



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 014 124 A1** 2007.09.27

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 014 124.5**

(22) Anmeldetag: **24.03.2006**

(43) Offenlegungstag: **27.09.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B05B 7/02** (2006.01)

**B05B 7/16** (2006.01)

**B05D 1/12** (2006.01)

**C23C 24/04** (2006.01)

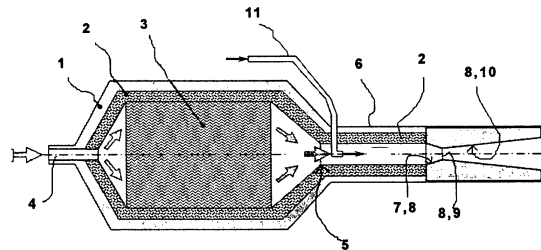
(71) Anmelder:  
**Linde AG, 65189 Wiesbaden, DE**

(72) Erfinder:  
**Heinrich, Peter, 82110 Germering, DE; Kreye, Heinrich, Prof. Dr., 22175 Hamburg, DE; Richter, Peter, 84431 Heldenstein, DE; Schmidt, Tobias, 59889 Eslohe, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Kaltgasspritzpistole**

(57) Zusammenfassung: Eine Kaltgasspritzpistole umfasst einen Hochdruckgaserhitzer, der einen von Gas durchströmten Druckbehälter (1) und ein in dem Druckbehälter (1) angeordnetes Heizelement (3) aufweist, sowie eine Mischkammer (6, 14), in der Partikel dem Gas durch eine Partikelzuführung (11) zugeführt werden können. Eine Lavaldüse (8) ist in Strömungsrichtung des Gases hierauf folgend angeordnet, die aus einem konvergierenden Abschnitt (7, 12, 15), einem Düsenhals (9) und einem divergierenden Abschnitt (10) besteht. Der Hochdruckgaserhitzer und/oder die Mischkammer (6, 14) sind an den Kontaktflächen mit dem Gas zumindest teilweise innen isoliert.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Kaltgasspritzpistole und eine Vorrichtung mit einer solchen Kaltgasspritzpistole sowie ein Verfahren, dass eine erfindungsgemäße Kaltgasspritzpistole verwendet.

**[0002]** Beim Kaltgasspritzen oder dem kinetischen Spritzen werden Pulverpartikel von 1 µm bis 250 µm in einem Gasstrom auf Geschwindigkeiten von 200 m/s bis 1600 m/s beschleunigt, ohne dabei an- oder aufzuschmelzen, und auf die zu beschichtende Fläche, das Substrat, gespritzt. Erst beim Aufprall auf das Substrat steigt durch plastische Verformung unter sehr hohen Dehnraten die Temperatur an den kollidierenden Grenzflächen und führt zu einer Verschweißungen des Pulverwerkstoffs mit dem Substrat sowie untereinander. Dazu muss jedoch eine Mindestaufprallgeschwindigkeit überschritten werden, die so genannte kritische Geschwindigkeit. Der Mechanismus und die Qualität der Verschweißung sind mit dem Explosivschweißen vergleichbar. Durch Aufheizen des Prozessgases wird die Schallgeschwindigkeit des Gases, damit die Strömungsgeschwindigkeit des Gases in der Düse und somit auch die Partikelgeschwindigkeit beim Aufprall gesteigert. Das Gas kann z.B. in einer Lavaldüse, d.h. einer zunächst bis zu einem Düsenhals konvergierenden, sodann divergierenden Düse, auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt werden, wobei der Pulverwerkstoff vor oder nach dem Düsenhals in den Gasstrahl injiziert und auf das Substrat hin beschleunigt wird.

**[0003]** Die Partikeltemperatur beim Aufprall erhöht sich mit der Prozessgastemperatur. Dies führt zu einer thermischen Erweichung und Duktilisierung des Pulverwerkstoffes und senkt die kritische Geschwindigkeit der aufprallenden Partikel ab. Da auch die Schallgeschwindigkeit steigt, erhöht sich durch Anheben der Prozessgastemperatur sowohl die Partikelgeschwindigkeit als auch die Partikeltemperatur beim Aufprall. Beides wirkt sich positiv auf den Auftragswirkungsgrad und Schichtqualität aus. Die Prozessgastemperatur bleibt dabei immer unter der Schmelztemperatur des zum Spritzen verwendeten Pulverwerkstoffes. Beim Kaltgasspritzverfahren wird also ein im Vergleich zu anderen Spritzverfahren, bei denen die Pulverpartikel durch das Gas geschmolzen werden, "kälteres" Gas benutzt. Ebenso wie bei Spritzverfahren, bei denen Zusatzwerkstoffe durch heißes Gas aufgeschmolzen wird, muss auch beim Kaltgasspritzen folglich das Gas erhitzt werden.

**[0004]** Um Pulverpartikel, insbesondere größere Partikel zwischen 25 und 100 µm stark beschleunigen zu können, ist Gas mit hohem Druck nötig. Dazu müssen die Bauteile einer Vorrichtung zum Kaltgasspritzen entsprechend druckfest ausgeführt sein. Die

meisten Anlagen für den stationären Betrieb sind für 30 bar ausgelegt, wobei die Einzelbaugruppen auf den dazu notwendigen Vordruck von ca. 35 bar ausgelegt sind. Einige Anlagentypen sind sogar nur für Drücke bis 15 bar bzw. für Drücke bis 70 bar ausgelegt. Wenn, wie gewünscht, der Druck weiter erhöht werden soll und die hohe Temperatur direkt auf den Werkstoff der Kontaktflächen der Bauteile wirken kann, führt dies dazu, dass teure und schwer zu verarbeitende Hochtemperaturwerkstoffe Verwendung finden müssen oder das Bauteil, insbesondere eine Spritzpistole, durch seine Größe und die nötigen Wandstärken relativ schwer wird. Auch führt die Wärmeabfuhr über die Kontaktfläche zu Verlusten und einem unerwünschten Abfallen der Gastemperatur insbesondere vor dem Düsenhals der Lavaldüse.

**[0005]** Aus der US 6,623,796 B1 ist eine Spritzpistole mit einer Lavaldüse bekannt, bestehend aus einem Eingangskonus und einem Ausgangskonus, die an einem Düsenhals aneinander stoßen. der Lavaldüse wird Luft unter hohem Druck über einen Lufterhitzer und eine Mischkammer zugeführt, in der ein Luft-Pulver zugemischt wird. Das Pulver wird durch die Lavaldüse als Überschalldüse beschleunigt und durch die im Lufterhitzer erhitzte Luft erwärmt, ohne dass es schmilzt.

**[0006]** Nachteilig an diesem Stand der Technik ist, dass die Materialfestigkeit und -stärke der Bauteile der Spritzpistole sehr groß ausgelegt werden muss, um dem hohen Druck bei hohen Temperaturen des Materials standhalten zu können, da die Materialfestigkeit mit der Temperatur stark abnimmt.

**[0007]** Aus der nachveröffentlichten DE 102005004116 ist eine Kaltgasspritzpistole mit einer Düse zur Beschleunigung von Gasstrahl und Partikeln bekannt, die sich in einen konvergierend zulaufenden Düsenabschnitt und einen Düsenauslauf gliedert, die am Düsenhals ineinander übergehen, sowie ein Pulverinjektionsrohr aufweist, das mehr als 40 mm vor dem Düsenhals endet.

**[0008]** Aus der nachveröffentlichten DE 102005004117 ist eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen mit einer Spritzpistole mit einer Düse und einer Heizung zur Gaserwärmung bekannt, wobei sich die Heizung zur Gaserwärmung in mindestens zwei Heizer gliedert und ein Nachheizer direkt an der Spritzpistole angebracht ist während ein zweiter, freistehender Vorheizer über eine Leitung mit der Spritzpistole verbunden ist.

**[0009]** Aus der nachveröffentlichten DE 102005053731 ist eine Vorrichtung zur Hochdruckgaserhitzung mit einem von Gas durchströmten Druckbehälter, einem in dem Druckbehälter angeordneten Heizelement und einer Isolierung bekannt. Die Isolierung ist auf der Innenwand des Druckbehälters

angeordnet und es sind Mittel zur Wärmeabfuhr des Druckbehälters vorhanden, so dass der Druckbehälter eine niedrigere Temperatur als das erhitzte Gas hat.

**[0010]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen, insbesondere eine Spritzpistole zur Verfügung zu stellen, die mit Gas unter hohen Temperaturen und Drücken betrieben werden kann und dennoch ein geringes Gewicht aufweist und eine leicht zu führende Spritzpistole hat.

**[0011]** Diese Aufgabe wird durch eine Kaltgasspritzpistole mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1, eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen nach Anspruch 16 und ein Verfahren zum Kaltgasspritzen nach Anspruch 19 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Vorrichtung werden durch die Unteransprüche angegeben.

**[0012]** Vorteilhaft kann mit der erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole der nutzbare Prozessgasdruck auf deutlich über 35 bar angehoben werden, ohne das Gewicht der Kaltgasspritzpistole übermäßig durch große Material- und Wandstärken zu erhöhen. Durch die innere Isolierung von Hochdruckgaserhitzer und/oder Mischkammer sowie Lavalldüse können die druckbelasteten Bauteile bei deutlich niedrigeren Temperaturen und somit höherer Materialfestigkeit betrieben werden. Durch die Isolierung werden weiter unnötige thermische Verluste an die Umgebung vermieden und entstehen geringere Kosten für die Gasaufheizung. Schließlich ergibt sich auch eine geringere Trägheit der Kaltgasspritzpistole bei Innbetriebnahme, da nicht die relativ große Massen an Wandmaterial erwärmt werden muss, und eine erhöhte Dauerhaltbarkeit, durch die geringere Temperaturbelastung der Werkstoffe. Eine Erhöhung des Prozessgasdruckes und somit Steigerung der Gasdichte wirkt sich zusammen mit einer Erhöhung der Prozessgastemperatur und der Verwendung größerer Partikeln besonders vorteilhaft auf die Qualität der Beschichtung aus und wird erst durch die innere Isolierung möglich. Auch kann trotz hohem Prozessgasdruck und Prozessgastemperaturen eine hohe Effizienz des Spritzens erreicht werden und es werden die Nachteile einer geringen Gasdichte und kleinerer Querschnitte vermieden. Ohne die Isolierung treten diese Probleme bei einer Verkleinerung der Kaltgasspritzpistole auf. Diese Verkleinerung wäre notwendig, um Gewichtsgrenzen bei den gleichzeitig nötigen Materialstärken einzuhalten.

**[0013]** In günstiger Ausführungsform sind der Druckbehälter des Hochdruckgaserhitzers und/oder die Mischkammer mit einer Isolierung ausgekleidet, die aus festen oder flexiblen keramischen Isoliermaterial besteht.

**[0014]** Vorteilhaft wird der Druckbehälter des Hoch-

druckgaserhitzers und/oder die Mischkammer durch einen Gasspalt zwischen einer das Gas einschließenden Innenhülle und einer Außenhülle isoliert.

**[0015]** Vorteilhaft sind Hochdruckgaserhitzer, Mischkammer und Lavalldüse zueinander linear und konzentrisch ausgerichtet.

**[0016]** Eine verwinkelte Gasführung in den verfügbaren Spritzpistolen führt zu einer ungleichmäßigen thermischen Belastung, Bauteilverzug und thermisch induzierten Spannungen, welches bei den hier geforderten hohen Gastemperaturen recht schnell zu einer Beschädigung der Pistole führen würde. Die wird durch eine geradlinige Gasführung vermieden.

**[0017]** Die Strömungsrichtung des Gases zwischen Hochdruckgaserhitzer und Mischkammer kann um einen Winkel von bis zu 60° zueinander umgelenkt werden.

**[0018]** Wenn die Strömungsführung im Bereich der Zweiphasenströmung aus zugeführten Partikeln kontinuierlich und frei von Kanten ist, wird dadurch die Gefahr von Partikelablagerungen vermindert. Vor der Mischkammer kann durch eine Umlenkung von bis zu 60° ein kompakterer Aufbau der Kaltgasspritzpistole erreicht werden.

**[0019]** In günstiger Ausführungsform ist die Mischkammer zugleich der konvergierende Abschnitt der Lavalldüse.

**[0020]** Vorteilhaft besitzt der konvergierende Abschnitt der Lavalldüse eine Länge zwischen 50 und 250 mm und weist eine kegelförmige oder konkave oder konvexe Innenkontur auf.

**[0021]** In günstiger Ausführungsform ist der konvergierende Düsenabschnitt von innen isoliert oder besteht insgesamt aus einem isolierenden Material, insbesondere Keramik.

**[0022]** In günstiger Ausführungsform kann der Druckbehälter und/oder die Mischkammer und/oder der konvergierende Abschnitt und/oder der divergierende Abschnitt insgesamt oder zum Teil aus Titan oder Aluminium sowie deren Legierungen bestehen.

**[0023]** Durch die Verwendung von Titan als Konstruktionswerkstoff kann die Spritzpistole besonders leicht gestaltet werden, ebenso durch die Verwendung von Aluminium. Letzteres ist als Konstruktionswerkstoff für die Kaltgasspritzpistole besonders kostengünstig.

**[0024]** In günstiger Gestaltung kann die Strecke zwischen der Partikelzuführung in der Mischkammer und dem Düsenhals 40 bis 400 mm, bevorzugt 100 bis 250 mm betragen.

**[0025]** Abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit des Prozessgases kann dadurch eine ausreichend lange Verweildauer der Partikel in dem erwärmten Gas das Aufheizen der Partikel erreicht werden.

**[0026]** Vorteilhaft kann der Strömungsquerschnitt der Mischkammer und/oder des konvergierenden Abschnitts zwischen dem 5-fachen und 50-fachen der Düsenhalsquerschnittsfläche, bevorzugt zwischen dem 8-fachen und 30-fachen, besonders bevorzugt zwischen dem 10-fachen und 25-fachen auf mindestens 70 % der Strecke von der Partikelzuführung bis zum Düsenhals betragen.

**[0027]** Dadurch ist die Strömungsgeschwindigkeit im Bereich zwischen Partikelzuführung und Düsenhals nicht zu klein, so dass die Zweiphasenströmung aus Gas und Partikeln aufrechterhalten wird. Partikelzusammenballungen und Ablagerungen an Wänden, die den Betrieb der Kaltgasspritzpistole empfindlich stören können, etwa im Falle einer Düsenverstopfung, werden verhindert.

**[0028]** In einer günstigen Ausführungsform besitzt der Düsenhals einen Durchmesser zwischen 2 und 4 mm, der divergierende Abschnitt eine Länge, die dem 30 bis 90-fachen Durchmesser des Düsenhalses entspricht, und liegt zugleich das Flächenverhältnis des Querschnitts am Ende des divergierenden Abschnitts zu demjenigen des Düsenhalsquerschnitts zwischen 3 und 15 und ist die Innenkontur kegelförmig, oder konvex oder konkav.

**[0029]** Vorteilhaft wird das Gas unter einem Druck von 15 bis 100 bar, bevorzugt von 20 bis 60 bar, besonders bevorzugt von 25 bis 45 bar und einem Durchsatzvolumen von 30 und 600 m<sup>3</sup>/h zugeführt.

**[0030]** Dadurch können größere Partikel auf die erforderlichen Geschwindigkeiten beschleunigt werden.

**[0031]** Die Partikelzuführung kann aus einem seitwärts unter einem beliebigen Winkel zugeführten Rohr oder aus einer oder mehreren Bohrungen am Ende des Hochdruckgaserhitzer oder in der Mischkammer bestehen.

**[0032]** Vorteilhaft beträgt die auf den Strömungsquerschnitt im Düsenhals bezogene Heizleistung des Heizelements 1,5 bis 7,5 kW/mm<sup>2</sup>, bevorzugt 2 bis 4 kW/mm<sup>2</sup>.

**[0033]** Das Leistungsvolumen des Heizelements kann von 10 bis 40 MW/m<sup>3</sup>, bevorzugt von 20 bis 30 MW/mm<sup>3</sup> betragen.

**[0034]** Dadurch wird ein kompakter Aufbau möglich.

**[0035]** Der Spritzpistole kann das Gas über einen Kunststoffschlauch, insbesondere aus Teflon, der mit einem zweiten Hochdruckgaserhitzer verbunden ist, auf bis zu 230°C vorerwärmt, oder über einen Heißgasmetschlauch, auf bis zu 700°C vorerwärmt, zugeführt werden kann.

**[0036]** In günstiger Ausführungsform beträgt die auf den Strömungsquerschnitt im Düsenhals bezogene Gesamtheizleistung des Hochdruckgaserhitzers und des zweiten Hochdruckgaserhitzers 4 bis 16 kW/mm<sup>2</sup>, bevorzugt 5 bis 9 kW/mm<sup>2</sup>.

**[0037]** Das Gas kann bei einem erfindungsgemäßen Verfahren nach dem Hochdruckgaserhitzer in der Mischkammer mit Temperaturen größer 600°C, bevorzugt größer 800°C, besonders bevorzugt größer 1000°C zugeführt werden.

**[0038]** Vorteilhaft erreichen mehr als 80 Gewichtsprozent der in der Mischkammer zugeführten Partikel im Düsenhals 70% der Gastemperatur im Düsenhals gemessen in Kelvin.

**[0039]** Dadurch wird eine ausreichende Güte der bildenden Beschichtung sichergestellt, da ein ausreichender Anteil der Partikel die für die Ausbildung der Schicht nötige Energie beim Aufprall hat.

**[0040]** Vorteilhaft kann eine Mischung von Partikeln verwendet werden, deren Masse zu mindestens 80 % aus Partikeln der Körnung zwischen 5 und 150 µm, bevorzugt zwischen 10 und 75 µm und besonders bevorzugt zwischen 15 und 50 µm besteht.

**[0041]** Mit der erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole und dem erfindungsgemäßen Verfahren lässt sich die Aufpralltemperatur größerer Partikel (ab 15 µm) durch effizientes Vorheizen der Partikel im heißen Prozessgasstrom signifikant steigern. Solche größeren Partikel verlieren im expandierenden Gasstrahl der Düse nicht so schnell wieder an Temperatur und die qualitativ hochwertiger und genau spezifizierter Pulver aus Partikeln ist in größeren Fraktionen (-38 +11 µm; -45 +15 µm; -75 +25 µm; -105 +45 µm) unproblematischer und kostengünstiger. Auch die Handhabung und Förderung beim Spritzen ist deutlich einfacher als bei bisher üblichen Pulverfraktionen mit 22 µm und -25 +5 µm.

**[0042]** Ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Hochdruckgaserhitzung wird anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen

**[0043]** [Fig. 1](#) schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole im Längsschnitt,

**[0044]** [Fig. 2](#) schematisch eine weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole im Querschnitt.

rungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole im Längsschnitt und

**[0045]** [Fig. 3](#) schematisch ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole im Längsschnitt und

**[0046]** [Fig. 1](#) zeigt schematisch ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole im Längsschnitt. Ein Druckbehälter **1** weist auf seiner Innenseite eine Isolierung **2** auf. Im Inneren des Druckbehälters **1** ist ein Heizelement **3** angeordnet, hier in Form eines Filamentheizers, der aus einer Vielzahl von elektrischen Heizdrähten besteht. Das aufzuheizende Gas wird dem Druckbehälter **1** über eine Gaszuleitung **4** zugeführt. In dem vorliegenden Beispiel ist der Druckbehälter **1** ein rotationsymmetrischer Körper. Ein Gasaustritt **5** leitet das aufgeheizte oder weiter aufgeheizte Gas in eine Mischkammer **6**, an die sich der konvergierende Abschnitt **7** einer Lavaldüse **8** anschließt. Die Lavaldüse **8** besteht weiter aus einem Düsenhals **9** und einem divergierenden Abschnitt **10**. Ein Partikelrohr **11** kann der Mischkammer **3** Partikel zuführen. Dabei ist die Mündung des Partikelrohrs **11** mit dem sich bildenden Gasstrom ausgerichtet.

**[0047]** Das Gas durchströmt den Druckbehälter **1** und die mit diesem linear ausgerichtete Mischkammer **6** und Lavaldüse **9** wie durch die Pfeile angezeigt, wobei es sich gleichmäßig über den Querschnitt des Heizelements **3** verteilt. Durch die innen angebrachte Isolierung **2** wird erreicht, dass nur wenige Wärmeenergie die Wand des Druckbehälters **1** und der Mischkammer **6** erreicht. Da der Druckbehälter **1** und die Mischkammer **6** an die Umgebung zugleich Wärme abgeben, stellt sich beim Druckbehälter **1** und der Mischkammer **6** eine erheblich niedrigere Temperatur ein, als das erhitzte Gas hat. Der Druckbehälter **1** und die Mischkammer **6** können daher relativ dünnwandig und leicht gebaut sein. In der Mischkammer **3** werden dem erhitzten Gas über das Partikelrohr **11** die zu verspritzenden Partikel beigegeben. Die erfolgt, indem über einen Trägergasstrom die Partikel durch das Partikelrohr befördert werden. Auf der Strecke zwischen Partikelinjektion und engstem Querschnitt der Lavaldüse **9**, dem Düsenhals **10** werden die Partikel aufgeheizt, wobei mehr als 80 Gewichtsprozent der Partikel im Düsenhals die 0,7-fache Temperatur des Gasstrahls in Kelvin an diesem Ort erreichen. Diese Strecke hat bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Länge zwischen 40 und 400 mm, bevorzugt zwischen 100 und 250 mm, je nach verwendeten Partikeln und Gasen. Eine frühe Partikelinjektion wirkt sich zusammen mit der Verwendung größerer Partikel und höherer Gastemperaturen besonders stark auf die Qualität und Effizienz der Beschichtung aus. Dadurch wird eine sehr deutliche Steigerung der Aufpralltemperatur der Partikel erreicht.

**[0048]** In dem divergierenden Abschnitt **11** der Lavaldüse **4** wird das expandierende Gas auf Geschwindigkeiten oberhalb der Schallgeschwindigkeit beschleunigt. Die Partikel werden in dieser Überschallströmung stark beschleunigt und erreichen Geschwindigkeiten zwischen 200 und 1500 m/s. Eine Verlängerung des divergierenden Düsenabschnittes **11** wirkt sich dabei zusammen mit einer erfindungsgemäß möglichen Temperatur- und Drucksteigerung des Gases besonders stark aus. Die effektive Nutzung langgestreckter divergierender Düsenabschnitte **11** erfordert dabei eine hohe Enthalpie des Gases. Vorteilhafte Längen des divergierenden Düsenabschnittes **11** sind dabei 100 mm, bevorzugt 100 bis 300 mm, besonders bevorzugt 150 bis 250 mm.

**[0049]** Eine gleichmäßige Durchströmung des Heizelementes wird sichergestellt, indem die Querschnittsfläche der Heizpatrone nicht größer als das 1500-fache, bevorzugt nicht mehr als das 1000-fache der Fläche des Strömungsquerschnittes im Düsenhals **9** beträgt. Eine solche Kaltgasspritzpistole zeichnet sich durch eine kompakte Bauweise und eine hohe Leistungsdichte aus. Das Längen zu Durchmesser Verhältnis liegt zwischen 3 und 6. Die Leistungsdichte der Kaltgasspritzpistole, der Quotient aus Heizleistung zu Gesamtmasse liegt zwischen 1 und 8 kW/kg, mit einem gut zu verwirklichenden Bereich zwischen 2 und 4 kW/kg. Das verwendete Heizelement **3** besitzt dabei ein Leistungsvolumen von 10 bis 40 MW/m<sup>3</sup>. Damit sind Temperaturen des Gases an der Gaszuleitung von 400°C bis zu 700°C zulässig. Diese Temperatur kann durch eine zweite stationäre Vorheizung erreicht werden, die mit der Kaltgasspritzpistole über einen Schlauch verbunden ist. Wird dabei ein Metallheißgasschlauch verwendet, sind 700°C möglich.

**[0050]** [Fig. 2](#) zeigt schematisch ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole im Längsschnitt. Gleiche Bauteile sind mit denselben Bezugszeichen versehen. Der Druckbehälter **1** und die Mischkammer **6** haben auf ihrer Innenseite eine Isolierung **2**. Im Inneren des Druckbehälters **1** ist das Heizelement **3** angeordnet. An die Mischkammer **6** schließt sich ein konvergierende Abschnitt **12** der Lavaldüse **8** an, die weiter den Düsenhals **9** und den divergierenden Abschnitt **10** umfasst. Das Partikelrohr **11** kann der Mischkammer **3** Partikel zuführen. Der konvergierende Abschnitt **12** hat ebenfalls eine Isolierung **13**.

**[0051]** Dadurch werden eine thermische Belastung der Düse sowie thermische Verluste vermieden.

**[0052]** [Fig. 3](#) zeigt schematisch ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kaltgasspritzpistole im Längsschnitt. Gleiche Bauteile sind wiederum mit denselben Bezugszeichen versehen. Der Druckbehälter **1** hat auf seiner Innenseite eine

Isolierung **2** und in seinem Inneren ist das Heizelement **3** angeordnet. Eine Mischkammer **14** ist zugleich ein konvergierender Abschnitt **15** der Lavaldüse **8**, die weiter den Düsenhals **9** und den divergierenden Abschnitt **10** umfasst. Das Partikelrohr **11** kann in der Mischkammer **3** Partikel zuführen. Der konvergierende Abschnitt **15** bzw. die Mischkammer **15** hat ebenfalls eine Isolierung **16** und weist eine Länge zwischen 50 bis 250 mm auf. Dies ergibt einen einfacheren Aufbau der Kaltgasspritzpistole.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Druckbehälter
<b>2</b>	Isolierung
<b>3</b>	Heizelement
<b>4</b>	Gaszuleitung
<b>5</b>	Gasaustritt
<b>6</b>	Mischkammer
<b>7</b>	konvergierender Abschnitt
<b>8</b>	Lavaldüse
<b>9</b>	Düsenhals
<b>10</b>	divergierender Abschnitt
<b>11</b>	Partikelrohr
<b>12</b>	konvergierender Abschnitt
<b>13</b>	Isolierung
<b>14</b>	Mischkammer
<b>15</b>	konvergierender Abschnitt
<b>16</b>	Isolierung

#### Patentansprüche

1. Kaltgasspritzpistole mit einem Hochdruckgaserhitzer, der einen von Gas durchströmten Druckbehälter (**1**) und ein in dem Druckbehälter (**1**) angeordnetes Heizelement (**3**) aufweist, sowie mit einer Mischkammer (**6, 14**), in der Partikel dem Gas durch eine Partikelzuführung (**11**) zugeführt werden können und einer Lavaldüse (**8**), bestehend aus einem konvergierenden Abschnitt (**7, 12, 15**), einem Düsenhals (**9**) und einem divergierenden Abschnitt (**10**), wobei der Hochdruckgaserhitzer, die Mischkammer (**6, 14**) und die Lavaldüse (**9**) in Strömungsrichtung des Gases aufeinander folgend angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hochdruckgaserhitzer und/oder die Mischkammer (**6, 14**) an den Kontaktflächen mit dem Gas zumindest teilweise innen isoliert sind.

2. Kaltgasspritzpistole nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckbehälter des Hochdruckgaserhitzers und/oder die Mischkammer (**6, 14**) mit einer Isolierung ausgekleidet sind, die aus festen oder flexiblen keramischen Isoliermaterial besteht.

3. Kaltgasspritzpistole nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckbehälter des Hochdruckgaserhitzers und/oder die Mischkammer durch einen Gasspalt zwischen einer das Gas einschließenden Innenhülle und einer Außenhülle

isoliert werden.

4. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Hochdruckgaserhitzer, Mischkammer (**6, 14**) und Lavaldüse (**8**) zueinander linear und konzentrisch ausgerichtet sind.

5. Kaltgasspritzpistole nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Strömungsrichtung des Gases zwischen Hochdruckgaserhitzer und Mischkammer um einen Winkel von bis zu 60° zueinander umgelenkt wird.

6. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischkammer (**14**) zugleich der konvergierende Abschnitt (**15**) der Lavaldüse (**8**) ist.

7. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der konvergierende Abschnitt (**15**) der Lavaldüse eine Länge zwischen 50 und 250 mm aufweist und eine kegelförmige oder konkave oder konvexe Innenkontur besitzt.

8. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der konvergierende Düsenabschnitt (**12, 15**) von innen isoliert ist oder insgesamt aus einem isolierenden Material besteht, insbesondere Keramik.

9. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Druckbehälter und/oder Mischkammer und/oder konvergierender Abschnitt und/oder divergierender Abschnitt insgesamt oder zum Teil aus Titan oder Aluminium sowie deren Legierungen bestehen.

10. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strecke zwischen der Partikelzuführung (**11**) in der Mischkammer (**6, 12, 15**) und Düsenhals (**9**) 40 bis 400 mm, bevorzugt 100 bis 250 mm beträgt.

11. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungsquerschnitt der Mischkammer und/oder des konvergierenden Abschnitts auf mindestens 70 % der Strecke von der Partikelzuführung bis zum Düsenhals zwischen dem 5-fachen und 50-fachen der Düsenhalsquerschnittsfläche, bevorzugt zwischen dem 8-fachen und 30-fachen, besonders bevorzugt zwischen dem 10-fachen und 25-fachen beträgt.

12. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Düsenhals einen Durchmesser zwischen 2 und 4 mm besitzt, der divergierende Abschnitt eine

Länge besitzt, die dem 30 bis 90-fachen Durchmesser des Düsenhalses entspricht, und zugleich das Flächenverhältnis des Querschnitts am Ende des divergierenden Abschnitts zu demjenigen des Düsenhalsquerschnitts zwischen 3 und 15 liegt und die Innenkontur kegelförmig, oder konvex oder konkav ist.

13. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikelzuführung aus einem seitwärts unter einem beliebigen Winkel zugeführten Rohr (11) oder aus einer oder mehreren Bohrungen am Ende des Hochdruckgaserhitzer oder in der Mischkammer besteht.

14. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die auf den Strömungsquerschnitt im Düsenhals bezogene Heizleistung des Heizelements (3) 1,5 bis 7,5 kW/mm<sup>2</sup>, bevorzugt 2 bis 4 kW/mm<sup>2</sup> beträgt.

15. Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Leistungsvolumen des Heizelements (3) von 10 bis 40 MW/m<sup>3</sup>, bevorzugt von 20 bis 30 MW/mm<sup>3</sup> beträgt.

16. Vorrichtung zum Kaltgasspritzen mit einer Kaltgasspritzpistole nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kaltgasspritzpistole das Gas über einen Kunststoffschlauch, insbesondere aus Teflon, der mit einem zweiten Gaserhitzer verbunden ist, auf bis zu 230°C vorerwärmt zuführbar ist.

17. Vorrichtung zum Kaltgasspritzen mit einer Kaltgasspritzpistole nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Spritzpistole das Gas über einen Heißgasmetaltschlauch der mit einem zweiten Gaserhitzer verbunden ist, auf bis zu 700°C vorerwärmt zuführbar ist.

18. Vorrichtung zum Kaltgasspritzen nach Anspruch 16 oder 17 dadurch gekennzeichnet, dass die auf den Strömungsquerschnitt im Düsenhals bezogene Heizleistung des Hochdruckgaserhitzers und des zweiten Gaserhitzers 4 bis 16 kW/mm<sup>2</sup>, bevorzugt 5 bis 9 kW/mm<sup>2</sup> beträgt.

19. Verfahren zum Kaltgasspritzen unter Verwendung einer Kaltgasspritzpistole nach einem der Ansprüche 1 bis 15 oder einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas unter einem Druck von 15 bis 100 bar, bevorzugt von 20 bis 60 bar, besonders bevorzugt von 25 bis 45 bar und einem Durchsatzvolumen von 30 und 600 m<sup>3</sup>/h zugeführt wird.

20. Verfahren zum Kaltgasspritzen nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas

nach dem Hochdruckgaserhitzer in der Mischkammer (6, 14) mit Temperaturen größer 600°C, bevorzugt größer 800°C, besonders bevorzugt größer 1000°C zugeführt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass mehr als 80 Gewichtsprozent der in der Mischkammer (6, 14) zugeführten Partikel im Düsenhals (9) 70% der Gastemperatur in Kelvin im Düsenhals erreichen.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mischung von Partikeln verwendet wird, deren Masse zu mindestens 80 % aus Partikeln der Körnung zwischen 5 und 150 µm, bevorzugt zwischen 10 und 75 µm und besonders bevorzugt zwischen 15 und 50 µm besteht.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

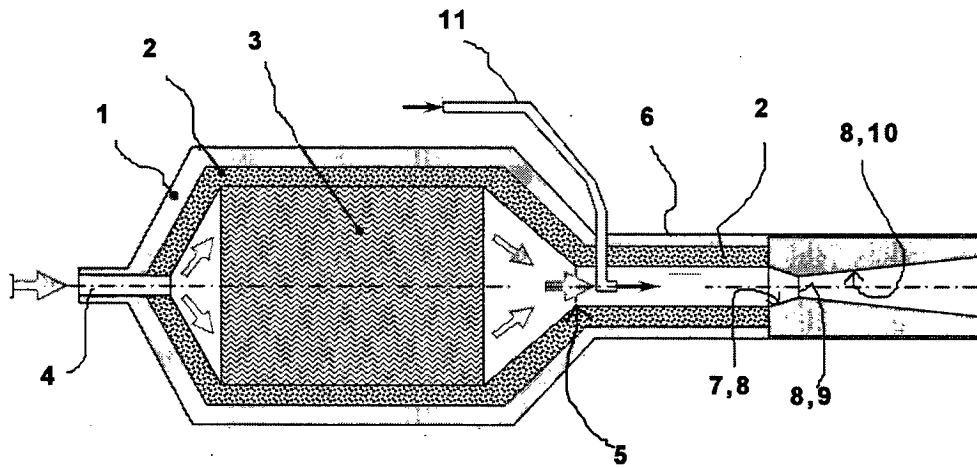


Fig. 1

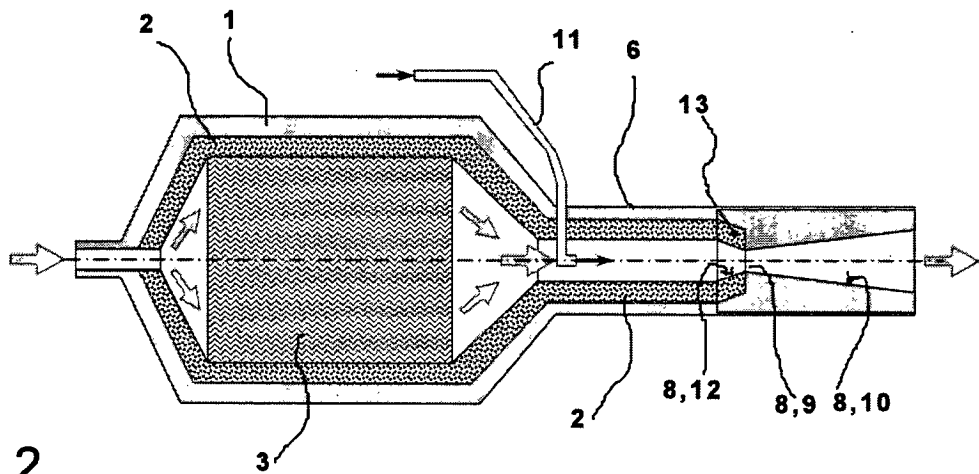


Fig. 2



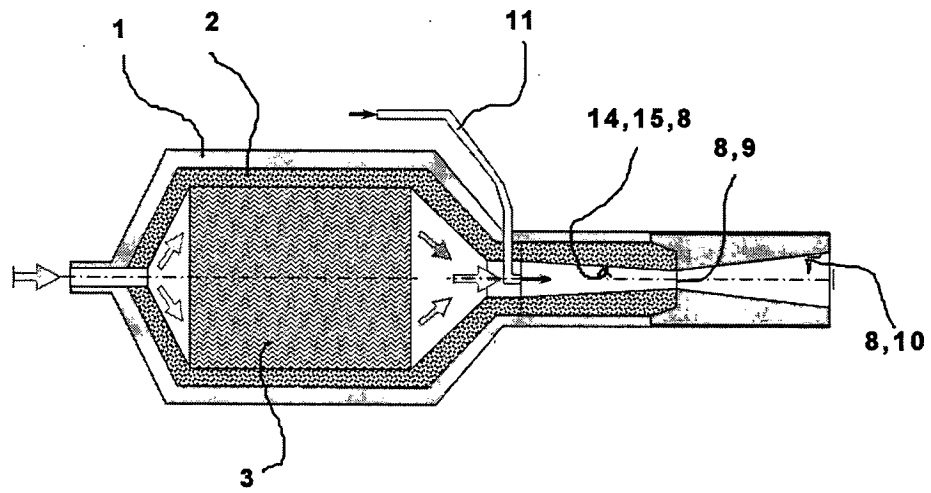


Fig. 3