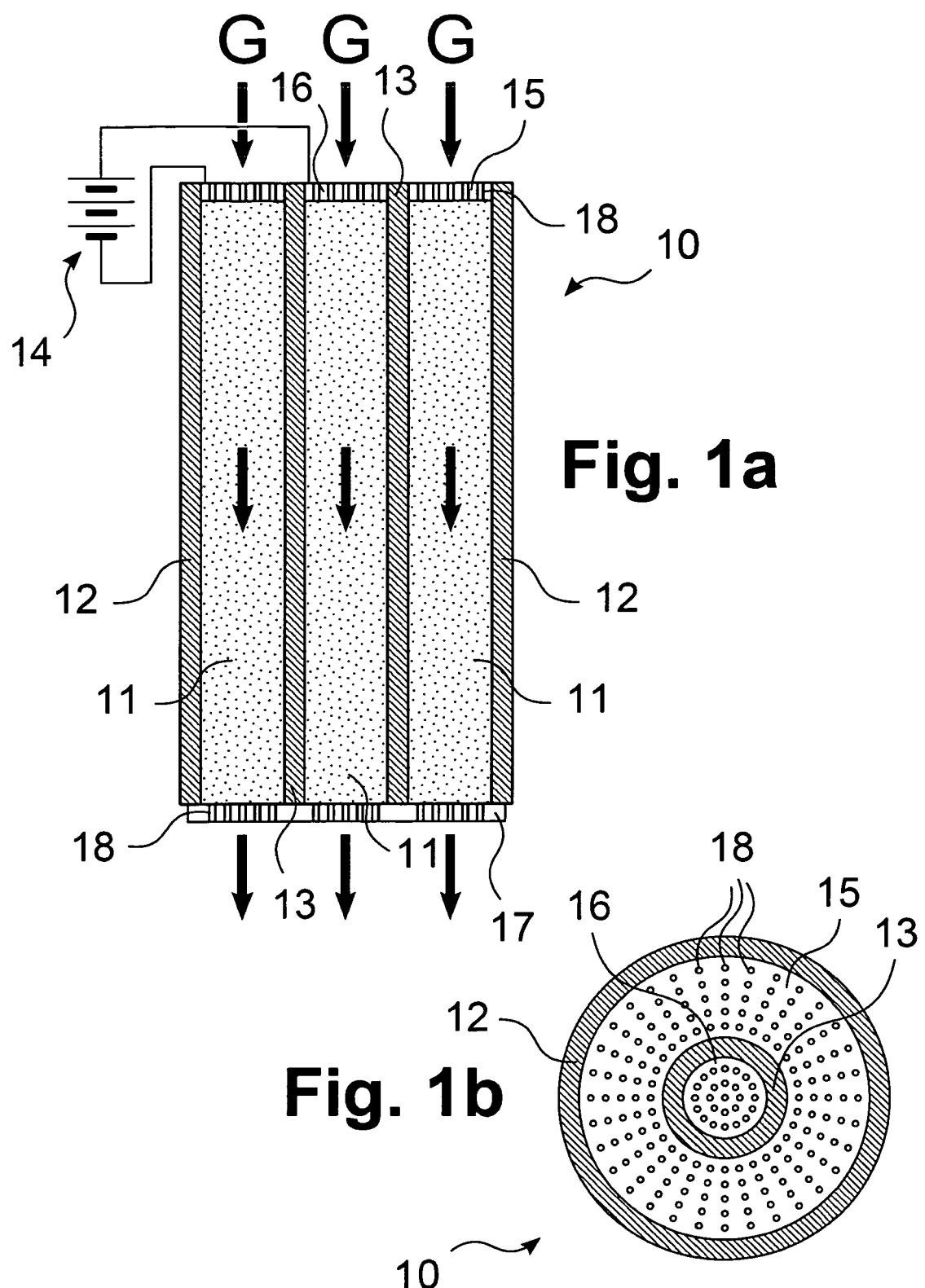
55

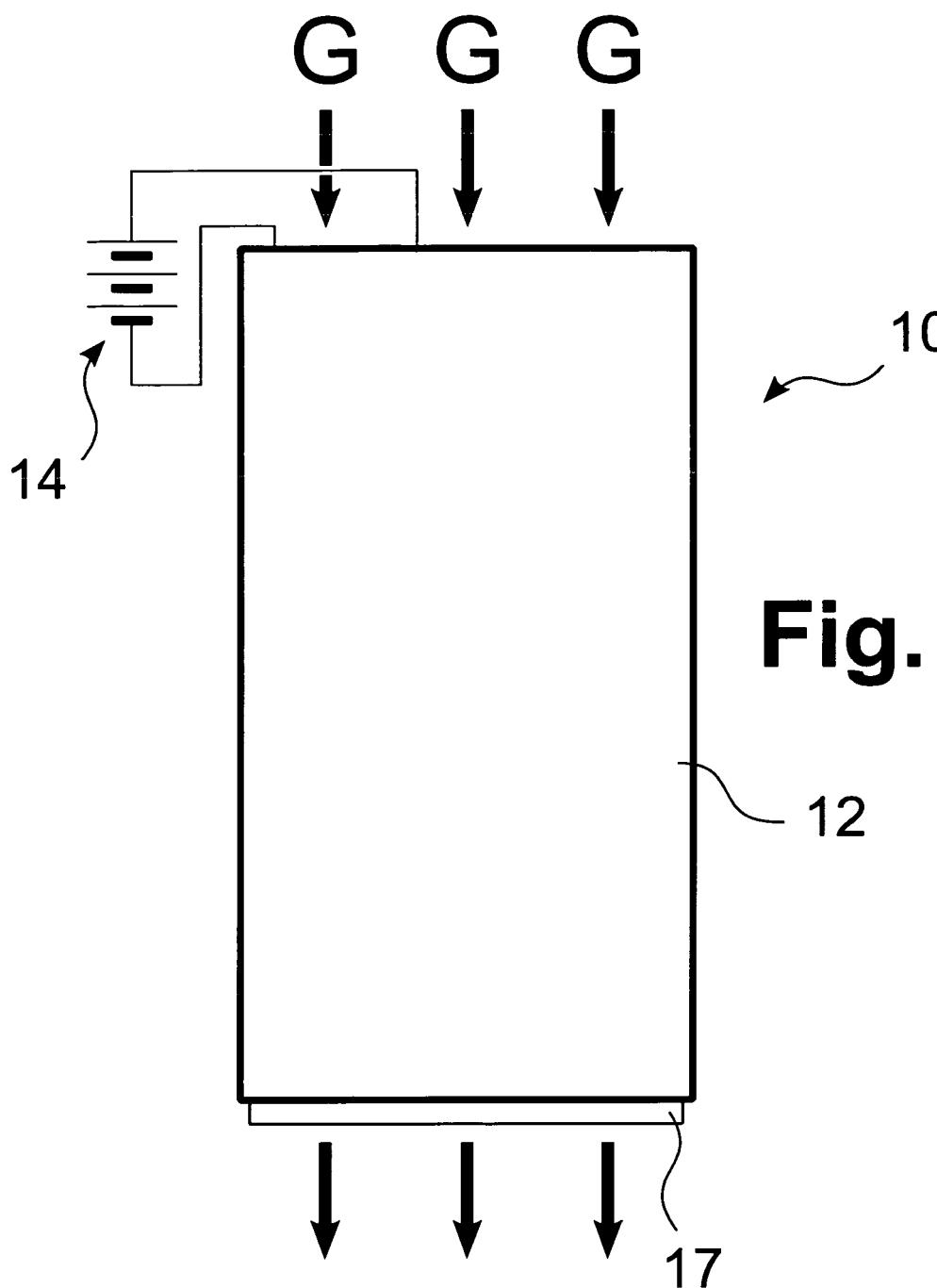
10 Heizvorrichtung  
11 Graphitfilz  
12 Kanal  
13 Kanal

14 Heizstrombereitstellungsmittel  
 15 Kontakteinrichtung  
 16 Kontakteinrichtung  
 17 Kontakteinrichtung  
 18 Loch  
 20 Heizanordnung  
 21 Druckbehälter  
 22 Isolierung  
 23 Einströmbereich  
 24 Gasverteilungseinrichtung  
 25 Gasaustrittsbereich  
 30 Gasspeicher  
 100 Kaltgasspritzanordnung  
 110 Spritzpistole  
 120 Partikelzufuhreinrichtung  
 130 Gaszuführung

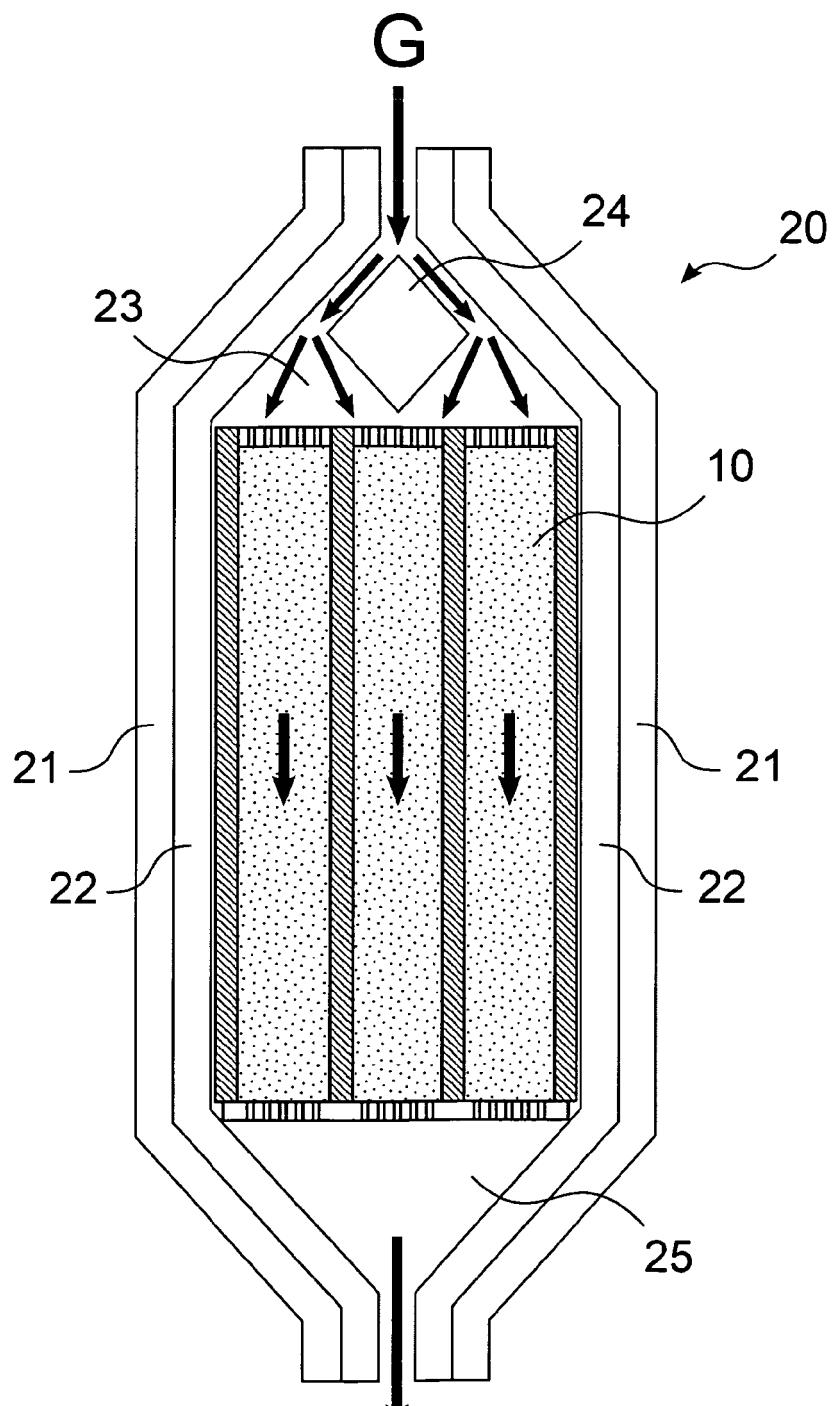
### Patentansprüche

1. Heizvorrichtung (10) zur Erwärmung eines Gasstroms (G), insbesondere einer Kaltgasspritzeinrichtung (100), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Heizvorrichtung (10) einen mit einem elektrischen Heizstrom erwärmbaren und mit dem Gasstrom (G) durchströmbar Graphitfilz (11) aufweist.
2. Heizvorrichtung (10) nach Anspruch 1, die wenigstens zwei mit dem Gasstrom (G) durchströmbar und mit dem elektrischen Heizstrom erwärmbaren Graphitfilz (11) gefüllte Kanäle (12, 13) aufweist.
3. Heizvorrichtung (10) nach Anspruch 2, bei der die Kanäle (12, 13) wenigstens teilweise koaxial angeordnet und/oder als Keramikrohre ausgebildet sind.
4. Heizvorrichtung (10) nach Anspruch 2 oder 3, die Kontakteinrichtungen (15 - 17) zum selektiven Kontaktieren des Graphitfilzes (11) in den Kanälen (12, 13) mit dem elektrischen Heizstrom aufweist.
5. Heizvorrichtung (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, die wenigstens eine Komprimierstruktur (15) aufweist, die bei einer Beaufschlagung durch den Gasstrom (G) eine Komprimierung des Graphitfilzes (11) bewirken kann.
6. Heizvorrichtung (10) nach mindestem einem der Ansprüche 1 bis 4, die ein starres Gerüst, insbesondere ein starres keramisches Gerüst aufweist, in welches der Graphitfilz eingebracht ist.
7. Heizanordnung (20) zur Erwärmung eines Gasstroms (G) mit einem von dem Gasstrom (G) durchströmmbaren Druckbehälter (21), **gekennzeichnet durch** wenigstens eine in dem Druckbehälter (21) angeordnete Heizvorrichtung (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche.
8. Heizanordnung (20) nach Anspruch 7, die wenigstens eine Gasverteilungseinrichtung (24) und/oder wenigstens eine Wärmeisolierung (22) aufweist.
9. Anordnung (100) zum thermischen Spritzen, insbesondere zum Kaltgasspritzen, mit einer Spritzvorrichtung (110), einer Partikelzuführung (120) und einer Gaszuführung (130), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gaszuführung (130) wenigstens eine Heizvorrichtung (10) und/oder wenigstens eine Heizanordnung (20) nach einem der vorstehenden Ansprüche aufweist.
10. Anordnung (100) nach Anspruch 9, die ferner eine weitere, insbesondere eine induktive, eine resistive und/oder eine mittels eines Plasmabrenners betriebene, Heizvorrichtung zur Erwärmung des Gasstroms (G) aufweist.
11. Anordnung (100) nach Anspruch 9 oder 10, bei der die Spritzvorrichtung (110) eine Düse umfasst, die ein graphithaltiges Material aufweist oder wenigstens teilweise aus einem graphithaltigen Material besteht.
12. Verfahren zum thermischen Spritzen, **gekennzeichnet durch** die Verwendung wenigstens einer Anordnung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wenigstens einer Heizvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 und/oder wenigstens einer Heizanordnung (20) nach einem der Ansprüche 7 oder 8.
13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem ein Gasstrom (G) auf Temperaturen von 700 bis 2000 °C, insbesondere von 800 bis 1500 °C bei einem Druck von bis zu 100 bar, insbesondere von 30 bis 70 bar erwärmt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem als Gas oder Gasgemisch für den Gasstrom Stickstoff, Helium oder Gemische daraus verwendet werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, das als Spritzpartikel temperaturbeständige Werkstoffe, insbesondere Molybdän, Niob oder Nickellegierungen, verwendet werden.

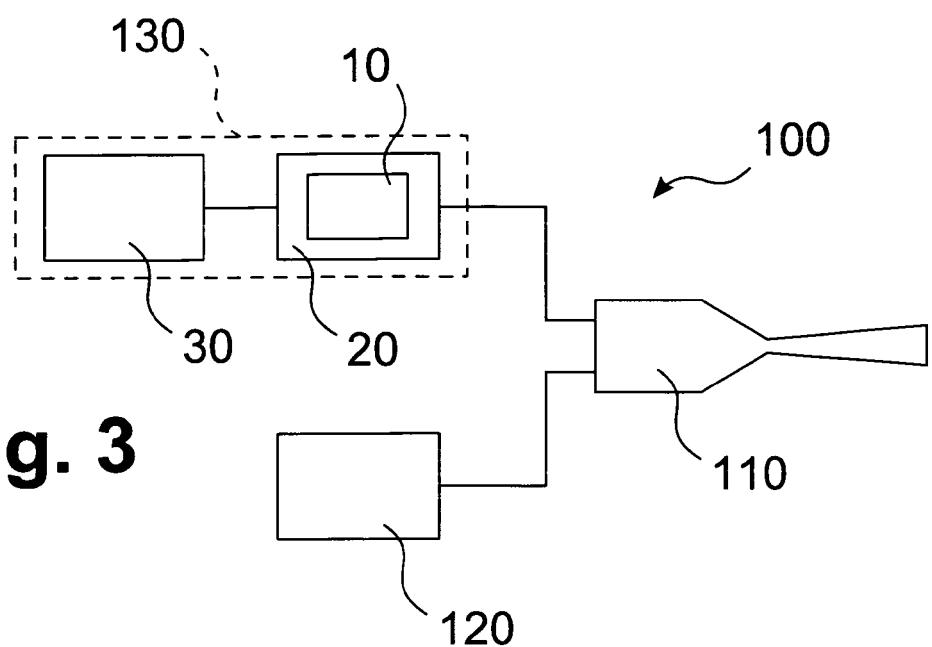




**Fig. 1c**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 12 00 2883

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betriftt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 23 05 105 A1 (SIGRI ELEKTROGRAPHIT GMBH) 8. August 1974 (1974-08-08) * Absatz 2 - Seite 3, Absatz 3 * * Absatz 2 - Seite 7 * * Absatz 1 - Seite 9 * * Absatz 3 - Seite 11 * * Abbildungen 1,2 * -----	1,5,6,8 1-15	INV. F24H3/04 C23C24/04 H05B3/14
Y	US 3 828 161 A (YAMAGUCHI T) 6. August 1974 (1974-08-06) * Spalte 2, Zeile 30 - Spalte 5, Zeile 28; Abbildungen 1,2 * -----	1-8	
Y	DE 20 38 917 A1 (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK) 18. Februar 1971 (1971-02-18) * Seite 5; Ansprüche 1-5 * * Seite 5, Absatz 4 - Seite 6, Absatz 2 * * Abbildungen 3,4,7 * -----	1-8	
Y	US 5 764 850 A (OLSTAD STUART J [US] ET AL) 9. Juni 1998 (1998-06-09) * das ganze Dokument * -----	1-8	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
Y	US 4 310 747 A (RICE WARREN A ET AL) 12. Januar 1982 (1982-01-12) * Seite 2, Zeile 65 - Seite 4, Zeile 19 * * Seite 6, Zeile 35 - Seite 8, Zeile 44 * * Abbildungen 1,9 * -----	1-8	F24H C23C H05B
Y	DE 10 2006 014124 A1 (LINDE AG [DE]) 27. September 2007 (2007-09-27) * das ganze Dokument * -----	7-15	
Y	EP 1 785 679 A1 (LINDE AG [DE]) 16. Mai 2007 (2007-05-16) * das ganze Dokument * -----	9-15	
		-/-	
1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		20. November 2012	Arndt, Markus
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 12 00 2883

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreift Anspruch	
Y,D	DE 10 2005 004117 A1 (LINDE AG [DE]) 6. April 2006 (2006-04-06) * Absatz [0002] - Absatz [0019] * -----	7-15	
Y	WO 2009/096275 A1 (PLASMA GIKEN CO LTD [JP]; FUKANUMA HIROTAKA [JP]) 6. August 2009 (2009-08-06) * Zusammenfassung * -----	11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
1 Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. November 2012	Prüfer Arndt, Markus
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 00 2883

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-11-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 2305105	A1	08-08-1974		KEINE		
US 3828161	A	06-08-1974	CA US	973246 A1 3828161 A	19-08-1975 06-08-1974	
DE 2038917	A1	18-02-1971	CA CH DE DE FR GB JP SE US	935214 A1 540207 A 2038917 A1 7029479 U 2060084 A1 1325675 A 54020481 B 392463 B 3714283 A	09-10-1973 15-08-1973 18-02-1971 21-10-1971 11-06-1971 08-08-1973 23-07-1979 28-03-1977 30-01-1973	
US 5764850	A	09-06-1998		KEINE		
US 4310747	A	12-01-1982		KEINE		
DE 102006014124	A1	27-09-2007	CA CN DE EP JP JP KR US WO	2645846 A1 101410551 A 102006014124 A1 1999297 A1 5035929 B2 2009531167 A 20090006119 A 2007221746 A1 2007110134 A1	04-10-2007 15-04-2009 27-09-2007 10-12-2008 26-09-2012 03-09-2009 14-01-2009 27-09-2007 04-10-2007	
EP 1785679	A1	16-05-2007	DE EP JP JP US	102005053731 A1 1785679 A1 5039049 B2 2009515132 A 2009226156 A1	24-05-2007 16-05-2007 03-10-2012 09-04-2009 10-09-2009	
DE 102005004117	A1	06-04-2006	DE WO	102005004117 A1 2006034777 A1	06-04-2006 06-04-2006	
WO 2009096275	A1	06-08-2009	JP TW WO	2009179831 A 200938658 A 2009096275 A1	13-08-2009 16-09-2009 06-08-2009	

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**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 102005053731 A1 [0006] [0021]
- WO 2007110134 A [0022]
- EP 0924315 B1 [0034]
- DE 102005004117 [0034]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- **H. ASSADI et al.** Partikelbeschleunigung, Aufprall und Schichtbildung beim Kaltgasspritzen / Particle acceleration, impact and coating formation in cold spraying. *Koll. Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen*, 2009, vol. 8, 27ff [0025]