

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. Mai 2003 (22.05.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/041868 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷:
7/14, C23C 24/04

B05B 7/04,

(74) Gemeinsamer Vertreter: **LINDE AKTIENGESELLSCHAFT**; Zentrale Patentabteilung, 82049 Höllriegelskreuth (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/04978

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. Mai 2002 (06.05.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(30) Angaben zur Priorität:
101 26 100.4 29. Mai 2001 (29.05.2001) DE

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **LINDE AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Abraham-Lincoln-Str. 21, 65189 Wiesbaden (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **HEINRICH, Peter** [DE/DE]; Pestalozzistr. 5, 82110 Germering (DE). **STOLTENHOFF, Thorsten** [DE/DE]; Wischhoff 28b, 21465 Wentorf (DE). **RICHTER, Peter** [DE/DE]; Goethestr. 24, 84431 Heldenstein (DE). **KREYE, Heinrich** [DE/DE]; Werfelring 51, 22175 Hamburg (DE). **RICHTER, Horst** [DE/US]; 11 Abigail Rd., Norwich, VT 05055 (US).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.



WO 03/041868 A2

(54) Title: COLD GAS SPRAYING METHOD AND DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM KALTGASSPRITZEN

(57) Abstract: The invention relates to a cold gas spraying method and device, whereby the sprayed particles are accelerated in a gas flow. According to the invention, a powder tube and an outer nozzle body, together, form a Laval nozzle that produces high gas flow velocities. The injection of the sprayed particles occurs in the divergent section of the Laval nozzle.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen, wobei die Spritzpartikel in einem Gasstrom beschleunigt werden. Dabei bilden erfindungsgemäss ein Pulverrohr und ein äusserer Düsenkörper zusammen eine Lavaldüse, welche die hohen Gasströmungsgeschwindigkeiten herstellt. Dabei findet die Injektion der Spritzpartikel im divergenten Abschnitt der Lavaldüse statt.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zum Kaltgasspritzen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung einer Beschichtung oder eines Formteils mittels Kaltgasspritzen, bei dem die pulverförmigen Spritzpartikel in einen Gasstrahl, für welchen ein Gas auf einen hohen Ausgangsdruck von bis zu 6,3 MPa gebracht und über eine Lavaldüse entspannt wird, mittels eines Pulverrohrs injiziert werden und die Spritzpartikel bei der Entspannung des Gasstrahls in der Lavaldüse auf Geschwindigkeiten von bis zu 2000 m/sec gebracht werden.

- Es ist bekannt, auf Werkstoffe unterschiedlichster Art Beschichtungen mittels thermischen Spritzens aufzubringen. Bekannte Verfahren hierfür sind beispielsweise Flammsspritzen, Lichtbogenspritzen, Plasmaspritzen oder Hochgeschwindigkeits-Flammsspritzen. In jüngerer Zeit wurde ein Verfahren entwickelt, das sog. Kaltgasspritzen, bei welchem die Spritzpartikel in einem "kalten" Gasstrahl auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigt werden. Die Beschichtung wird durch das Auftreffen der Partikel auf dem Werkstück mit hoher kinetischer Energie gebildet. Beim Aufprall bilden die Partikel, die in dem "kalten" Gasstrahl nicht schmelzen, eine dichte und fest haftende Schicht, wobei plastische Verformung und daraus resultierende lokale Wärmeabgabe für Kohäsion und Haftung der Spritzschicht auf dem Werkstück sorgen. Ein Aufheizen des Gasstrahls erwärmt die Partikel zur besseren plastischen Verformung beim Aufprall und erhöht die Strömungsgeschwindigkeit des Gases und somit auch die Partikelgeschwindigkeit. Die damit verbundene Gastemperatur kann bis zu 800 °C betragen, liegt aber deutlich unterhalb der Schmelztemperatur des Beschichtungswerkstoffes, so dass ein Schmelzen der Partikel im Gasstrahl nicht stattfindet. Eine Oxidation und/oder Phasenumwandlungen des Beschichtungswerkstoffes lassen sich somit weitgehend vermeiden. Die Spritzpartikel werden als Pulver zugegeben, wobei das Pulver üblicherweise zumindest teilweise Partikel mit einer Größe von 1 bis 50 µm umfasst. Die hohe kinetische Energie erhalten die Spritzpartikel bei der Gasentspannung. Nach der Injektion der Spritzpartikel in den Gasstrahl wird das Gas in einer Düse entspannt, wobei Gas und Spritzpartikel auf Geschwindigkeiten über Schallgeschwindigkeit beschleunigt werden. Ein solches Verfahren und eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen sind in der europäischen Patentschrift EP 0 484 533 B1 im einzelnen beschrieben. Als Düse wird dabei eine de Laval'sche Düse benutzt, im folgenden kurz

Lavaldüse genannt. Lavaldüsen bestehen aus einem konvergenten und einem sich in Stromrichtung daran anschließenden divergenten Abschnitt. Die Kontur der Düse muß im divergenten Bereich in bestimmter Weise geformt sein, damit es nicht zu Strömungsablösungen kommt und keine Verdichtungsstöße auftreten und die Gasströmung den Gesetzen nach de Laval gehorcht. Charakterisiert sind Lavaldüsen durch diese Kontur und die Länge des divergenten Abschnitts und desweiteren durch das Verhältnis des Austrittsquerschnitts zum engsten Querschnitt. Der engste Querschnitt der Lavaldüse heißt Düsenhals. Als Prozessgas werden Stickstoff, Helium, Argon, Luft oder deren Gemische verwendet. Meist kommt jedoch Stickstoff zur Anwendung, höhere Partikelgeschwindigkeiten werden mit Helium oder Helium-Stickstoff-Gemischen erreicht.

Derzeit sind Vorrichtungen zum Kaltgasspritzen auf Drücke von etwa 1 MPa bis zu einem Maximaldruck von 3,5 MPa und Gastemperaturen bis zu etwa 800 °C ausgelegt. Das erhitzte Gas wird zusammen mit den Spritzpartikeln in einer Lavaldüse entspannt. Während der Druck in der Lavaldüse abfällt, steigt die Gasgeschwindigkeit auf Werte bis zu 3000m/s und die Partikelgeschwindigkeit auf Werte bis zu 2000 m/s. Bekanntermaßen werden die Spritzpartikel mit Hilfe eines Pulverrohrs – in Strömungs- und Spritzrichtung gesehen – vor dem Düsenhals im Eingangsbereich der Lavaldüse in dieselbe injiziert. Dort herrscht ein Druckzustand nahe dem Ausgangsdruck, es sind also Werte bis zu 3,5 MPa möglich. Mindestens ein solcher Druck muss nun bei der Injektion des pulverförmigen Beschichtungswerkstoffes aufgebracht werden. Konzeption und Betreiben eines Pulverförderers sind jedoch bei solch hohen Drücken äußerst problematisch und technisch noch nicht zufriedenstellend gelöst. Von Nachteil sind weiterhin störende Verwirbelungen der Spritzpartikel am Ende des Pulverrohrs, mit dem die Partikel in die Lavaldüse injiziert werden. Diese Verwirbelungen sind hinderlich für die Beschleunigung und wirken sich qualitätsmindernd aus. Ferner ist die Herstellung einer Lavaldüse, in welcher die hohen Gas- und Partikelgeschwindigkeiten erreicht werden, aufgrund ihres kleinsten engsten Querschnittes von nur 1,5 bis 3,5 mm Durchmesser sehr aufwendig und kostenintensiv.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art aufzuzeigen, welche die Injektion der Spritzpartikel unter Vermeidung der erwähnten Nachteile durchführt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Injektion der Spritzpartikel erst im divergenten Abschnitt der Lavaldüse erfolgt. Das Verschieben der Injektionsstelle hin in einen Bereich, wo sich die Düse bereits wieder erweitert, bedeutet, dass die Injektion bei einem Druck stattfindet, der deutlich unter dem maximalen Ausgangsdruck liegt, da in diesem Bereich bereits die Entspannung des Gases einsetzt. Der im Bereich des Düsenhalses einsetzende starke Druckabfall lässt es sogar zu, den Gaseintrittsdruck auf bis zu 6,3 MPa zu erhöhen. Wegen des Druckabfalls erleichtert sich das Injizieren der pulverförmigen Spritzpartikel wesentlich und aus den thermischen Spritzverfahren bekannte Technik kann verwendet werden. Insbesondere Konzeption und Betrieb des Pulverförderers vereinfachen sich und gängige Pulverförderer, die üblicherweise im Bereich bis zu 1,5 MPa arbeiten, können benutzt werden. Da im divergenten Teil der Lavaldüse nicht nur der Druck absinkt, sondern auch die Temperatur des Gases abfällt, kann das Gas auf höhere Temperaturen vorgewärmt werden. Damit kann die Strömungsgeschwindigkeit des Gases erhöht werden. Die Spritzpartikel kommen jedoch erst mit dem "kalten" Gas in Berührung. Ein Anbacken der Partikel an die Düsenwand, wie es bei höheren Gaseintrittstemperaturen geschieht, ist damit unterbunden.

In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ergibt die Kombination der Formen, also die Außenkontur des Pulverrohrs zusammen mit der Innenkontur des äußeren Rohrs, in welchen das Gas strömt, eine Düse, die den Gesetzmäßigkeiten von de Laval gehorcht. Vorteilhafterweise wird das Pulverrohr dabei axial und zentrisch in dem äußeren Düsenkörper angebracht. Mit dieser Lavaldüse kann das Verfahren des Kaltgas-spritzens vorteilhaft betrieben werden. Das vorgewärmte Gas wird auf Geschwindigkeiten von bis zu 3000m/s beschleunigt. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten des Gases sind für hohe Partikelgeschwindigkeiten Voraussetzung. Der Kontakt der Partikel mit dem Gas erfolgt bei hohen Geschwindigkeiten und bei Temperaturen, bei welchen die Spritzpartikel nur aufgewärmt werden. Dadurch werden die angewärmten Spritzpartikel optimal beschleunigt, bevor sie auf das Werkstück treffen.

In vorteilhafter Ausgestaltung erfolgt die Injektion der Spritzpartikel an einem Ort, der in dem Bereich zwischen einem Viertel und der Hälfte einer Strecke liegt, deren Anfangspunkt durch den Düsenhals und deren Endpunkt durch den Düsenaustritt festgelegt ist, wobei vom Düsenhals aus gemessen wird.

Der Injektionsort für die Spritzpartikel ist vorteilhafterweise so gewählt ist, dass die Injektion der Spritzpartikel in dem divergenten Abschnitt der Lavaldüse bei einem Druck von weniger als zwei Drittel des Ausgangsdrucks erfolgt. Damit ist eine einfache Spritzpartikelinjektion gewährleistet und gängige Pulverförderer können benutzt werden.

- 5 Selbst eine Injektion der Spritzpartikel bei Drücken, die unterhalb des Normaldrucks liegen, ist möglich. Dies bedeutet, dass zur Injektion kein Druck aufgewendet werden muss, da die Spritzpartikel in den Gasstrahl eingezogen werden. Andererseits kann der Eintrittsdruck für das Gas deutlich höher gewählt werden als bei heute üblichen Kaltgasspritzen-Verfahren. Ein hoher Gaseintrittsdruck, der bei dem erfindungsgemäßen
10 Verfahren bis zu 6,3 MPa, vorzugsweise zwischen 1,0 und 3,5 MPa, betragen kann, hat hohe Gasgeschwindigkeiten zur Folge und ermöglicht somit hohe Geschwindigkeiten für die Spritzpartikel.

- In einer vorteilhaften Variante der Erfindung hat der Gasdurchlass an der engsten Stelle einen kreisringförmigen Querschnitt. Dieser wird nach innen begrenzt durch die
15 äußere Kontur des Pulverrohrs und nach außen begrenzt durch die innere Kontur des Düsenrohrs. In diesem Gasdurchlass wird das Gas beschleunigt. Durch die Größe des Gasdurchlasses ist ferner der Gasverbrauch beim Kaltgasspritzen vorgegeben. Da der kreisringförmige Querschnitt ohne Probleme klein gewählt werden kann, ist das hier
20 vorgeschlagene Verfahren wirtschaftlich anwendbar.

- Die erfindungsgemäße Kaltgasspritzeinrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Pulverrohr innerhalb der Lavaldüse im divergenten Abschnitt endet. Damit endet das Pulverrohr in einem Bereich, in welchem der Druck durch die einsetzende Gasbeschleunigung bereits abfällt. Die Konstruktion des Pulverförderers vereinfacht sich
25 damit wesentlich, da dieser nur für den niedrigeren Druck dimensioniert werden muss, der am Ende des Pulverrohrs herrscht. Die Lavaldüse besteht nunmehr durch das Einbringen des Pulverrohrs in einen äußeren Düsenkörper erfindungsgemäß aus zwei Teilen, die gut zu fertigen sind. Der äußere Düsenkörper, dessen Innenseite bearbeitet werden muß, ist relativ groß und das Pulverrohr, das den zweiten Teil der Lavaldüse bildet, ist nur an der Außenseite zu bearbeiten. Die erfindungsgemäße benötigte Lavaldüse ist damit deutlich leichter als die bisher verwendeten Düsen zu fertigen, da insbesondere die Innenkontur einer Düse, wenn diese sehr eng ist, problematisch herzustellen ist. Dies ist von großem Vorteil, da die Düse beim Kaltgasspritzen großem Verschleiß unterliegt und deshalb regelmäßig ausgetauscht werden muß. Der Gas-
30
35

verbrauch der erfindungsgemäßen Kaltgasspritzeinrichtung erhöht sich durch den größeren Querschnitt der Lavaldüse nicht, da dieser über den engsten Abstand der Außenkante des Pulverrohrs und der Innenkontur des äußeren Düsenkörpers gegeben ist. Dies ist notwendig, da der Gasverbrauch, der bereits bei dem Stand der Technik
5 entsprechendem Verfahren sehr hoch ist, nicht weiter gesteigert werden darf, um das hier vorgeschlagene Verfahren wirtschaftlich ausführen zu können. Auch werden qualitätsmindernde Verwirbelungen der Spritzpartikel, die am Austrittsort entstehen, durch eine solche Ausgestaltung der Lavaldüse aus Pulverrohr und äußerem Düsenkörper unterbunden.

10

In Weiterbildung der Erfindung ergeben die innere Form eines äußeren Düsenkörpers zusammen mit der äußeren Form eines coaxial in dem äußeren Düsenkörper angeordneten, in Spritzrichtung orientiertem Pulverrohrs eine Lavaldüse. Das Pulverrohr ist dabei vorteilhafterweise axial und zentrisch im äußeren Düsenkörper angeordnet. Eine
15 derartig gestaltete Lavaldüse ist - im Vergleich zu den nach dem Stand der Technik benutzten Düsen - unproblematisch herzustellen, da durch die erfindungsgemäße Konstruktion die Innenkontur des äußeren Düsenkörpers und/oder die Außenseite des Pulverrohrs zu fertigen ist. Dies ist im Vergleich unproblematisch, da der äußere Düsenkörper im Verhältnis groß und damit relativ leicht anzufertigen ist und bei dem klei-
20 nen Pulverrohr nur die einfach zu bearbeitende Außenfläche und nicht die Innenkontur zu bearbeiten ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Kaltgasspritzeinrichtung insbesondere derart gestaltet, dass die ringförmige Fläche für den Gasdurchlass, die
25 durch den Abstand der Außenkontur des Pulverrohrs und der Innenkontur des äußeren Düsenkörpers bestimmt ist, an ihrer kleinsten Stelle eine Größe von 1 bis 30 mm², vorzugsweise von 3 und 10 mm², hat. Durch dieses Merkmal ist gewährleistet, dass der Gasverbrauch, der durch diese ringförmige Fläche gegeben ist, vergleichbar mit dem Gasverbrauch einer Kaltgasspritzeinrichtung nach dem Stand der Technik ist und
30 auch die sonstige Funktion sich in günstiger Weise ergibt. Dies ist insbesondere deshalb notwendig, um die Wirtschaftlichkeit der Vorrichtung zu gewährleisten.

In Weiterbildung der Erfindung hat das innen befindliche Pulverrohr auf seiner Außenseite eine derart gestaltete Kontur, dass sich zusammen mit einer glatten, zylindrischen
35 Innenkontur des äußeren Düsenkörpers eine Lavaldüse ergibt.

Alternativ ergibt sich eine Lavaldüse aus einem innen befindliche Pulverrohr mit glatter zylindrischen Außenseite und außen liegendem Düsenkörper, der auf seiner Innenseite entsprechend geformt ist.

5

Die Lavaldüse wird in einer anderen Möglichkeit dadurch gebildet, dass die notwendige Kontur für die Lavaldüse teilweise auf der Außenseite des Pulverrohres und teilweise auf der Innenseite des äußeren Düsenkörpers aufgebracht wird.

10 Das Öffnungsverhältnis der Lavaldüse, d. h. das Verhältnis der Querschnittsfläche für den Gasdurchlass an der engsten Stelle zum Querschnitt am Austritt der Düse, liegt in einer vorteilhaften Ausgestaltung zwischen 1 : 2 und 1 : 25, vorzugsweise zwischen 1 : 5 und 1 : 11.

15 In einer bevorzugten Variante hat der äußere Düsenkörper im konvergenten Bereich einen kreisringförmigen Querschnitt, der im divergenten Bereich der Düse in einen rechteckigen Querschnitt übergeht. Mit Hilfe rechteckiger Formen werden schmale Bereiche und große Flächen vorteilhaft beschichtet.

20 Vorteilhafterweise besteht sowohl das Pulverrohr als auch der äußere Düsenkörper jeweils aus einem metallischen Werkstoff, einer Keramik oder einem Kunststoff.

Pulverrohr und Düsenkörper bestehen in vorteilhafter Ausgestaltung aus unterschiedlichen Materialien. In Frage kommen hierfür unterschiedliche Metalllegierungen, unterschiedliche Keramiken, unterschiedliche Kunststoffe, oder eine Kombination davon,
25 z. B. Metall/Keramik, Metall/Kunststoff, Kunststoff/Keramik. Vorzugsweise besteht der äußere Düsenkörper aus Metall, während das innenliegende Pulverrohr aus Keramik gefertigt ist.

30 Pulverrohr und/oder äußerer Düsenkörper sind in einer vorteilhaften Variante aus – in Strömungsrichtung betrachtet – zwei oder mehr Teilen zusammengefügt, bei denen das erste Teil den Bereich um den Düsenhals umfasst und sich ein zweites bis zum Düsenaustritt reichendes Teil daran anschließt. Dabei ist das zweite Teil leicht zu tauschen und wird hinsichtlich seiner Gestalt und Werkstoffwahl nach den Anforderungen
35 der verschiedenen Spritzwerkstoffen ausgewählt.

Die beiden eben genannten Teile bestehen dabei vorteilhafterweise aus unterschiedlichen Werkstoffen.

- 5 Im folgendem soll die Erfindung anhand zweier schematisch dargestellten Beispiele näher erläutert werden:

In Figur 1 ist eine erfindungsgemäße Kaltgasspritzeinrichtung gezeigt, in dessen Ausführung das Pulverrohr im divergenten Bereich des äußeren Düsenkörpers endet.

10

In Figur 2 sind drei Varianten für die Ausgestaltung der Lavaldüse aus Pulverrohr und äußerem Düsenkörper gezeigt.

15

Die in Figur 1 schematisch gezeigte Kaltgasspritzeinrichtung umfasst ein zylindrisches Gehäuse 5 mit innenliegender Vorkammer 3, die ausgangsseitig eine Gasverteiblende 4 abschliesst, die wiederum mittig von einem Pulver(zufuhr)rohr 2 durchdrungen wird. An die Gasverteiblende 4 schließt sich ein äußerer Düsenkörper 1 an, wobei Blende 4 und Düse 1 mit einer Überwurfmutter 6 am Gehäuse 5 befestigt sind. Die Spritzrichtung der gezeigten Vorrichtung ist durch einen Pfeil 7 gekennzeichnet. Das Pulverrohr 2 ist axial und zentrisch im äußeren Düsenkörper 1 angeordnet. Das der Mittelachse des äußeren Düsenkörpers 1 folgende Pulverrohr 2, gehalten von der Blende 4, endet vom Gehäuse kommend hinter der engsten Stelle im divergenten Bereich des äußeren Düsenkörpers 1, wo der Gasdruck bereits beträchtlich im Vergleich zum Anfangsdruck abgefallen ist und üblicherweise lediglich die Hälfte dessen beträgt. Der hohe Anfangsdruck herrscht in der Vorkammer 3 und beträgt in heute üblichen Anwendungen häufig zwischen 1 und 3,5 MPa und kann durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Kaltgasspritzeinrichtung auf bis zu 6,3 MPa gesteigert werden.

20

25

30

35

Fig. 2 zeigt drei besonders vorteilhafte Ausgestaltungen einer erfindungsgemäßen Kaltgasspritzeinrichtung wobei insbesondere Bezug auf die Gestaltung des Pulverrohrs 2 und des äußeren Düsenkörpers 1 genommen wird (Bezugsziffern wie in Fig. 1). In den Figuren 2a, b und c ist das Pulverrohr 2 jeweils von dem äußeren Düsenkörper 1 umgeben. Die Kombination der inneren Kontur des äußeren Düsenkörpers und der äußeren Form des Pulverrohrs ergeben eine Lavaldüse. In Fig. 2a ergibt eine glatte,

5 zylindrische Innenform des äußeren Düsenkörpers zusammen mit einer nach außen gewölbten Außenkontur des Pulverrohrs die Lavaldüse. In Fig. 2b ist hingegen das Pulverrohr zylindrisch geformt und der äußere Düsenkörper in seiner Innenseite geschwungen. Düsenkörper und Pulverrohr sind in Fig. 2c derartig geschwungen, so dass sich die für die Lavaldüse notwendige Kontur aus der Kombination der Formen der Außenseite des Pulverrohrs und der Innenseite des äußeren Düsenkörpers ergibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung oder eines Formteils mittels Kaltgasspritzen, bei dem pulverförmige Spritzpartikel in einen Gasstrahl, für welchen ein Gas komprimiert und über eine Lavaldüse entspannt wird, injiziert werden und die Spritzpartikel bei der Entspannung des Gasstrahls in der Lavaldüse auf Geschwindigkeiten von bis zu 2000 m/s gebracht werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Injektion der Spritzpartikel erst im divergenten Abschnitt der Lavaldüse erfolgt.
5
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spritzpartikel mittels eines koaxial in einem äußeren Düsenkörper angeordneten, in Spritzrichtung orientierten Pulverrohrs in den Gasstrahl injiziert werden, wobei das Pulverrohr in seiner äußeren Form zusammen mit der inneren Form des äußeren Düsenkörpers eine de Laval'sche Düse ergeben.
10
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Injektion der Spritzpartikel an einem Ort erfolgt, der in dem Bereich zwischen einem Viertel und der Hälfte einer Strecke liegt, deren Anfangspunkt durch den Düsenhals und deren Endpunkt durch den Düsenaustritt festgelegt ist, wobei vom Düsenhals aus gemessen wird.
15
20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Injektion der Spritzpartikel in den divergenten Abschnitt der Lavaldüse bei einem Druck von weniger als zwei Drittel des Ausgangsdrucks erfolgt.
25
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gasdurchlass an der engsten Stelle einen kreisringförmigen Querschnitt hat, der nach innen begrenzt wird durch die äußere Kontur des Pulverrohrs und nach außen begrenzt wird durch die innere Kontur des Düsenrohrs.
30
6. Kaltgasspritzeinrichtung mit einer Lavaldüse bestehend aus einem äußerem Düsenkörper (1) und einem Pulverrohr (2), wobei das Pulverrohr für die Zufuhr von Spritzpartikel innerhalb des äußerem Düsenkörpers sorgt, **dadurch**

gekennzeichnet, dass das Pulverrohr innerhalb des äußeren Düsenkörpers im divergenten Abschnitt der Lavaldüse endet.

- 5 7. Kaltgasspritzeinrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die innere Form eines äußeren Düsenkörpers zusammen mit der äußeren Form eines coaxial in dem äußeren Düsenkörper angeordneten, in Spritzrichtung orientiertem Pulverrohrs eine Lavaldüse ergeben.
- 10 8. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ringförmige Fläche für den Gasdurchlass, die durch den Abstand der Außenkontur des Pulverrohrs und der Innenkontur der äußeren Düse bestimmt ist, an ihrer kleinsten Stelle zwischen eine Größe von 1 bis 30 mm², vorzugsweise 3 bis 10 mm², hat.
- 15 9. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das innen befindliche Pulverrohr auf seiner Außenseite eine derart gestaltete Kontur hat, dass sich zusammen mit einer glatten, zylindrischen Innenkontur des äußeren Düsenkörpers eine Lavaldüse ergibt.
- 20 10. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das innen befindliche Pulverrohr eine glatte zylindrische Außenseite hat und der außen liegende Düsenkörper auf seiner Innenseite so geformt ist, dass sich eine Lavaldüse ergibt.
- 25 11. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die notwendige Kontur für eine Lavaldüse teilweise auf der Außenseite des Pulverrohres und teilweise auf der Innenseite des äußeren Düsenkörpers aufgebracht wird.
- 30 12. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Öffnungsverhältnis der Lavaldüse, d. h. das Verhältnis der Querschnittsfläche für den Gasdurchlass an der engsten Stelle zum Querschnitt am Austritt der Düse, zwischen 1 : 2 und 1 : 25, vorzugsweise zwischen 1 : 5 und 1 : 11 liegt.

13. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der äußere Düsenkörper im konvergenten Bereich einen kreisringförmigen Querschnitt hat, der in der Nähe des Düsenhalses oder im divergenten Bereich der Düse in einen rechteckigen Querschnitt übergeht.

5

14. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass Pulverrohr und äußerer Düsenkörper jeweils aus einem metallischen Werkstoff, einer Keramik oder einem Kunststoff bestehen.

10

15. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass Pulverrohr und äußerer Düsenkörper aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

15

16. Kaltgasspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass Pulverrohr und/oder äußerer Düsenkörper – in Strömungsrichtung betrachtet – aus zwei oder mehr Teilen zusammengefügt sind, bei denen das erste Teil den Bereich um den Düsenhals umfasst und sich ein zweites bis zum Düsenaustritt reichendes Teil daran anschließt, wobei das zweite Teil leicht auswechselbar ist.

20

17. Kaltgasspritzeinrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Teile aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen.



