

(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
19. April 2012 (19.04.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/048703 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE2011/075229
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
22. September 2011 (22.09.2011)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
20 2010 008 661.2
29. September 2010 (29.09.2010) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ [DE/DE]; Straße der Nationen 62, 09107 Chemnitz (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** PACZKOWSKI, Gerd [DE/DE]; Maxim-Gorki-Straße 2, 08349 Johanngeorgenstadt (DE). RUPPRECHT, Christian [DE/DE]; Kapellenberg 10, 09120 Chemnitz (DE). WIELAGE, Bernhard [DE/DE]; Bornsberg 38, 32805 Horn-Bad Meinberg (DE).
- (74) **Anwalt:** RUMRICH, Gabriele; Limbacher Straße 305, 09116 Chemnitz (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR THERMAL SPRAYING

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM THERMISCHEN SPRITZEN

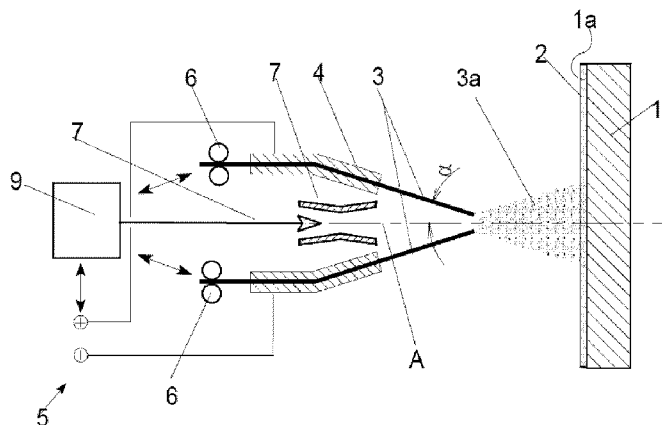


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method and a device for thermal spraying, in particular for arc spraying using a filler material (3), which is melted by an arc generated by means of electrodes, wherein the compressed gas (8) flows out through a nozzle (7) at high velocity and sprays the molten filler material (3) onto a prepared surface (1a), and wherein, according to the invention, the compressed gas (8) is generated with a modulated/pulsating gas flow having high velocity, whereby an undesirably developing eddy region of the molten material in the region of the ends of the filler material (3) is restricted or prevented. The device comprises a unit for generating the compressed gas (8) having high velocity and means by which the modulated/pulsating gas flow having high velocity can be generated such that particles/drops of the molten material are prevented from depositing or staying on the nozzle (7) and/or on the filler material (3) and/or particles/drops that have been deposited thereon are detached.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/048703 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum thermischen Spritzen, insbesondere zum Lichtbogenspritzen mit Zusatzwerkstoff (3), der durch einen mittels Elektroden erzeugten Lichtbogen aufgeschmolzen wird, wobei das Druckgas (8) mit hoher Geschwindigkeit durch eine Düse (7) ausströmt und das aufgeschmolze Material des Zusatzwerkstoffes (3) auf eine vorbereitete Oberfläche (1a) spritzt, und wobei erfindungsgemäß das Druckgas (8) mit einer modulierten/pulsierenden Gasströmung hoher Geschwindigkeit erzeugt wird, wodurch ein sich unerwünscht aufbauendes Wirbelgebiet des aufgeschmolzenen Materials im Bereich der Enden des Zusatzwerkstoffes (3) eingeschränkt oder verhindert wird. Die Vorrichtung weist eine Einrichtung zur Erzeugung des Druckgases (8) hoher Geschwindigkeit sowie Mittel auf, durch welche die modulierten/pulsierende Gasströmung hoher Geschwindigkeit erzeugbar ist derart, dass ein Absetzen bzw. Verweilen von Partikeln/Tropfen des aufgeschmolzenen Materials an der Düse (7) und/oder am Zusatzwerkstoff (3) verhindert wird und/oder daran abgesetzte Partikeln/Tropfen gelöst werden.

Verfahren und Vorrichtung zum thermischen Spritzen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum thermischen Spritzen, insbesondere zum Lichtbogenspritzen mit Zusatzwerkstoff, wie es beispielsweise das Drahtlichtbogenspritzen ist, nach dem Oberbegriff des ersten und achten Patentanspruchs, wobei ein Zusatzwerkstoff, meist zwei elektrisch leitende Drähte, durch einen Lichtbogen aufgeschmolzen und mittels eines Druckgases (auch als Zerstäubergas bezeichnet) mit hohen Geschwindigkeiten im Bereich 1 Mach und größer auf eine vorbereitete Oberfläche gespritzt werden.

5 Dazu wird ein Brenner mit einer entsprechenden Düse mit einer vorzugsweise zentrischen Strömungsöffnung für das Druckgas verwendet. Die Drähte werden durch stromführende Hülsen mit unterschiedlicher Polung zugeführt, wobei dafür eine Drahtvorschub-einrichtung Verwendung findet.

10 Beispielsweise beim Drahtlichtbogenspritzen wird ein Kurzlichtbogen erzeugt, der infolge seiner hohen Temperatur (größer 5000K) den drahtförmigen Spritzzusatzwerkstoff partiell aufschmilzt. Eine oder mehrere Zerstäubergasdüsen (führen das Zerstäubergas gerichtet zu der aufgeschmolzenen Materialphase. Infolge des dynamischen Drucks der Zerstäubergasströmung wird die Materialphase zerstäubt und durch Impulsübertragung der Gasphase im resultierenden Freistrahle beschleunigt. Bei herkömmlichen Verfahren

15 (Stand der Technik) wird die Zerstäubergasmenge kontinuierlich gefördert. Dies führt zu massiven Rezirkulationsgebieten hinter dem drahtförmigen Spritzzusatzwerkstoff, mit der Folge, dass aufgeschmolzenes Spritzgut im Bereich der Drahtenden auf den wirbelförmigen Trajektorien verweilt. In dieser Zeit wird der Werkstoff infolge des Luftsauerstoffs der Umgebungs- bzw. Druckluft oxidiert. Durch das kontinuierliche

20 Abschmelzen des Drahtes vergrößert sich die rezirkulierende Menge der schmelzflüssigen Phase, mit dem Resultat einer inhomogenen Zerstäubung kritisch angewachsenen Schmelztropfen. Der sich um die Drahtenden ausbreitende Freistrahle baut eine so genannte "Karmansche Wirbelstraße" auf. Diese hat zur Folge, dass der partikelbeladene Freistrahle extrem aufweitet (divergiert). Durch die hohe Divergenz

25 gelangt ein Teil der Partikelphase in langsame Außenbereiche der Zerstäubergasströmung und steht somit einer materialeffizienten Beschichtung (vor allem bei kleinen Bauteilen) entgegen.

Aus der Druckschrift EP 0 879 645 A2 ist zwar eine Lösung bekannt, durch welche die

35 Standzeit der Vorrichtung verlängert werden soll. Dafür wird in die den Draht umgebende stromführende Hülse seitlich ein sogenanntes Spülgas eingebracht, welches die auf der

Oberfläche des Drahtes befindlichen lockeren Verunreinigungen in der Gegenrichtung der Vorschubrichtung des Drahtes entfernt. Vorzugsweise wird dazu ein Teil des Spülgases des Zerstäubergasstromes abgezweigt. Dies beseitigt jedoch nicht die vorgenannten Nachteile des sich unerwünscht absetzenden aufgeschmolzenen Materials auf Bereichen
5 der Düse oder des Drahtes.

Mit einem in der Druckschrift DE 433 46 10 A1 beschriebenen Verfahren zum thermischen Spritzen sollen relativ raue Verschleißschichten erzeugt werden, indem die auf die Oberfläche auftreffenden Partikel größer als 0,2 mm sind und durch die Wirkung
10 der Schwerkraft auf die Oberfläche gelangen. Dabei ist es möglich, die Partikel durch Impulse, insbesondere durch Druckgasimpulse, aus dem geschmolzenen Zusatzwerkstoff auszulösen. Die durch das Druckgas erzeugten Geschwindigkeiten sind somit nur sehr gering. Dieses Verfahren ist für die Erzeugung dünner gleichmäßiger und fest haftender Schichten nicht geeignet. Weiterhin wird durch diese Lösung nicht das Absetzen
15 aufgeschmolzener Partikel auf der Düse oder am Draht verhindert. Systembedingt ist es mit diesem Verfahren nur möglich, mit einem nach unten weisenden Brenner zu arbeiten, wodurch in andere Raumrichtungen keine Beschichtungen möglich sind.

Ein Verfahren zum Betrieb eines Plasmaspritzbrenners ist aus der Druckschrift CH 578
20 622 bekannt. Dabei weist das Arbeitsgas vor seinem Eintritt in die Düse einen Druck von größer / gleich 7 Atmosphären und der Brennstrom des Bogens einen Wert von größer /gleich 1000 Amper auf. Der Gasstrom des Arbeitsgases und der Brennstrom werden synchron gepulst, wobei der Gasfluss durch die Düse und der Brennstrom zwischen den Impulsen auf Werte nahezu oder gleich Null gebracht werden. Der Plasmaspritzbrenner
25 weist eine stiftförmige Kathode auf. An diese schließt sich in Arbeitsrichtung eine anodisch geschaltete Laval-Düse an, die sich in Arbeitsrichtung erweitert. Durch eine Gleichspannung wird ein Lichtbogen zwischen Anode und Kathode erzeugt und dass durch den Plasmabrenner strömende Arbeitsgas, welches teilchenförmiges Spritzgut enthält, wird durch den Lichtbogen geleitet und hierbei ionisiert und erzeugt **oberhalb** des
30 Düseneintritts und somit **innerhalb** des Plasmaspritzbrenners einen Plasmastrahl, der durch die Düse strömt und aus dieser mit einer Geschwindigkeit von einigen 1000 m/s austritt, auf das zu beschichtende Substrat prallt und dieses mit den aufgeschmolzenen Teilchen beschichtet. Zum Pulsen des Gasflusses wird die Kathode über Nocken axial auf und ab bewegt, so dass der Düseneinlauf puls förmig geöffnet und geschlossen wird.
35 Dabei kann der Düseneinlauf der anodisch geschalteten Düse nicht vollständig

geschlossen werden, da dies zu einem Kurzschluss führen würde. Es ist somit immer eine Strömung des Arbeitsgases vorhanden.

Diese Lösung soll zur Erzeugung festhaftender Schichten verwendet werden, wobei davon ausgegangen wird, dass in Plasmastrahlen Geschwindigkeiten von einigen 1000
5 m/s (Unterschallströmung des Plasmas) erzeugt werden können, wenn große Werte des Bogenbrennstroms und hohe Gasdrücke vorgesehen werden. Da dies zu einer sehr hohen thermischen Belastung der Düse führt, wird bei diesem Stand der Technik eine gepulste Arbeitsweise vorgeschlagen.

10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum thermischen Hochgeschwindigkeits-Spritzen mit Zusatzwerkstoff zu entwickeln, die ein unerwünschtes Absetzen des aufgeschmolzenen Materials an der Düse oder am Zusatzmaterial vermeidet und bei hohen Partikelgeschwindigkeiten eine Schicht hoher Qualität bei einem
15 homogenen Schichtaufbau gewährleistet.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des ersten und achten Patentanspruchs gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

20 Bei dem Verfahren zum thermischen Hochgeschwindigkeits-Spritzen, insbesondere zum Lichtbogenspritzen mit Zusatzwerkstoff, der durch einen mittels Elektroden erzeugten Lichtbogen aufgeschmolzen wird, strömt ein Druckgas mit hoher Geschwindigkeit durch eine Düse aus und spritzt das aufgeschmolzene Material des Zusatzwerkstoffes auf eine meist vorbereitete Oberfläche, wobei das Druckgas erfindungsgemäß mit einer
25 modulierten/ pulsierenden Gasströmung hoher Geschwindigkeit erzeugt und dadurch die Ausbildung eines quasistationären Wirbelfeldes des aufgeschmolzenen Materials im Bereich der Enden des Zusatzwerkstoffes eingeschränkt oder verhindert wird. Durch die Reduzierung oder Vermeidung des sich aufbauenden Wirbelgebietes aufgeschmolzener Partikel des Zusatzwerkstoffes, welches insbesondere im Bereich
30 hinter den Enden des Zusatzwerkstoffes (in Strömungsrichtung gesehen) hervorgerufen wird, kann ein Absetzen bzw. Verweilen von Partikeln/Tropfen des aufgeschmolzenen Materials auf dem Brenner bzw. Bauteilen des Brenners der Düse und/oder am Zusatzwerkstoff vermieden werden bzw. werden daran abgesetzte Partikel/Tropfen
35 aufgelöst. Dadurch wird ein unerwünschtes Absetzen von Partikeln/Tropfen des aufgeschmolzenen Zusatzwerkstoffes an dem Brenner / der Düse und/oder am

Zusatzwerkstoff selbst vermieden, wodurch ein gleichmäßigeres Auftragen des Zusatzwerkstoffes auf dem Grundwerkstoff gegeben ist.

Bevorzugt wird eine modulierte/pulsierende Gasströmung bei einer zeitlichen Veränderung des Gasvolumenstroms des Druckgases unter Verwendung einer
5 Zerstäubergasdüse erzeugt.

Die unter hohem Druck stehende Gasströmung expandiert dabei bevorzugt in der Düse auf Geschwindigkeiten größer Mach 1. Diese hohen Geschwindigkeiten des Zerstäubergases gewährleisten eine Beschleunigung der aufgeschmolzenen
10 Materialphase und deren Haftung auf dem Grundwerkstoff.

Vorteilhafter Weise erfolgt die Modulation der Gasströmung des Druckgases in Abhängigkeit vom Regelverhalten der Strom-Spannungsquelle. Es ist jedoch auch möglich die Frequenz/Modulation des Druckgases unabhängig von der Frequenz der
15 Strom-Spannungsquelle zu steuern bzw. zu regeln.

Die gepulste Gasströmung, welche zur Vermeidung des Rezirkulierens des Zerstäubergases hinter den Drahtenden und hinter dem Lichtbogen und/oder zur verzögerungsfreien Ablösung der aufgeschmolzenen Tropfen bzw. Partikel des
20 Zusatzwerkstoffen führt, wird dabei bevorzugt in Abhängigkeit von den elektrischen Parametern (Strom, Spannung bzw. Strom-Spannungs-Kennlinie) der Strom-Spannungsquelle und /oder in Abhängigkeit von den strömungsmechanischen Bedingungen an die jeweilige Beschichtungsaufgabe angepasst und kann durch wenige
25 Versuche ermittelt werden.

Die Veränderung der Frequenz des Pulses der Gasströmung des Zerstäubergases erfolgt bevorzugt mit einer Frequenz ab 20 Hz, wobei es auch möglich ist, die Frequenz bzw. die
30 Pulsdauer der Gasströmung während des Beschichtungsvorganges bedarfsweise zu verändern.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Einrichtung zur Erzeugung eines Druckgases auf, welches mit hoher Geschwindigkeit durch eine Düse ausströmt und das aufgeschmolze Material des Zusatzwerkstoffes auf eine Oberfläche spritzt, wobei
erfindungsgemäß Mittel vorgesehen sind, durch welche eine modulierte/pulsierende
35 Gasströmung hoher Geschwindigkeit des Druckgases erzeugbar ist, durch welche die Ausbildung eines quasistationären Wirbelfeldes des hinter dem Spritz-Zusatzwerkstoff

und hinter dem Kurzlichtbogen verhindert oder zumindest eingeschränkt. Dadurch wird das Rezirkulieren der Partikelphase bzw. des aufgeschmolzenen Materials auf den Trajektorien (Bewegungsbahnen) dieser Wirbelgebiete minimiert bzw. ausgelöscht, was zu einer kürzeren Verweilzeit und einer schlagartigen Zerstäubung der Materialphase am
5 Düsenaustritt führt. An der Düse und/oder an den Enden des Zusatzwerkstoffs wird dadurch ein schnelles Ablösen von Partikeln/Tropfen gewährleistet.

Meist (z.B. beim thermischen Spritzen) ist der Zusatzwerkstoff in Form von zwei elektrisch leitenden Drähten ausgebildet, deren Enden im Bereich des Ausgangs der Düse bzw.
10 zwischen dem Düsenaustritt und der zu beschichtenden Oberfläche angeordnet sind, wobei im Bereich der Enden des Zusatzwerkstoffes, durch die in der Vorrichtung angeordneten Mittel eine modulierte/pulsierende der Gasströmung des Druckgases bei einer zeitlichen Veränderung des Zerstäubergasvolumenstroms, die Einschränkung oder Verhinderung des quasistationären Wirbelfeldes erfolgt.

15 Die Mittel können beispielsweise in Form von die Gasströmung des Druckgases verändernden Ventilen oder in Form von mechanischen Elementen ausgebildet sein und entsprechend der geforderten Pulse die Gasströmung unterbrechen bzw. stark verringern und wieder Freigeben.

20 Die mechanischen Elemente werden bevorzugt in einer zur Düse führenden Druckleitung für das Druckgas angeordnet und können beispielsweise in Form einer im Winkel zur Druckleitung durch diese führende drehbare Welle ausgebildet sein, die im Bereich der Druckleitung eine oder mehrere Querbohrungen aufweist und durch Rotation den
25 Durchfluss des Druckgases sperrt oder stark verringert oder freigibt.

Durch diese Mittel ist insbesondere eine modulierte/pulsierende Gasströmung in der erforderlichen Frequenz bei einer zeitlichen Veränderung des Zerstäubergasvolumenstroms erzeugbar.

30 Die Mittel sind insbesondere in Form von Ventilen ausgebildet, welche die Gasströmung verändern, dies können beispielsweise Hochleistungsventile sein, die eine schnelle Schaltfrequenz gewährleisten.

35 Um ein Expandieren /Beschleunigen des Gasstroms zu gewährleisten, ist die Düse in der Art einer Zerstäubergasdüse, insbesondere einer Laval – Düse ausgebildet, die sich in

Strömungsrichtung des Gases zuerst verjüngt und anschließend wieder erweitert, wodurch der Gasstrom zuerst gebremst wird und anschließend expandiert, wodurch dessen Geschwindigkeit wieder zunimmt.

5 Dabei ist der Zusatzwerkstoff in Bezug auf die Längsachse der Düse in einem flachen Anstellwinkel geneigt, der maximal 90° bis 0° , vorzugsweise ca. $25^\circ \pm 5^\circ$ beträgt, wobei sich dessen Enden im Bereich des Düsenaustritts bzw. zwischen dem Düsenaustritt und der zu beschichtenden Oberfläche befinden.

10 Eine weitere vorteilhafte Ausführung der Erfindung besteht darin, dass die Drahtvorschub-einrichtung, mit welcher der Zusatzwerkstoff nachgeführt wird, nicht wie bisher üblich ein kontinuierliches Nachführen des Drahtes realisiert, sondern den Drahtvorschub diskontinuierlich, bzw. schrittweise regelt, derart, dass das Nachführen des Drahtes insbesondere in Abhängigkeit/Korrelation mit den Impulsen der pulsierenden Gasströmung des Druckgases erfolgt.

15 Der gedankliche Ansatz der Erfindung beruht auf einer gezielten, dem Prozess angepassten "modulierten" Gasströmung hoher Geschwindigkeit (bzw. einer zeitlichen Veränderung des Zerstäubergasvolumenstroms) zur Verhinderung des Absetzens bzw. Verweilens der Schmelzphase/der Partikeltröpfchen hinter den Drahtenden und hinter dem Lichtbogen (bevorzugt außerhalb der Düse).

20 Diese "Pulsung" wird bevorzugt durch Hochleistungsmagnetventile realisiert, die ihr Regelsignal in Abhängigkeit vom Zeitintervall des Ab- bzw. Aufschmelzens einer entsprechenden Materialfraktion des drahtförmigen Spritzzusatzwerkstoffes beziehen. Die unter hohem Druck stehende Gasströmung wird durch geeignete Zerstäubergasdüsen (Laval ähnlich) gerichtet auf Geschwindigkeiten größer Mach 1 expandiert. Das impulsartige Auftreffen der Gasphase führt zu einer feinen und homogenen Zerstäubung der Materialphasen. Das sich aufbauende quasistationäre Wirbelfeld (hinter den Drahtenden) wird infolge des gepulsten Gasstroms stark reduziert und bewirkt eine

30 Minimierung der Strahldivergenz. Die Rezirkulationsgebiete im Bereich der Drahtenden werden ebenfalls stark verkleinert, so dass der Schmelzfilm bzw. Tropfen nicht oder nur teilweise in diesen Wirbelgebieten rezirkulieren und oxidieren. Das Regelsignal der Magnetventile wird zur besseren Prozesssteuerung mit dem Regelkreis der Strom-Spannungsquelle synchronisiert.

35 Die Zerstäubergasdüsen werden für diesen Prozess massestromspezifisch ausgelegt.

Erreichbare Ergebnisse sind unter anderen:

1. homogen zerstäubte Materialphase (homogener Schichtaufbau),
 - 5 2. verringerte Oxidation des Spritzzusatzwerkstoffes,
 3. Schichten hoher Güte,
 4. Partikelgeschwindigkeiten größer 300 m/s,
 5. Materialeffiziente Beschichtung (Erhöhung des Auftragwirkungsgrades).
- 10 Um die Qualität lichtbogengespritzter Beschichtungen zu verbessern, ist eine konsequente Anpassung der Prozessführung unter strömungsdynamisch optimierten Bedingungen zwingend erforderlich. Es ist davon auszugehen, dass bereits geringfügige Veränderungen an marktgängiger Brenntechnik ausreichen, um deutliche Verbesserungen zu erzielen. Da der Bereich des Hochgeschwindigkeitsspritzens mit
- 15 Lichtbogensystemen bisher nur ungenügend erschlossen wurde, soll durch die gezielte Auslegung der zur Erzeugung überschallschneller Gasströmungen notwendigen Expansionsdüsen der partikelbeladene Freistrahls so beeinflusst werden, dass sich höhere Partikelgeschwindigkeiten und geringere Spritzstrahldivergenzen einstellen. Grundlage für die Erfindung ist die Ausnutzung einer gepulsten Hochgeschwindigkeitsgasströmung des
- 20 Zerstäubergases.

Die durch Ventile gepulste Gasströmung wird in Abhängigkeit von den elektrischen Parametern (Strom, Spannung – einschließlich deren Frequenzen - und Strom-Spannungs-Kennlinie) und in Abhängigkeit von den strömungsmechanischen

25 Bedingungen, die zur Tropfenablösung führen, an die jeweilige Beschichtungsaufgabe angepasst.

Durch den Einsatz einer gepulsten Zerstäubergasströmung wird eine homogenere und feinere Partikelphase erwartet. Die Ausprägung starker Turbulenzballen im Bereich der Drahtspitzen, welche für die massive Aufweitung des partikelbeladenen Freistrahls

30 verantwortlich sind, soll reduziert werden. Im Zusammenhang einer gezielt expandierenden (vorgespannten) Gasströmung werden Partikelgeschwindigkeiten von über 300 m/s erreicht.

Es kommen als Druckgas homogen strömende, zum Teil expandierende, heiße bzw.

35 kalte, vorgespannte Prozessgase (verschiedener Art - bspw. Brenn-, Inertgase, Verbrennungsprodukte usw.) zur Anwendung.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und zugehöriger Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- 5 Figur 1 die Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Einrichtung mit einem Hochleistungsventil zum Pulsen des Druckgases,
Figur 2 eine Prinzipdarstellung einer Variante zum mechanischen Pulsen des Druckgases.
- 10 In Figur 1 eine Einrichtung zur Beschichtung der Oberfläche 1a eines Grundwerkstoffs 1 dargestellt, wodurch mittels Drahtlichtbogenspritzen eine Spritzschicht 2 erzeugt wurde.

Dazu wird ein Zusatzwerkstoff 3, hier zwei Drähte, in Kontaktrohren 4 geführt. Beide Kontaktrohre 4 sind an eine Spannungsquelle 5 angeschlossen, so dass diese
15 unterschiedlich gepolt sind. Der Zusatzwerkstoff 3 ist durch jeweils eine Drahtvorschubeinrichtung 6 nachführbar. Die Enden des Zusatzwerkstoffes 3 liegen zwischen dem nicht bezeichneten Austritt der Düse 7 und der Oberfläche 1a des Grundwerkstoffs 1. Dessen Schmelzen erfolgt über die Spannungsquelle 5, durch deren
20 Lichtbogen gebildet wird, wodurch die Enden des Zusatzwerkstoffes 3 aufschmelzen., Durch die zentrisch zwischen den Kontaktrohren 5 angeordnete Düse 7, die eine Längsachse A aufweist, strömt ein Druckgas 8 (dargestellt durch einen Pfeil, auch als Zerstäubergas bezeichnet) gepulst und mit hoher Geschwindigkeit in Richtung zum Grundwerkstoff 1, wodurch das aufgeschmolzene Material des Zusatzwerkstoffes 3 auf
25 die Oberfläche 1a spritzt und die Spritzschicht 2 erzeugt. Dabei bildet sich ein Nebel 3a aus dem abgeschmolzenen Zusatzwerkstoff aus, wobei die Gefahr besteht, dass sich daraus ein quasistationäres Wirbelfelde, d.h. massive Rezirkulationsgebiete hinter dem drahtförmigen Spritzzusatzwerkstoff des aufgeschmolzenen Materials vor der Düse im Bereich der Enden des Zusatzwerkstoffes bildet, was dazu führen kann, dass
30 aufgeschmolzenes Spritzgut im Bereich der Drahtenden auf den wirbelförmigen Trajektorien verweilt und in dieser Zeit infolge des Luftsauerstoffs der Umgebungs- bzw. Druckluft oxidiert.

Dies wird erfindungsgemäß eingeschränkt oder verhindert dadurch, dass die Tropfen des Plasmanebels durch das gepulste Druckgas sich nicht an der Düse 7 bzw. den
35 Kontaktrohren 4 oder dem Zusatzwerkstoff 3 absetzen können. Sollten sich Schmelztropfen dennoch absetzen, so werden diese durch den pulsierenden Gasstrom

wieder gelöst und in Richtung zur Oberfläche 1a des Grundwerkstoffs transportiert. Durch den gepulsten Gaststrom des Druckgases verringert sich somit die rezirkulierende Menge der schmelzflüssigen Phase oder es wird die Rezirkulation ganz verhindert somit eine materialeffiziente Beschichtung gewährleistet.

5

Durch die Spannungsquelle 5 wird bevorzugt ein Wechselstrom oder ein gepulster Gleichstrom erzeugt, wobei das Druckgas 8 durch eine entsprechende Einrichtung 9, die ein nicht bezeichnetes Hochleistungsventil aufweist, insbesondere in Abhängigkeit der Frequenz der Spannungsquelle (insbesondere synchron dazu) gepulst wird. Alternativ ist es auch möglich, die Frequenz, mit welcher das Druckgas gepulst wird, unabhängig von der Frequenz der Spannungsquelle einzustellen.

10

Wird durch die Spannungsquelle Gleichstrom zur Verfügung gestellt, pulsiert lediglich das Druckgas.

15

Die erforderliche Frequenz des Pulsierens des Druckgases, die für das Verhindern des Absetzens von Tropfen an der Anlage oder deren Entfernen erforderlich ist, kann durch wenige Versuche ermittelt werden und ist vorzugsweise ≥ 20 Hz.

Die Geschwindigkeit des Gasstroms des Druckgases liegt nach der Düse bei Machzahlen größer 1.

20

Der Drahtanstellwinkel α des Zusatzwerkstoffes 3 ist sehr flach und liegt bevorzugt im Bereich von ca. 10° bezogen auf die Längsachse A der Düse 7.

25

Der Durchströmquerschnitt der Düse 7 verringert sich in Strömungsrichtung in der Art eines Diffusors und erweitert sich dann wieder in der Art eines Konfusors, wodurch das Druckgas 8 beschleunigt wird. Dessen Geschwindigkeit beträgt nach der Düse Mach 1 und mehr, wodurch eine hervorragende Homogenität der Spritzschicht 2 und eine gute Haftung auf dem Grundwerkstoff 1 gewährleistet wird.

30

Eine Prinzipdarstellung einer Variante zum mechanischen Pulsen des Druckgases ist in Figur 2 dargestellt. Die Mittel zur Erzeugung der pulsierenden Gasströmung sind dabei in die Druckleitung 10 für das Druckgas integriert und können die Gasströmung unterbrechen und freigeben. Dazu führt die Druckleitung 10 durch ein Gehäuse 11 in dem im Winkel von 90° und somit quer zur Druckleitung 10 eine diese unterbrechende und dazu durch diese führende drehbare Welle 12 angeordnet ist. Die drehbare Welle 12 weist im Bereich der Druckleitung 10 eine Querbohrung 13 in Form einer

35

Durchgangsbohrung auf. Durch Drehen der Welle 12 strömt das Druckgas durch die Querbohrung 13 in Pfeilrichtung zur hier nicht dargestellten Düse, wenn die Querbohrung

13 sich in einer Position befindet in welcher deren beide Öffnungen 13.1, 13.2 eine Verbindung mit der Druckleitung 10 aufweisen. Dreht die Welle 12 weiter, so wird die Durchgangsbohrung 13 so verdreht, dass die Druckleitung 10 unterbrochen ist. Die Welle 12 ist über Lager 14 im Gehäuse 11 drehbar gelagert.

- 5 Durch Rotation der Welle 12 wird der Durchfluss des Druckgases abwechselnd gesperrt oder freigegeben und dadurch die pulsierende Gasströmung erzeugt. Die Frequenz, mit welcher die Gasströmung pulsiert kann dabei auf einfache Art und Weise durch die Drehzahl der Welle bestimmt werden, die von einem hier nicht dargestellten Motor angetrieben wird.
- 10 Gemäß einer nicht dargestellten Variante können auch mehrere Durchgangsbohrungen durch die Welle führen.

- Mit der erfindungsgemäßen Lösung wird insgesamt eine einfache und praktikable Möglichkeit zur Reduzierung oder Vermeidung des sich aufbauenden Wirbelgebietes aufgeschmolzener Partikel des Zusatzwerkstoffes geschaffen und dadurch ein unerwünschtes Absetzen bzw. Verweilen von Partikeln/Tropfen des aufgeschmolzenen Zusatzwerkstoffes an dem Brenner / der Düse und/oder am Zusatzwerkstoff selbst vermieden. Dadurch kann ein qualitativ hochwertiges Beschichtungsergebnis realisiert werden.

Bezugszeichenliste

	1	Grundwerkstoffs
	1a	Oberfläche
5	2	Spritzschicht
	3	Zusatzwerkstoff
	3a	Nebel
	4	Kontaktrohre
	5	Spannungsquelle
10	6	Drahtvorschubeinrichtung
	7	Düse
	8	Druckgas
	9	Hochleistungsventil
	10	Druckleitung
15	11	Gehäuse
	12	Welle
	13	Querbohrung
	13.1, 13.2	Öffnungen
	14	Lager
20		
	α	Drahtanstellwinkel
	A	Längsachse

Patentansprüche

1. Verfahren zum thermischen Spritzen, insbesondere zum Lichtbogenspritzen mit Zusatzwerkstoff (3), der durch einen mittels Elektroden erzeugten Lichtbogen aufgeschmolzen wird, wobei ein Druckgas (8) mit hoher Geschwindigkeit durch eine Düse (7) ausströmt und das aufgeschmolzene Material des Zusatzwerkstoffes (3) auf eine Oberfläche (1a) spritzt, dadurch gekennzeichnet, dass ein Druckgas (8) mit einer modulierten/pulsierenden Gasströmung hoher Geschwindigkeit erzeugt und dadurch die Ausbildung eines quasistationären Wirbelfeldes des aufgeschmolzenen Materials des Zusatzwerkstoffes (3) eingeschränkt oder verhindert wird derart, dass ein Absetzen bzw. Verweilen von Partikeln/Tropfen des aufgeschmolzenen Materials an der Düse (7) und/oder am Zusatzwerkstoff (3) verhindert wird und/oder daran abgesetzte Partikel/Tropfen gelöst werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch modulierte/pulsierende der Gasströmung des Druckgases (3) bei einer zeitlichen Veränderung des Zerstäubergasvolumenstroms die Einschränkung oder Verhinderung des quasistationären Wirbelfeldes im Bereich der Enden des Zusatzwerkstoffes (3) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine modulierte/pulsierende Gasströmung bei einer zeitlichen Veränderung des Gasvolumenstroms des Druckgases (3) unter Verwendung einer Düse (7) in Form einer Zerstäubergasdüse erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die unter hohem Druck stehende Gasströmung des Druckgases (8) auf Geschwindigkeiten größer Mach 1 expandiert.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Modulation der Gasströmung des Druckgases (8) in Abhängigkeit von der Frequenz der Strom-Spannungsquelle (5) der Elektroden erfolgt oder dass die Modulation der Geschwindigkeit des Druckgases (8) unabhängig von der Frequenz der Strom-Spannungsquelle (5) der Elektroden gesteuert bzw. geregelt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die gepulste Gasströmung in Abhängigkeit von den elektrischen Parametern (Strom, Spannung und Strom-Spannungs-Kennlinie) der Elektroden und /oder in
5 Abhängigkeit von den strömungsmechanischen Bedingungen an die jeweilige Beschichtungsaufgabe angepasst wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die
10 Veränderung der Frequenz des Pulses der Gasströmung des Druckgases (8) mit einer Frequenz ab 20 Hz erfolgt und dass die Frequenz der Gasströmung bedarfsweise veränderbar ist.
8. Vorrichtung zum thermischen Spritzen, insbesondere zum Lichtbogenspritzen mit Zusatzwerkstoff (3), der durch einen mittels Elektroden erzeugten Lichtbogen
15 aufgeschmolzen wird, wobei die Vorrichtung eine Einrichtung zur Erzeugung eines Druckgases (8) aufweist, welches mit hoher Geschwindigkeit durch eine Düse (7) ausströmt und das aufgeschmolze Material des Zusatzwerkstoffes (3) auf eine vorbereitete Oberfläche (1a) spritzt, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Erzeugung des Druckgases Mittel aufweist, durch welche eine modulierte/
20 pulsierende Gasströmung des Druckgases (8) erzeugbar ist, durch welche die Ausbildung eines quasistationären Wirbelfeldes des aufgeschmolzenen Materials eingeschränkt oder verhindert wird so dass ein Absetzen von Partikeln/Tropfen des aufgeschmolzenen Materials an der Düse (7) und/oder an den Enden des Zusatzwerkstoffes (3) vermieden wird und/oder daran abgesetzte Partikeln/Tropfen
25 gelöst werden.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich der Enden des Zusatzwerkstoffes (3) durch die in der Vorrichtung angeordneten Mittel eine modulierte/pulsierende der Gasströmung des Druckgases (8) bei einer
30 zeitlichen Veränderung des Zerstäubergasvolumenstroms die Einschränkung oder Verhinderung des quasistationären Wirbelfeldes erfolgt.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel in Form von die Gasströmung des Druckgases (8) verändernden Ventilen oder in
35 Form von mechanischen Elementen ausgebildet sind, die entsprechend der

geforderten Pulse die Gasströmung unterbrechen oder stark verringern und Freigeben.

- 5 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die mechanischen Elemente in einer zur Düse (7) führenden Druckleitung (10) für das Druckgas (8) angeordnet sind und den Durchfluss des Druckgases (8) durch die Druckleitung (10) sperren oder stark verringern und dann wieder freigeben.
- 10 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass im Winkel zur Druckleitung (10) eine durch diese führende drehbare Welle (12) angeordnet ist, die im Bereich der Druckleitung (10) eine oder mehrere Querbohrungen (13) aufweist und durch Rotation den Durchfluss des Druckgases (8) sperrt oder stark verringert oder freigibt.
- 15 13. Vorrichtung nach Anspruch- 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Düse (7) in der Art einer Zerstäubergasdüse, insbesondere einer Laval – Düse ausgebildet ist.
- 20 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Düse (7) in Strömungsrichtung des Druckgases (8) zuerst verjüngt und anschließend erweitert.
- 25 15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Düse (7) eine Längsachse (A) aufweist und der Zusatzwerkstoff in Bezug auf die Längsachse (A) der Düse in einem Winkel (α) von 90° bis 0° geneigt ist.
- 30 16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der in Form eines Drahtes ausgebildete Zusatzwerkstoff (3) durch eine Drahtvorschubeinrichtung (6) nachführbar ist, wobei das Nachführen des Drahtes/Zusatzwerkstoffs (3) „schrittweise“ in Korrelation mit den Impulsen der pulsierenden Gasströmung des Druckgases (8) erfolgt.
- 35 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel aufweist durch welche die Modulation der Gasströmung des Druckgases (3) in Abhängigkeit von der Frequenz der Strom-Spannungsquelle (5) bzw. des Abschmelzverhaltens des (Spritz-) Zusatzwerkstoffes (3) erfolgt.

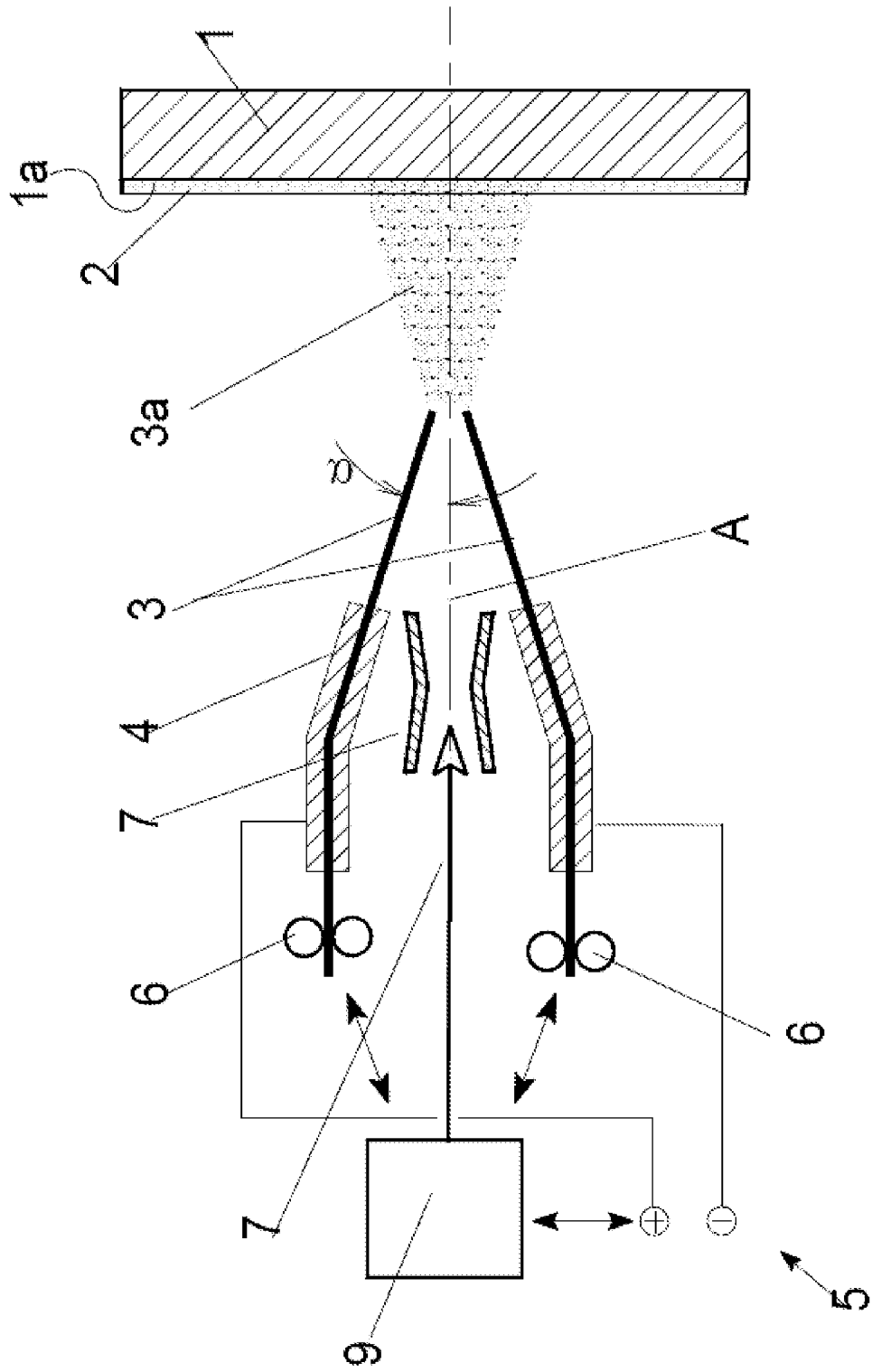


Fig. 1

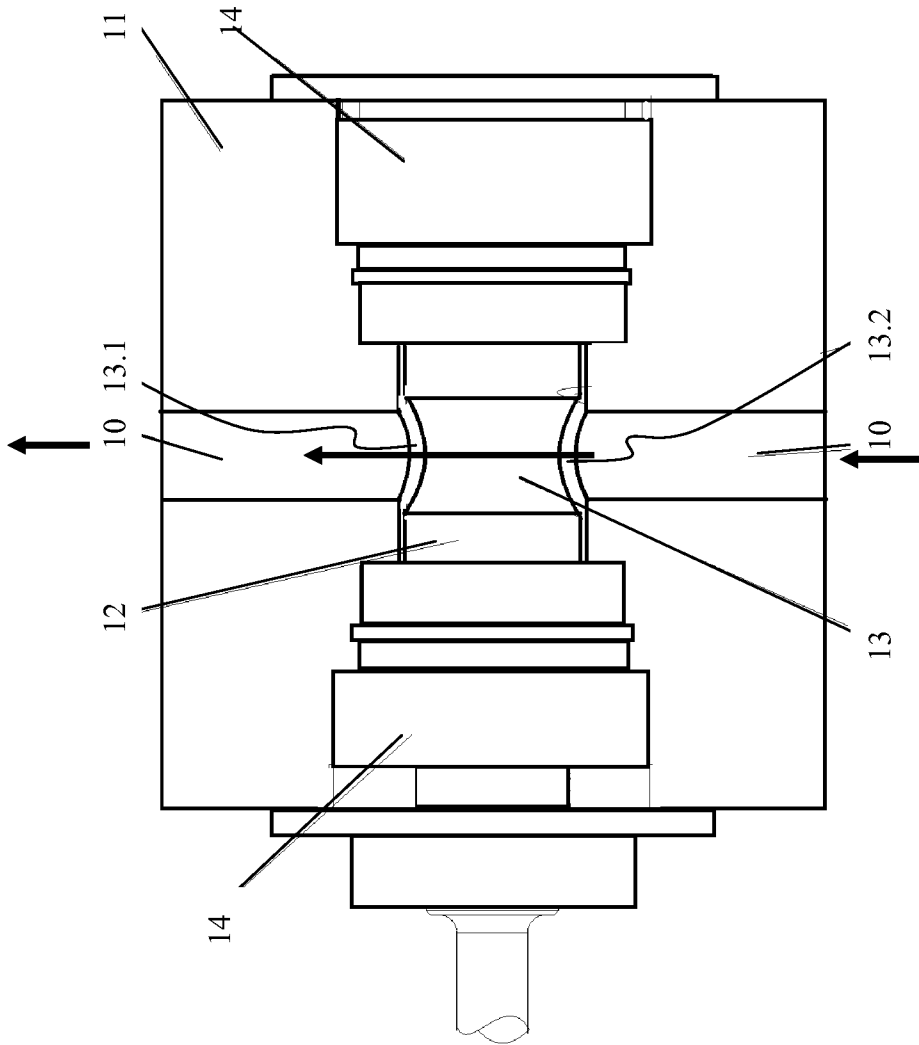


Fig. 2