



(11)

EP 2 816 135 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.03.2019 Patentblatt 2019/11

(51) Int Cl.:
C23C 24/04 ^(2006.01) **C23C 4/18** ^(2006.01)
C23C 4/067 ^(2016.01) **C23C 4/134** ^(2016.01)
H05H 1/42 ^(2006.01) **H05H 1/34** ^(2006.01)
B05B 7/22 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14001202.2**

(22) Anmeldetag: **31.03.2014**

(54) **Plasmapulverspritzverfahren zur Beschichtung von Paneelen für Kesselwände in Verbindung mit einem Laserstrahlgerät**

Plasma powder spray method for coating of panels for boiler walls in connection with a laser beam apparatus

Procédé d'injection de poudre à plasma pour le revêtement de panneaux pour parois de chaudière en liaison avec un appareil à faisceau laser

(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

(30) Priorität: **18.06.2013 DE 102013010126**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.12.2014 Patentblatt 2014/52

(73) Patentinhaber: **Häuser&Co. GmbH**
47137 Duisburg (DE)

(72) Erfinder:
• **Häuser, Bodo**
56412 Großhoblach (DE)

• **Häuser, Hendrik**
47506 Neukirchen-Vluyn (DE)

(74) Vertreter: **Wettlaufer, Frank**
Dr. Niemann & Wettlaufer
Patentanwälte
Stockumer Straße 58a
58453 Witten (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 481 722 EP-A2- 0 903 423
EP-A2- 1 496 034 WO-A1-01/05198
WO-A1-94/00616 DE-A1- 2 144 873

EP 2 816 135 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein thermisches Spritzverfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1, zum Herstellen einer Schutzschicht im Plasmapulverspritzverfahren auf mit heißen Gasen, insbesondere Rauchgasen beaufschlagten metallischen Wänden. Die Erfindung betrifft aber auch eine thermische Spritzvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Die EP 0 903 423 A2 offenbart ein Verfahren zum Aufbringen einer Beschichtung mittels Plasmaspritzens. Dabei stellt der Plasmabrenner den Hauptteil der Prozesswärme zur Verfügung, wobei das Zusatzmaterial im Plasmabrenner vollständig aufgeschmolzen wird. Um einen Schmelz- und/oder Diffusionsverbund zwischen der Beschichtung und dem zu beschichtenden Substrat zu erreichen, wird vorgeschlagen, dass ein kontinuierlicher Laserstrahl durch den Spritzstrahl mit vorgebbaren Wechselwirkungszeit direkt auf die Oberfläche des Substrates oder die Oberfläche einer bereits dort aufgetragenen Schicht, diese anschmelzend, gerichtet ist.

Aus der DE OS 2 144 837 ist eine Spritzdüse für eine Plasmapistole bekannt. Diese besteht aus einer zylindrischen Düse mit einer axialen Öffnung, durch die Plasmagase ausstoßbar sind. Eine flache Stirnfläche am Ende steht im Wesentlichen rechtwinklig zur Düsenachse. In die Außenseite der Düse sind eine Anzahl im Wesentlichen gleich beabstandete, schraubenlinienförmige Nuten eingebracht, die an der Stirnseite der Düse derart enden, dass für Luftstrahlen gesorgt wird, die die Plasmagase umgeben und begrenzen.

Die DE 196 38 228 A1 befasst sich mit einem Verfahren zur Herstellung einer heißgaskorrosionsbeständigen Verbindung von durch eine thermisch gespritzte Schicht korrosionsgeschützten Rohren, bei dem das eine zu verschweißende Rohr im Bereich seiner dem zweiten Rohr benachbarten Stoßkante vor dem thermischen Spritzen, beispielsweise dem Plasmaspritzverfahren durch Auftragschweißen mit einem korrosionsbeständigen Werkstoff beschichtet wird.

[0002] Die US 4,192,672 betrifft Metalllegierungen, welche als selbstfließende Pulver z.B. auf Nickelbasis relative große, harte Ausfällungen aufweisen, um die Verschleißfestigkeit solcher Pulver zu verbessern. Insbesondere befasst sich die US 4,192,672 mit der Herstellung solcher Pulver. Derartige Pulver sollen mittels Plasmaspritzverfahren verspritzt werden können, wobei die Anlagerung gleichzeitig oder anschließend eingeschmolzen wird.

[0003] Die EP 0 223 135 A1 befasst sich ebenfalls mit selbstfließenden Metalllegierungen welche im Plasmaspritzverfahren aufgetragen werden können. Wird nicht im Plasmaspritzverfahren aufgespritzt, kann die Schicht mittels einer Autogenflamme vor Ort geschmolzen werden. Zu dem Plasmaspritzverfahren offenbart die EP 0 223 135 A1 eine Schmelztemperatur in einem Bereich von 1100 bis 1250°C.

[0004] In Kraftwerken, insbesondere in Müllverbrennungsanlagen bzw. deren Verbrennungskesseln herrscht eine sehr aggressive, korrosive Umgebung aufgrund der sehr spezifischen Zusammensetzung des Brennstoffs (Abfall). Die Wände der Kessel, aber auch deren Paneele und/oder Rohrbündel bzw. Überhitzerrohrbündel müssen daher insbesondere gegen Varianten der Hochtemperaturkorrosion geschützt werden. Aus einer Vielzahl von Schutzmaßnahmen gegen Hochtemperaturkorrosion und Verschleiß ist zum Beispiel das thermische Spritzen, beispielsweise als Flammsspritzen oder auch als Plasmaspritzverfahren bekannt

[0005] Mittels des Flammsspritzens werden Pulver als Beschichtungswerkstoff auf die zu beschichtenden Werkstoffe, z.B. Stahlwerkstoffe aufgebracht. Hierzu wird das zu beschichtende Werkstück zunächst gereinigt und anschließend mit Korund oder dergleichen gestrahlt. Eine Vorwärmung des Grundwerkstoffs auf eine Temperatur von 150°C bis 250°C vor dem Strahlen ist oft notwendig, wobei die genannte Vorwärmtemperatur insbesondere bei dem Flammsspritzen mit selbstfließenden Pulvern empfohlen wird. Die Beschichtungswerkstoffe weisen einen Schmelzpunkt unterhalb der Schmelztemperatur des zu beschichtenden Werkstoffs auf, und werden nach dem Aufspritzen in den Grundwerkstoff eingeschmolzen. Die Schutzschicht weist vor dem Einschmelzen eine relativ große Schichtdicke von bis zu 2 mm bei relativ hoher Porosität von 15 bis 20 % auf. Diese Faktoren bedingen das Einschmelzen. Das Einschmelzen wird üblicherweise mit einer harten Acetylen-Sauerstoffflamme durchgeführt, so dass die Schutzschicht auf eine Temperatur von bis zu 1200°C erwärmt wird. Durch dieses Einschmelzen nimmt die Schichtdicke um ca. 20 Volumenprozent ab. Insbesondere bei warmfesten Stählen, wie z.B. aus dem Werkstoff 15Mo3, 13CrMo45 oder 10CrMo910, führt der hohe Wärmeeintrag zu einer nachteiligen Gefügeänderung.

Bekannt sind aber auch Plasmaspritzverfahren zur Herstellung der Schutzschicht, wie beispielsweise in der DE 42 20 063 C1 offenbart. Das in der DE 42 20 063 C1 offenbarte Verfahren hat sich in der Praxis dahingehend bewährt, als der Verzug von Werkstücken und rißbildende Spannungen im Grundwerkstoff vermieden werden. Allerdings hat sich mittlerweile gezeigt, dass die aufzubringende Schutzschicht doch nur relativ dünn ist. Dies bedeutet, dass die relativ dünne Beschichtung den vielfach gestiegenen Anforderungen der Standzeitverlängerung bei gleichzeitiger erhöhter erosiver und korrosiver Belastung nicht mehr standhält. Das Plasmaspritzverfahren gemäß der DE 42 20 063 C1 eignet sich alleine nicht dafür, Schutzschichten entsprechend den gestiegenen Anforderungen in ihrem Betrag zu vergrößern, da die Eigenspannungen durch die Erstarrung der schmelzflüssigen Partikel bei dem Auftreffen auf die metallischen Wände zu hoch werden und die Bindekräfte der mechanischen Verklammerung und der Adhäsionskräfte übertreffen. Ein Abplatzen der dickeren Schutzschicht wäre die Folge.

Bekannt sind aber auch Laserauftragschweißverfahren, bei denen ein Beschichtungswerkstoff mittels eines Lasers einer energieintensiven Laserschweißanlage, zum Beispiel auf Walzen, aufgetragen wird. Bei dem Laserauftragschweißen mit Pulver erhitzt der Laser das Werkstück meist defokussiert und schmilzt es lokal auf. Gleichzeitig wird ein inertes Gas, gemischt mit feinem Metallpulver, zugeführt. An der erhitzten Stelle schmilzt das Metallpulver auf und verbindet sich mit dem Metall des Werkstücks. Die Anbindung an das Grundmaterial kann z. B. durch die Ausbildung einer Zwischenschicht über die Parameter beeinflusst werden. Meistens sind anschließende Nachbearbeitungsschritte, wie Fräsen oder Drehen, notwendig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein thermisches Spritzverfahren der eingangs genannten Art sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit einfachen Mittel so zu verbessern, dass bei geringer Wärmeeinbringung in den Grundwerkstoff eine Schutzschicht herstellbar ist, welche den hohen Anforderungen der langen Standzeit gerecht wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein thermisches Spritzverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst, wobei eine thermische Spritzvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 5 den gegenständlichen Teil der Aufgabe löst.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die in der nachfolgenden Beschreibung einzeln aufgeführten Merkmale in beliebiger, technisch sinnvoller Weise miteinander kombiniert werden können und weitere Ausgestaltungen der Erfindung aufzeigen. Die Beschreibung charakterisiert und spezifiziert die Erfindung insbesondere im Zusammenhang mit den Figuren zusätzlich.

Erfindungsgemäß umfasst ein thermisches Spritzverfahren zum Herstellen einer Schutzschicht im Plasmapulverspritzverfahren auf mit heißen Gasen, insbesondere Rauchgasen beaufschlagten metallischen Wänden, eine Plasmapulverspritzvorrichtung mit einer Kathode und mit einer Anode und eine Laserstrahlanlage, wobei auf die metallische Wand auftreffender Beschichtungswerkstoff mittels Laserstrahlen der Laserstrahlanlage unter Ausbildung eines diffusiven Verbundes des Beschichtungswerkstoffes aufmischzonenfrei zum Grundwerkstoff der metallischen Wand verbunden wird. Das Verfahren ist gekennzeichnet durch zumindest die Schritte:

Reinigen der metallischen Wände;

Versetzen eines Plasmagases innerhalb der Plasmapulverspritzvorrichtung in Rotation um die Mittellängsachse der Plasmapulverspritzvorrichtung, indem eine Plasmagasdüse der Plasmapulverspritzvorrichtung zumindest eine kombinierte Bohrung aufweist, welche aus zwei ineinander eingebrachten Teilbohrungen gebildet ist, die an einem Außenumfang der Plasmagasdüse einen gemeinsamen Ansatzpunkt aufweisen, von denen eine Teilbohrung mit ihrer Mittelachse winklig zur Mittelachse der anderen Teilbohrung angeordnet ist, so dass Plasma-

gas tangential zur Mittellängsachse der Plasmapulverspritzvorrichtung in die Anode der Plasmapulverspritzvorrichtung eingeleitet wird, wobei das Plasmagas einen Lichtbogen rotierend um die Mittellängsachse der Plasmapulverspritzvorrichtung erreicht, wobei der Lichtbogen mit seinen Lichtbogenfußpunkten zum einen an der Anode und zum anderen an der Kathode entsprechend der Rotation des Plasmagases in Rotation versetzt wird;

Innenzuführung eines Beschichtungswerkstoffes als Pulver gleichzeitig durch zwei in die Anode eingebrachte Innenzuführöffnungen hindurch, welche Innenzuführöffnungen mit ihren Mündungsöffnungen einander gegenüberliegend angeordnet sind, wobei zwei Pulverstrahlen erzeugt werden; und Anwärmen des Beschichtungswerkstoffes im jeweiligen Plasmastrahl, wobei aber das Pulver nicht schmelzflüssig wird; wobei

jeder Pulverstrahl aus einem unterschiedlichen Beschichtungswerkstoff gebildet ist und mit einem jeweils zugeordneten Laserstrahl zur Bildung des diffusiven Verbundes bearbeitet wird, wobei einer der Pulverstrahlen die Plasmapulverspritzvorrichtung zentrisch zu seiner Mittelachse verlässt, wobei der andere Pulverstrahl die Plasmaspritzvorrichtung abgelenkt zur Mittelachse die Plasmaspritzvorrichtung verlässt.

Mit der Erfindung wird der Beschichtungswerkstoff mittels des Plasmapulverspritzverfahrens also lediglich vorgewärmt auf die zu beschichtenden Wand aufgetragen. Das Verbinden des Beschichtungswerkstoffes mit dem Grundwerkstoff geschieht sodann mit einem Laserverfahren, wobei der diffusive Verbund zwischen dem Grundwerkstoff und dem Beschichtungswerkstoff gebildet wird.

Insofern wird mit der Erfindung eigentlich der vermeintliche Nachteil in Kauf genommen, dass der Beschichtungswerkstoff, also das Pulver nicht so schmelzflüssig hergestellt wird, dass die aufzutragende Beschichtung ordnungsgemäß hergestellt werden könnte. Dies wird bei der Erfindung erst durch den Schritt der Bildung des diffusiven Verbundes mittels des Lasers der Laserstrahlanlage erreicht. Die vermeintlichen Nachteile bewirken nun aber vorteilhaft, dass der Beschichtungswerkstoff nicht schmelzflüssig ist, sondern lediglich vorgewärmt ist, wobei der Laser trotzdem im Vergleich zu nicht vorgewärmten Pulver nur eine sehr geringe Leistung haben kann um den diffusiven Verbund zu bilden.

[0006] Mit der Erfindung wird so ein diffusiver Übergang des Grundwerkstoffes zum Beschichtungswerkstoff mit einer Dicke von 100 µm, bevorzugt von 20 µm bis 70 µm erzeugt. So kann die aufzubringende Schutzschicht eine Dicke aufweisen, welche 100% bis 200% größer ist als eine Schichtdicke, welche nach dem bisher bekannten Verfahren nach der DE 42 20 063 C1 eingebracht werden konnte. Die Schichtdicke nach der Erfindung kann einen Betrag von 0,2 bis 0,4 mm, bevorzugt

von 0,6 bis 1,5 mm aufweisen. Eine vom Betrag her hohe Schichtdicke führt aber zwangsläufig auch zu einer längeren Standzeit, was wiederum einer längeren Anlagenverfügbarkeit zugutekommt.

[0007] Ein weiterer Vorteil des vermeintlichen in Kauf zunehmenden Nachteils des nicht schmelzflüssigen, sondern lediglich aufgewärmten Beschichtungswerkstoffes, also Pulvers ist auch darin zu sehen, dass ein wesentlich gröberes Pulver eingesetzt werden kann. Ein gröberes Pulver ist natürlich wesentlich preisgünstiger herstellbar als ein feines Pulver, welches mit einer entsprechenden Anzahl an Arbeitsschritten bearbeitet werden muss, um die feine Körnung von beispielsweise 20 µm bis 53 µm zu erhalten. Vorteilhaft kann der Beschichtungswerkstoff, also das Pulver für das erfindungsgemäße Verfahren grobkörnig sein, und eine Körnung mit einem Betrag von weniger als 200 µm, bevorzugt von weniger als 125 µm, weiter bevorzugt mit einem Betrag zwischen 63 µm und 104 µm aufweisen. Dies bewirkt im Vergleich zu feinen Beschichtungswerkstoffen eine Kostenersparnis von ca. 20% hinsichtlich des Materialpreises.

[0008] Bei dem Plasmapulverspritzen wird bekannter Weise ein Lichtbogen erzeugt, welcher sich von der Anode zur Kathode erstreckt, wobei sowohl an der Anode als auch an der Kathode jeweils ein Lichtbogenfußpunkt angeordnet ist. Bei der üblichen laminaren Strömung des Plasmagases sind die jeweiligen Lichtbogenfußpunkte statisch, so dass diese die Kathode aber auch die Anode an fixierten Stellen sehr schnell verschleifen. Das Plasmagas wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren in eine Rotation versetzt, also um die Mittellängsachse beispielsweise der Anode rotiert. So wird erreicht, dass sowohl die Kathode als auch die Anode gleichmäßig verschleifen, da der jeweiligen Lichtbogenfußpunkt in Umfangsrichtung sowohl der Kathode als der Anode gesehen entsprechend der Rotation des Plasmagases quasi mitgenommen wird. Ersichtlich ist, dass ein auf der Umfangsfläche wandernder Lichtbogenfußpunkt einen gleichmäßigen Verschleiß in Umfangsrichtung gesehen bewirkt.

So wird auch eine rotierende Ionisation des Plasmagases erzeugt, da ja mit den rotierenden Lichtbogenfußpunkten natürlich auch der Lichtbogen rotiert.

Dadurch, dass nun zwei Innenzuführöffnungen zur Zufuhr des Beschichtungswerkstoffes, also des Pulvers vorgesehen sind, werden erfindungsgemäß auch zwei Pulverstrahlen erzeugt, welche die Plasmapulverspritzvorrichtung, die auch als Pistole bezeichnet werden kann, verlassen. Einer der Pulverstrahlen verlässt die Pistole zentrisch entlang der Mittellängsachse, wohingegen der zweite Pulverstrahl bezogen auf die Mittelachse abgelenkt ist. Dies wird erreicht, indem die beiden Innenzuführöffnungen idealer Weise gleichzeitig mit Beschichtungswerkstoff beschickt werden, wobei zielführend ist, dass die Innenzuführbohrungen mit ihrer Mittelachse jeweils winklig zu einer Senkrechten auf die Mittellängs-

achse der Anode angeordnet sind. In bevorzugter Ausgestaltung wird ein spitzer Winkel gebildet, wobei sehr bevorzugt ist, dass der Winkel zwischen der Senkrechten auf die Mittellängsachse und der Mittelachse der jeweiligen Innenzuführbohrung einen Winkelbetrag von 5° bis 15°, weiter bevorzugt 9° aufweist. In günstiger Ausgestaltung sind die beiden Innenzuführöffnungen zumindest mit ihrer Mündungsöffnung in die Anode hinein bezogen auf die Mittellängsachse genau gegenüberliegend angeordnet.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die beiden Innenzuführöffnungen in der Anode eingebracht sind, welche idealer Weise gleichzeitig mit Pulver beschickt werden. In zweckmäßiger Ausgestaltung ist die Pulverzufuhr durch beide Innenzuführöffnungen jeweils separat steuerbar. Insofern können die beiden Innenzuführöffnungen separat angesteuert beschickt werden, wobei jeder Innenzuführöffnung auch ein jeweils separater Pulvergeber zugeordnet sein kann. So kann mit der Erfindung vorteilhaft die jeweils benötigte Pulvermenge eingestellt werden. Denkbar ist, dass beide Innenzuführöffnungen gleichzeitig mit der jeweils maximal möglichen Menge beschickt werden. Weisen die beiden Innenzuführöffnungen beispielsweise einen Durchmesserbetrag von jeweils 4,2 mm auf, könnten so beispielhaft 12 bis 14 kg/h Pulver aufgetragen werden. So treffen beide Pulverstrahlen entsprechend der Ablenkung des einen Pulverstrahls aus der Mittellängsachse heraus auch versetzt auf den zu beschichtenden Werkstoff. Erfindungsgemäß werden durch beide Innenzuführöffnungen zwei unterschiedliche Beschichtungswerkstoffe, also Pulver geleitet. Die Pulver können nicht nur in ihrer (metallurgischen) Zusammensetzung unterschiedlich sein, sondern auch hinsichtlich der Pulvermorphologie (z.B. agglomert, geschmolzen, im Gasstrom verdüst ...), der Pulverform (z.B. spitz, kantig, kugelig ...), des spezifischen Gewichts und auch z.B. des Aufschmelzverhaltens (z.B. des weißen, schwarzen oder glänzenden Pulvers) unterschiedlich sein. Hinsichtlich der unterschiedlichen Zusammensetzung der beiden Pulver kann so zum Beispiel ein Pulverstrahl eine Zwischenschicht mit entsprechend der Legierung des zugeführten Pulvers erzeugen, wobei der andere Pulverstrahl z.B. eine Deckschicht mit den entsprechenden Eigenschaften der zugeführten Pulverlegung aufweist. Beide Pulverlegierungen können durch Einwirken des Lasers oder der Laser aber auch entsprechend den gewünschten Eigenschaften der Schutzschicht miteinander vermischt, also aufgemischt werden. Die Zusammensetzung der Pulver kann in Abhängigkeit von dem vorhandenen Grundwerkstoff und den späteren Betriebsbedingungen, insbesondere den vorgegebenen Temperaturbereichen, bestimmt werden. Dabei liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass die Ablenkung des Pulverstrahls aus der Mittellängsachse heraus oder nicht tatsächlich von der Morphologie, der Pulverform, des spezifischen Gewichts und dem Aufschmelzverhalten des jeweils zugeführten Pulvers abhängt. So kann an jeweiligen Probewerkstücken, welche dem zu be-

schichtenden Werkstück entspricht, festgestellt werden, welcher Pulverstrahl in welcher Zusammensetzung abgelenkt wird, und welcher Pulverstrahl nicht abgelenkt wird.

Da mit der Erfindung zwei Pulverstrahlen erzeugt werden, werden die beiden auf den zu beschichtenden Werkstoff auftreffenden Pulverlegierungsraupen erfindungsgemäß auch mit jeweils einem Laser weiterbehandelt, um den diffusiven Verbund zu bilden. Insofern ist vorteilhaft vorgesehen, dass eine Doppel-Laserstrahlanlage, also auch zwei Laser vorgesehen sind, wobei der jeweilige Laser erfindungsgemäß dem jeweils auftreffenden Pulverstrahl zugeordnet ist.

Zum Aufbringen einer Schutzschicht mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist geeigneter Weise eine 80kW Plasmaspritzanlage mit Innenpulverzuführung einsetzbar. Durch die Innenpulverzufuhr, und zwar bevorzugt durch beide Innenpulverzuführöffnungen gleichzeitig, wird das jeweilige Pulver im jeweiligen Plasmastrahl einerseits fokussiert, wobei andererseits eine gleichmäßigere Aufschmelzung des Pulvers erreicht wird. Ein Aufschmelzen im Sinne der Erfindung ist also lediglich ein Anwärmen, wobei das Pulver eben nicht schmelzflüssig wird. Durch das Aufschmelzen des Beschichtungswerkstoffes, also des Pulvers innerhalb der Pistole kann nun aber vorteilhaft die Laserleistung reduziert werden, so dass somit vorteilhaft eine geringere Erwärmung des zu beschichtenden Bauteils zu erwarten ist. Die metallische Wand wird durch den Laserstrahl bzw. durch die Laserstrahlen lediglich auf eine Temperatur von 60°C, maximal 80°C erwärmt. Insofern liegt ein weiterer Vorteil der Erfindung darin, dass der Laser der Laserstrahlanlage, also die Doppel-Laserstrahlanlage, eine Leistung von lediglich 2kW bis 10kW, bevorzugt von 3kW bis 5 kW haben kann. So kann ein geringer Verzug der metallischen zu beschichtenden Wand, beispielsweise von Rohr-Steg-Rohr-Segmenten oder z.B. von Paneelen von Verbrennungskesselwänden, erreicht werden.

Vorteilhaft ist auch, dass auf ein Aufräumen und/oder Behandeln der zu beschichtenden Wand mit Edelmetall oder dergleichen Strahlmittel verzichtet werden kann; denn die bisher anzustrebende mechanische Verklammerung der schmelzflüssigen Pulverpartikel im Augenblick des Auftreffens als Bindemechanismus wird bei der Erfindung durch die hohe Energiedichte des jeweiligen Lasers im Auftreffpunkt zur Erzeugung eines diffusiven Verbundes ersetzt, ohne dass schädliche Spannungen in den zu beschichtenden Grundwerkstoff eingebracht werden. Gleichwohl kann das zu beschichtende Werkstück Korrosionsschutzüberzüge haben, wobei diese Korrosionsschutzüberzüge mittels einfachen Reinigungsmitteln entfernbar sind. Auch Schmutz oder dergleichen sollte entfernt werden. Insofern sollte die Oberfläche zwar z.B. von Fett, Öl, Zunder und/oder Walzhaut gereinigt sein, ein Aufräumen und/oder Aktivieren kann bei der Erfindung aber entfallen.

Um die Rotation des Plasmagases innerhalb der Plasmaspritzvorrichtung, also innerhalb der Pistole, insbe-

sondere innerhalb der Anode erreichen zu können, weist die entsprechende Plasmagasdüse, also der Injektor, zumindest eine kombinierte Bohrung auf, welche durch zwei ineinander eingebrachte Teilbohrungen gebildet wird. Dabei ist in zielführender Ausgestaltung vorgesehen, dass eine der Teilbohrungen mit ihrer Mittelachse deckungsgleich zu einer Mittelachse der Plasmagasdüse ist. Die andere, zweite Teilbohrung ist winklig zu der Mittelachse der Plasmagasdüse angeordnet. Bevorzugt ist vorgesehen, dass die andere zweite Teilbohrung in einem spitzen Winkel, bevorzugt in einem Winkel von 10 bis 30°, weiter bevorzugt von 16,5° zur Mittelachse der Plasmagasdüse angeordnet ist. Zielführend ist, dass beide Teilbohrungen einen identischen Ansatzpunkt an einem Außenumfang der Plasmagasdüse haben, und an einem Innenumfang münden. Dabei wird an dem Innenumfang eine Gesamtmündungsöffnung erreicht, welche natürlich größer ist als eine solche Mündungsöffnung die mit einer der einzelnen Teilbohrungen erreichbar ist. Gleichzeitig ist die innere Gesamtmündungsöffnung kleiner als beide Teilbohrungsmündungen zusammen betrachtet. Insofern ist hier ein Vorteil gegenüber einer einzelnen zur Mittelachse der Plasmagasdüse schräg verlaufenden Düsenbohrung, welche einen harten Plasmastrahl erzeugen würde, dahin zu sehen, als die kombinierte Bohrung gemäß der Erfindung quasi einen exzentrischen Verlauf aufweist, wobei die innere Gesamtmündungsöffnung größer ist als der Eintritt der kombinierten Bohrung an dem Außenumfang der Plasmagasdüse. So wird vorteilhaft erreicht, dass die eingeleitete Gasmenge homogen ionisierbar ist, da sich das eingeleitete Gas innerhalb des Plasmabrenners homogen verteilt, da sich durch die sich quasi exzentrisch erweiternde innere Gesamtmündungsöffnung ein weicher Plasmagasstrom einstellt. In günstiger Ausgestaltung kann vorgesehen sein, mehrere kombinierte Bohrungen in der Plasmagasdüse vorzusehen. In besonders bevorzugter Ausgestaltung sind vier kombinierte Bohrungen vorgesehen, welche in Umfangsrichtung der Plasmagasdüse gesehen gleich verteilt sind. Zweckmäßig ist, wenn insbesondere die zweiten Teilbohrungen jeweils gleichorientiert sind. Durch diese erfindungsgemäße Ausgestaltung wird erreicht, dass das Plasmagas tangential zur Mittellängsachse in den Plasmabrenner eingeleitet wird, so dass das Plasmagas den Lichtbogen, der zwischen Kathode und Anode angelegt ist, um die Mittellängsachse rotierend erreicht. In diesen rotierenden Plasmastrahl wird nun das Pulver durch beide Innenzuführöffnungen eingeleitet, wie bereits beschrieben wurde.

Wie bereits erwähnt, wird bei einem bevorzugten Neigungswinkel der Innenzuführöffnung von 9° gegenüber der Plasmastrahlachse in Richtung der Anodenmündung bei dem rotierenden Plasmastrahl eine Aufspaltung des Pulverstrahls in zwei Pulverstrahlen erreicht. Bei einem Spritzabstand von 100 bis 180mm, bevorzugt von 130 bis 150mm können über die Parameterwahl von Gasdruck, Gasmenge und Pulvermenge in Abhängigkeit der

oben genannten Pulverdaten die Auftreffflächen der beiden Pulverstrahlen derart beeinflusst werden, dass diese optimal aneinander grenzen und somit mit einer geringeren Leistung pro Laser eingeschmolzen und diffusiv mit dem Grundwerkstoff verbunden werden können.

Vorteilhaft ist weiter, dass die Auftreffflächen der beiden Pulverstrahlen veränderbar sind. Diese können beispielsweise hintereinander, versetzt zueinander oder nebeneinander liegen. Dazu muss lediglich die Plasmaspritzvorrichtung, also die Pistole, entsprechend der gewünschten Lage der Auftreffflächen um die Brennerachse gedreht werden. Selbstverständlich wird der Laser bzw. werden die Laser mit deren Optik entsprechend der tatsächlichen Auftreffflächen angepasst eingestellt. Idealerweise sind die Pulver so einstellbar, dass die Auftreffflächen überlappungsfrei genau aneinander grenzen.

[0009] Erfindungsgemäß weist eine Vorrichtung zum Plasmaspritzen zum Herstellen einer Schutzschicht im Plasmaspritzverfahren auf mit heißen Gasen, insbesondere Rauchgasen beaufschlagten metallischen Wänden zur Durchführung des Verfahrens nach der Erfindung in ihrer Anode zwei eingebrachte Innenzuführöffnungen auf, welche bezogen auf eine Mittelachse der Plasmapulverspritzvorrichtung genau gegenüberliegend angeordnet sind, wobei natürlich Herstellungstoleranzen bezüglich der diametralen Anordnung möglich sind und im Rahmen der Erfindung liegen. Die beiden Innenzuführöffnungen weisen mit ihrer Mittelachse zu einer Senkrechten auf die Mittelachse der Plasmapulverspritzvorrichtung einen spitzen Winkel höchst bevorzugt von 9° auf. Weiter ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass eine Plasmagasdüse zumindest eine kombinierte Bohrung, bevorzugt mehrere kombinierte Bohrungen, weiter bevorzugt vier kombinierte Bohrungen aufweist, durch welche das zu ionisierende Gas in die Plasmaspritzvorrichtung eingeleitet wird. Zudem sind mit der Plasmaspritzvorrichtung zwei Laser kombiniert, welcher das in der Plasmaspritzvorrichtung lediglich aufgeschmolzene, also erwärmte auftreffende Auftragspulver so weiterbearbeitet, dass der diffusive Verbund der Schutzschicht mit dem Grundwerkstoff gebildet ist.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung ist insbesondere zur Anwendung z.B. an Rohr-Steg-Rohr-Segmenten und/oder beispielsweise an Paneelen für Verbrennungskesselwände in Müllverbrennungsanlagen geeignet, ohne die Anwendung hierauf zu beschränken. Insbesondere in Müllverbrennungsanlagen kann so eine vom Betrag her hohe Schutzschichtdicke hergestellt werden, welche zwangsläufig auch zu einer längeren Standzeit der beschichteten Rohr-Steg-Rohr-Segmente und/oder Paneelen führt, was wiederum einer längeren Anlagenverfügbarkeit zugutekommt. Insofern wird mit der Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Schutzschicht auf mit heißen Gasen, insbesondere Rauchgasen beaufschlagten und aus einem vorgegebenen metallischen Grundwerkstoff bestehenden Wänden von Verbrennungsan-

gen, Wärmetauschern oder ähnlichen Anlagen vorgeschlagen, bei dem mittels eines Plasmabrenners und einer Laserstrahlanlage, bevorzugt einer Doppel-Laserstrahlanlage ein Pulver aus metallischen, karbidischen, oxidkeramischen oder silicidischen Werkstoffen oder Mischungen dieser Werkstoffe auf die zuvor gereinigten metallischen Wände zur Bildung der Schutzschicht aufgetragen und durch den betreffenden Laserstrahl diffusiv mit dem Grundwerkstoff verbunden wird. Als zu beschichtende Grundwerkstoffe sind dabei die in den betreffenden Anlagen zugelassenen Grundwerkstoffe einsetzbar, wobei hier auch Grundwerkstoffe mit der Bezeichnung 15Mo3, 13CrMo45 und/oder 10CrMo910 beispielhaft genannt sein sollen. Zielführend ist auch, dass bei der Erfindung anstelle einer Laserschweißanlage eine Laserstrahlanlage Einsatz findet, um den diffusiven Verbund zu bilden. Eine Laserschweißanlage weist einen sehr viel kürzeren und sehr energieintensiven Laserstrahl auf als die Laserstrahlanlage, wobei der Grundwerkstoff bei einer Laserschweißanlage aufgeschmolzen werden muss, und wobei der Schweißzusatzwerkstoff in Elektrodenform oder kaltem Pulver zugeführt wird, wobei die Laserschweißanlage mit sehr viel höheren Energien betrieben werden muss als die idealer Weise eingesetzte Laserstrahlanlage.

Weitere vorteilhafte Einzelheiten und Wirkungen der Erfindung sind im Folgenden anhand von unterschiedlichen, in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Plasmaspritzvorrichtung kombiniert mit einer Doppel-Laserstrahlanlage, als Laser-Plasmabrennervorrichtung in prinzipieller Ansicht,
- Fig. 2 einen Querschnitt durch eine Plasmadüse der Plasmaspritzvorrichtung aus Figur 1,
- Fig. 3 einen Längsschnitt durch eine Anode der Plasmaspritzvorrichtung aus Figur 1, und
- Fig. 4 Beschichtungsbeispiele von Rohr-Steg-Rohr Elementen.

In den unterschiedlichen Figuren sind gleiche Teile stets mit denselben Bezugszeichen versehen, so dass diese in der Regel auch nur einmal beschrieben werden.

[0011] Figur 1 zeigt eine Laser-Plasmapulverspritzvorrichtung 1, die eine Plasmapulverspritzvorrichtung 2 und eine Doppel-Laserstrahlanlage 3 aufweist.

[0012] Die Plasmapulverspritzvorrichtung 2 erzeugt zwei aufgespaltene Pulverstrahlen 4 und 6, welche auf ein zu beschichtendes Werkstück 7 treffen. Das zu beschichtende Werkstück 7 ist z.B. ein Rohr-Steg-Rohr-Segment 8, wie dies beispielhaft in Figur 4 dargestellt ist. Das Werkstück 7 wird mit aggressiven, heißen Rauchgasen beaufschlagt, welche z.B. in Müllverbrennungsanlagen entstehen.

[0013] Einer der Pulverstrahlen 4 tritt zentrisch zur Mittelängsachse X1 der Plasmapulverspritzvorrichtung 2 aus dieser heraus. Der andere Plasmapulverstrahl 6 tritt abgelenkt zur Mittelachse X1 der Plasmapulverspritzvor-

richtung 2 aus dieser heraus. Beide Pulverstrahlen 4 und 6 bilden jedoch einen Gesamtspritzkegel 9.

[0014] Die beiden Pulverstrahlen 4 und 6 treffen auf das zu beschichtende Werkstück 7, wobei das jeweilige Pulver des jeweiligen Pulverstrahls 4 oder 6 in der Plasmapulverspritzvorrichtung 2 lediglich aufgeschmolzen wird, und vor dem Austritt nicht schmelzflüssig ist.

[0015] Zur Bildung eines diffusiven Verbundes des aufgetragenen Pulvers, also des Beschichtungswerkstoffes mit dem Werkstück 7, also mit dessen Grundwerkstoff ist die Doppel-Laserstrahlanlage 3 vorgesehen, welche entsprechend der beiden Pulverstrahlen 4 und 6 auch zwei Laserstrahlen 11 und 12 erzeugt.

[0016] In Figur 2 ist eine Plasmagasdüse 13 der Plasmapulverspritzvorrichtung 2 in einem Querschnitt gezeigt. Die Plasmagasdüse 13 kann im Folgenden auch als Injektor 13 bezeichnet werden. Die Plasmapulverspritzvorrichtung 2 kann im Folgenden auch als Plasmabrenner 2 bezeichnet werden.

[0017] Der Injektor 13 weist beispielhaft vier kombinierte Bohrungen 14 auf, welche in Umfangsrichtung des Injektors 13 gesehen gleich verteilt sind. Jede der kombinierten Bohrungen 14 ist aus zwei Teilbohrungen 16 und 17 gebildet. Eine erste Teilbohrung 16 hat eine Mittelachse x, welche deckungsgleich zu einer jeweiligen Mittelachse des Injektors 13 ist. Eine zweite Teilbohrung 17 hat eine Mittelachse y, welche bezogen auf die Mittelachse x der ersten Teilbohrung 16 und damit zur jeweiligen Mittelachse des Injektors 13 winklig angeordnet ist. In höchst bevorzugter Ausgestaltung weist der Winkel zwischen den beiden Mittelachsen x und y einen Betrag von $16,5^\circ$ auf. Jede der beiden Teilbohrungen 16 und 17 weist einen Durchmesser von beispielhaft 1,8 mm auf. An einem Außenumfang des Injektors 13 weisen beide Teilbohrungen 16 und 17 einen gemeinsamen Ansatzpunkt auf. Insofern ist die Einlassöffnung 18 an dem Außenumfang des Injektors 13 identisch zu dem Durchmesser der beiden Teilbohrungen 16, 17. Beide Teilbohrungen 16 und 17 bilden an einem Innenumfang 18 des Injektors 13 eine innere Gesamtmündungsöffnung 20. Dadurch, dass die zweite Teilbohrung 17 winklig zur ersten Teilbohrung 16 in den Injektor 13 eingebracht wird, wird die innere Gesamtmündungsöffnung 20 größer sein als der Durchmesser einer einzelnen Teilbohrung 16 oder 17. Gleichzeitig wird die innere Gesamtmündungsöffnung 20 kleiner sein als die Summe der beiden Durchmesser der Teilbohrungen 16 und 17. Insofern wird jeweils eine kombinierte Bohrung 14 erzeugt, welche quasi eine exzentrischen Verlauf aufweist, wobei sich die kombinierte Bohrung 14 ausgehend von dem an dem Außenumfang angeordneten Ansatzpunkt exzentrisch, also quasi halbkegelförmig in Richtung zum Innenumfang 19 erweitert. Alle Teilbohrungen 16 und 17 der vier kombinierten Bohrungen 14 sind jeweils gleich orientiert. Mittels dieser Ausgestaltung wird das Plasmagas tangential zur Plasmabrennerachse (Mittellängsachse X1) in den Plasmabrenner eingeleitet und erreicht so um die Mittellängsachse X1 des Plasmabrenners 2 rotierend einen

Lichtbogen 21 zwischen einer Anode 22 und einer Kathode 23 (Figur 3) des Plasmabrenners 2.

In Figur 3 ist die Anode 22 der Plasmapulverspritzvorrichtung 2 gezeigt. In der Anode 22 ist die Kathode 23 aufgenommen. Sowohl die Kathode 23 als auch die Anode 22 sind mit ihren Mittelachse X2 und X3 deckungsgleich zur Mittelachse X1 der Plasmaspritzvorrichtung 2. Der Lichtbogen 21 ist ebenfalls erkennbar, wobei auf eine Darstellung der jeweiligen Lichtbogenfußpunkte an der Anode 22 und der Kathode 23 verzichtet wurde. Zielführend ist nun, dass das Plasmagas den Lichtbogen 21 rotierend um die Mittellängsachse X1 des Plasmabrenners 2 erreicht. Damit wird auch der Lichtbogen 21 um die Mittellängsachse des Plasmabrenners 2 rotierend mitgenommen, was in Figur 3 mittels der beiden Lichtbogen 21 und 21a dargestellt ist. Durch den rotierenden Lichtbogen 21 kann die Standzeit sowohl der Anode 22 als auch der Kathode 23 verlängert werden, da die jeweiligen Lichtbogenfußpunkte nicht mehr statisch fixiert sind, sondern sowohl an der Anode 22 als auch an der Kathode 23 umlaufen. Dabei ist in Figur 3 erkennbar, dass der Lichtbogenfußpunkt an der Anode 22 in einem oberen Spitzenbereich und nicht direkt an der Spitze selbst ansetzt.

[0018] Durch das rotierende Plasmagas und den rotierenden Lichtbogen stellt sich auch eine rotierende Ionisation des Plasmagases ein.

[0019] Der Plasmabrenner 2 weist eine Innenpulverzuführung auf.

[0020] Zur Innenpulverzuführung sind in der Anode 22 zwei Innenzuführöffnungen 24 und 26 eingebracht. Anschlüsse zu Pulvergebern sind nicht dargestellt. Die Innenzuführöffnungen 24 und 26 sind gleichzeitig mit Pulver beschickbar wobei eine jeweilige Pulvermenge durch die jeweilige Innenzuführöffnung 24 und 26 separat steuerbar ist. Die jeweilige Innenzuführöffnung 24 und 26 weist jeweils eine Mittelachse X4 auf, die zu einer Senkrechten Z auf die Mittelachse X1, winklig, höchst bevorzugt mit einem Winkel α von 9° angeordnet ist. Die beiden Innenzuführöffnungen 24 und 26 sind gleichorientiert in Richtung zu einer Plasmaaustrittsseite in die Anode 22 eingebracht und münden in dem Inneren der Anode 22, und sind mit ihren Mündungsöffnungen 27 bezogen auf die Mittelachse X1 gegenüberliegend angeordnet.

[0021] Mit der Laser-Plasmapulverspritzvorrichtung 1 ist eine Schutzschicht auf mit heißen Rauchgasen beaufschlagten metallischen Wänden, beispielsweise auf Roh-Steg-Rohr-Segmenten 8, wie diese in Figur 4 beispielhaft dargestellt sind aufbringbar. An einem rechten Bildrand der Figur 4 ist ein beispielhaftes Rohr-Steg-Rohr-Segment 8 in einem Längsschnitt dargestellt. Daneben ist eine Aufsicht dargestellt.

[0022] Figur 4 soll dazu dienen eine jeweils mögliche Lage die Auftreffflächen 28 und 29 der Pulverstrahlen 4 und 6 darzustellen. Die Lage der Auftreffflächen 28 und 29 ist dabei abhängig von der Verdrehung der Plasmapulverspritzvorrichtung 2, also von der Position der Pistole. Selbstverständlich sind die Laserstrahlen 11 und 12

entsprechend ausgerichtet.

Zunächst können die Auftreffflächen 28 und 29 nebeneinander liegend angeordnet sein, wie im unteren Figurenbereich der Figur 4 erkennbar. Diese Position wird für die Folgenden Positionen der Einfachheit wegen als neutrale Position bezeichnet, ohne dass dies eine einschränkende Wirkung haben soll. Erkennbar ist, dass die Pulverstrahlen 4 und 6 dabei nicht, wie aus Figur 1 angenommen werden könnte, scharf voneinander getrennt sind, sondern jeweils einen Überlappbereich 31 aufweisen.

[0023] Durch Verdrehen des Plasmabrenners 2 aus seiner neutralen Position heraus könnten die Auftreffflächen 28 und 29 versetzt zueinander sein, so dass eine der anderen quasi voreilt. Diese Position ist in der Mitte der Figur 4 dargestellt. Durch weiteres Verdrehen aus der neutralen Position heraus können die Auftreffflächen 28 und 29 auch direkt hintereinander angeordnet sein, wie am oberen Bereich der Figur 4 erkennbar ist.

Die jeweils erkennbaren Überlappbereiche 31 können in ihrem Betrag ebenfalls veränderbar sein, wie in Figur 4 angedeutet. Die beiden Pulverstrahlen 4 und 6, also die Auftreffflächen 28 und 29, können idealer Weise auch ohne Überlappung angrenzen.

Selbstverständlich sind auch die Bögen des Rohr-Steg-Rohr-Segmentes 8 mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschichtbar. Ebenso sind Paneele für Kesselwände mit dem vorgeschlagenen Verfahren der Erfindung beschichtbar.

Mit der Laser-Plasmaspritzvorrichtung 1 kann eine Schutzschicht mit einer Dicke von beispielsweise 0,6 bis 1,5 mm erzeugt werden. Dies ist möglich, da zwei Pulverstrahlen 4 und 6 erzeugt werden, wobei das Pulver der jeweiligen Pulverstrahlen nicht schmelzflüssig ist, sondern lediglich aufgeschmolzen, also angewärmt wird. Dadurch können die Laser mit einer geringeren Leistung einen aufmischzonenfreien, diffusiven Verbund des aufgetragenen Pulvers, also Beschichtungswerkstoffes zum Grundwerkstoff bewirken. Hinzu ist zu sehen, dass das Plasmagas tangential zur Mittellängsachse eingeleitet wird und um die Mittellängsachse X1 rotiert, so dass durch den rotierenden Lichtbogen quasi auch eine rotierende Ionisation des Plasmagases erzeugt wird. Zudem ist vorteilhaft, dass zwei Innenzuführöffnungen der Anode gleichzeitig mit Pulver beschickt werden, so dass die beiden Pulverstrahlen 4 und 6 gebildet sind, von denen noch dazu einer zur Mittellängsachse X1 abgelenkt ist.

Patentansprüche

1. Thermisches Spritzverfahren zum Herstellen einer Schutzschicht im Plasmapulverspritzverfahren auf mit heißen Gasen, insbesondere Rauchgasen beaufschlagten metallischen Wänden, wobei eine Plasmapulverspritzvorrichtung (2) mit einer Kathode (23) und mit einer Anode (22) und eine Laserstrahlanlage (3) vorgesehen sind, wobei auf die metalli-

sche Wand auftreffender Beschichtungswerkstoff mittels Laserstrahlen (11,12) der Laserstrahlanlage (3) unter Ausbildung eines diffusiven Verbundes des Beschichtungswerkstoffes zum Grundwerkstoff der metallischen Wand verbunden wird, **gekennzeichnet durch zumindest die Schritte** Reinigen der metallischen Wände;

Versetzen eines Plasmagases innerhalb der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) in Rotation um die Mittellängsachse (X1) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2), indem eine Plasmagasdüse (13) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) zumindest eine kombinierte Bohrung (14) aufweist, welche aus zwei ineinander eingebrachten Teilbohrungen (16, 17) gebildet ist, die an einem Außenumfang der Plasmagasdüse (13) einen gemeinsamen Ansatzpunkt aufweisen, von denen eine Teilbohrung (17) mit ihrer Mittelachse (y) winklig zur Mittelachse (x) der anderen Teilbohrung (16) angeordnet ist, so dass Plasmagas tangential zur Mittellängsachse (X1) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) in die Anode (22) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) eingeleitet wird, wobei das Plasmagas einen Lichtbogen (21) rotierend um die Mittellängsachse (X1) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) erreicht, wobei der Lichtbogen (21) mit seinen Lichtbogenfußpunkten zum einen an der Anode (22) und zum anderen an der Kathode (23) entsprechend der Rotation des Plasmagases in Rotation versetzt wird;

Innenzuführung des Beschichtungswerkstoffes als Pulver gleichzeitig durch zwei in die Anode (22) eingebrachte Innenzuführöffnungen (24,26) hindurch, welche Innenzuführöffnungen (24,26) mit ihren Mündungsöffnungen einander gegenüberliegend angeordnet sind, wobei zwei Pulverstrahlen (4,6) erzeugt werden; und

Anwärmen des Beschichtungswerkstoffes im jeweiligen Plasmastrahl, wobei aber das Pulver nicht schmelzflüssig wird; wobei

jeder Pulverstrahl (4,6) aus einem unterschiedlichen Beschichtungswerkstoff gebildet ist und mit einem jeweils zugeordneten Laserstrahl (11,12) zur Bildung des diffusiven Verbundes bearbeitet wird, wobei einer der Pulverstrahlen (4,6) die Plasmapulverspritzvorrichtung (2) zentrisch zu seiner Mittelachse (X1) verlässt, wobei der andere Pulverstrahl (4,6) die Plasmaspritzvorrichtung (2) abgelenkt zur Mittelachse (X1) die Plasmaspritzvorrichtung (2) verlässt.

2. Thermisches Spritzverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der diffusive Verbund des Beschichtungswerkstoffes zum Grundwerkstoff eine Dicke von 100 µm, bevorzugt von 20 bis 70 µm aufweist.

3. Thermisches Spritzverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schutzschicht nach dem Aufspritzen und nach dem Erstel-

len des diffusiven Verbundes mit dem Laser eine Schichtdicke von 0,2 bis 0,4 mm, bevorzugt von 0,6 bis 1,5mm aufweist.

4. Thermisches Spritzverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Pulver mit einer groben Körnung weniger als 200µm, bevorzugt weniger als 125µm, weiter bevorzugt zwischen 63 und 104µm aufgetragen wird.
5. Thermische Spritzvorrichtung eingerichtet zur Durchführung des thermisches Spritzverfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, zum Herstellen einer Schutzschicht im Plasmapulverspritzverfahren auf mit heißen Gasen, insbesondere Rauchgasen beaufschlagten metallischen Wänden, wobei eine Plasmapulverspritzvorrichtung (2) mit einer Kathode (23) und mit einer Anode (22) in die zwei Innenzuführöffnungen (24,26) für Beschichtungswerkstoff als Pulver eingebracht sind, deren Mündungsöffnungen einander gegenüberliegend angeordnet sind und eine Laserstrahlanlage (3) vorgesehen sind, deren Laserstrahlen (11,12) einen diffusiven Verbund des auftreffenden Beschichtungswerkstoffes zum Grundwerkstoff erzeugen **dadurch gekennzeichnet, dass**, zwei Pulverstrahlen (4,6) erzeugt werden, wobei Beschichtungswerkstoff als Pulver im jeweiligen Plasmastrahl angewärmt wird, wobei aber das Pulver nicht schmelzflüssig wird, wobei jeder Pulverstrahl (4,6) aus einem unterschiedlichen Beschichtungswerkstoff gebildet ist und mit einem jeweils zugeordneten Laserstrahl (11,12) zur Bildung des diffusiven Verbundes bearbeitet wird, wobei einer der Pulverstrahlen (4,6) die Plasmapulverspritzvorrichtung (2) zentrisch zu seiner Mittelachse (X1) verlässt, wobei der andere Pulverstrahl (4,6) die Plasmaspritzvorrichtung (2) abgelenkt zur Mittelachse (X1) die Plasmaspritzvorrichtung (2) verlässt, wobei eine Plasmagasdüse (13) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) zumindest eine kombinierte Bohrung (14) aufweist, welche aus zwei in einander eingebrachten Teilbohrungen (16, 17) gebildet ist, die an einem Außenumfang der Plasmagasdüse (13) einen gemeinsamen Ansatzpunkt aufweisen, von denen eine Teilbohrung (17) mit ihrer Mittelachse (y) winklig zur Mittelachse (x) der anderen Teilbohrung (16) angeordnet ist, so dass Plasmagas tangential zur Mittellängsachse (X1) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) in eine Anode (22) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) eingeleitet wird, wobei das Plasmagas einen Lichtbogen (21) rotierend um die Mittellängsachse (X1) der Plasmapulverspritzvorrichtung (2) erreicht.
6. Thermische Spritzvorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die jeweilige Mittelachse (X4) der Innenzuführöffnungen (24,26) zu ei-

ner Senkrechten auf eine Mittellängsachse (X1) winklig, höchst bevorzugt in einem Winkel von 9° angeordnet ist.

Claims

1. A thermal spraying process for producing a protective layer in the plasma powder spraying process on metallic walls exposed to hot gases, in particular flue gases, wherein a plasma powder spraying device (2) is provided with a cathode (23) and with an anode (22) and a laser jet system (3), wherein coating material impacting on the metallic wall is bonded by means of laser jets (11, 12) of the laser jet system (3), thereby forming a diffusive bond of the coating material with the base material of the metallic wall, **characterised by** at least the steps
cleaning of the metallic walls;
causing a plasma gas inside the plasma powder spraying device (2) to rotate about the central longitudinal axis (X1) of the plasma powder spraying device (2), whereby a plasma gas jet (13) of the plasma powder spraying device (2) comprises at least one combined bore (14), which is formed from two partial bores (16, 17) introduced into one another, which partial bores have, at an outer circumference of the plasma gas nozzle (13), a common starting point, from which a partial bore (17) is arranged with its central axis (y) at an angle to the central axis (x) of the other partial bore (16), so that plasma gas is introduced tangentially to the central longitudinal axis (X1) of the plasma powder spraying device (2) into the anode (22) of the plasma powder spraying device (2), wherein the plasma gas reaches an electric arc (21) rotating about the central longitudinal axis (X1) of the plasma powder spraying device (2), wherein the electric arc (21) is caused to rotate with its electric arc roots on the one hand at the anode (22) and on the other hand at on the cathode (23) corresponding to the rotation of the plasma gas;
Internal feeding of the coating material as a powder simultaneously through two inner feed openings (24, 26) introduced into the anode (22), which inner feed openings (24, 26) are arranged with their mouth openings lying opposite one another, wherein two powder jets (4, 6) are generated; and
heating of the coating material in the respective plasma jet, wherein however the powder is not molten; wherein each powder jet (4, 6) is formed from a different coating material and is processed with a respectively assigned laser jet (11, 12) for forming the diffusive bond, wherein one of the powder jets (4, 6) leaves the plasma powder spraying device (2) concentrically relative to its central axis (X1), wherein the other powder jet (4, 6) leaves the plasma spraying device (2) deflected with respect to the central axis (X1) of the plasma spraying device (2).

2. The thermal spraying process according to claim 1, **characterised in that** the diffusive bond of the coating material with the base material has a thickness of 100 μm , preferably of 20 to 70 μm .
3. The thermal spraying process according to claim 1 or 2, **characterised in that** the protective layer, after the spraying and after the creation of the diffusive bond with the laser, has a layer thickness of 0.2 to 0.4 mm, preferably 0.6 to 1.5 mm.
4. The thermal spraying process according to any one of the preceding claims, **characterised in that** a powder is deposited with a coarse grain size less than 200 μm , preferably less than 125 μm , more preferably between 63 and 104 μm .
5. A thermal spraying device set up for performing the thermal spraying process according to any one of the preceding claims, for producing a protective layer in the plasma powder spraying process on metallic walls exposed to hot gases, in particular flue gases, wherein a plasma powder spraying device (2) with a cathode (23) and with an anode (22), into which two inner feed openings (24, 26) for coating material as a powder are introduced, the mouth openings whereof are arranged opposite one another, and a laser jet system (3) are provided, the laser jets (11, 12) whereof generate a diffusive bond of the impacting coating material with the base material, **characterised in that** two powder jets (4, 6) are generated, wherein coating material as powder is heated in the respective plasma jet, wherein however the powder is not molten, wherein each powder jet (4, 6) is formed from a different coating material and is processed with a respectively assigned laser jet (11, 12) to form the diffusive bond, wherein one of the powder jets (4, 6) leaves the plasma powder spraying device (2) concentrically relative to its central axis (X1), wherein the other powder jet (4, 6) and leaves the plasma spraying device (2) deflected with respect to the central axis (X1), wherein a plasma gas jet (13) of the plasma powder spraying device (2) comprises at least one combined bore (14), which is formed from two partial bores (16, 17) introduced into one another, which partial bores comprise, at an outer circumference of the plasma gas nozzle (13), a common starting point, from which a partial bore (17) is arranged with its central axis (y) at an angle to the central axis (x) of the other partial bore (16), so that plasma gas is introduced tangentially to the central longitudinal axis (X1) of the plasma powder spraying device (2) into an anode (22) of the plasma powder spraying device (2), wherein the plasma gas reaches an electric arc (21) rotating about the central longitudinal axis (X1) of the plasma powder spraying device (2).

6. The thermal spraying device according to claim 5, **characterised in that** the respective central axis (X4) of the inner feed openings (24, 26) is arranged at an angle, at most preferably at an angle of 9°, to a vertical on a central longitudinal axis (X1).

Revendications

1. Procédé d'injection thermique, destiné à créer une couche protectrice par procédé d'injection de poudre à plasma sur des parois métalliques exposées à des gaz chauds, notamment des gaz de fumée, un dispositif d'injection de poudre à plasma (2) pourvu d'une cathode (23) et d'une anode (22) et un système à faisceau laser (3) étant prévus, une matière de revêtement incidente sur la paroi métallique étant assemblée au moyen de faisceaux laser (11, 12) du système à faisceau laser (3) sous création d'une liaison diffuse entre la matière de revêtement et la matière de base de la paroi métallique, **caractérisé par** au moins les étapes, consistant à :

nettoyer les parois métalliques ;
 mettre en rotation un gaz plasmagène autour de l'axe longitudinal médian (X1) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2) à l'intérieur du dispositif d'injection de poudre à plasma (2) en ce qu'une buse à gaz plasmagène (13) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2) comporte au moins un perçage mixte (14), lequel est formé de deux perçages partiels (16, 17) ménagés l'un dans l'autre, qui sur une périphérie extérieure de la buse à gaz plasmagène (13) présentent un point de départ commun, desquels axe médian (y), un perçage partiel (17) est placé avec un angle par rapport à l'axe médian (x) de l'autre perçage partiel (16), de sorte que du gaz plasmagène soit introduit de manière tangentielle à l'axe longitudinal médian (X1) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2) dans l'anode (22) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2), le gaz plasmagène atteignant un arc électrique (21) en rotation autour de l'axe longitudinal médian (X1) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2), par ses pieds d'arc électrique, l'arc électrique (21) étant amené en rotation en fonction de la rotation du gaz plasmagène d'une part sur l'anode (22) et d'autre part sur la cathode (23) ;
 alimenter par l'intérieur la matière de revêtement sous forme de poudre, simultanément à travers deux orifices d'alimentation intérieure (24, 26) ménagés dans anode (22), lesquels orifices d'alimentation intérieure (24, 26) sont placés en vis-à-vis mutuel par leurs orifices d'embouchure, deux jets de poudre (4, 6) étant créés ; et

- mettre en température la matière de revêtement dans le jet de plasma concerné, sans pour autant que la poudre ne se mette en fusion ; chaque jet de poudre (4, 6) est formé d'une matière de revêtement différente et étant usiné avec un faisceau laser (11, 12) associé, pour créer la liaison diffuse, l'un des jets de poudre (4, 6) quittant le dispositif d'injection de poudre à plasma (2) de manière centrée par rapport à son axe médian (X1), l'autre jet de poudre (4, 6) quittant le dispositif d'injection de plasma (2) en déviation par rapport à l'axe médian (X1) le dispositif d'injection de plasma (2) le dispositif d'injection de plasma (2).
2. Procédé d'injection thermique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la liaison diffuse de la matière de revêtement avec la matière de base présente une épaisseur de 100 μm , de préférence de 20 à 70 μm .
 3. Procédé d'injection thermique selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**après l'application par injection et après la création de la liaison diffuse à l'aide du laser, la couche protectrice présente une épaisseur de couche de 0, 2 à 0, 4 mm, de préférence de 0, 6 à 1, 5 mm.
 4. Procédé d'injection thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**on applique une poudre d'une granulométrie grossière inférieure à 200 μm , de préférence inférieure à 125 μm , de manière plus préférentielle, comprise entre 63 et 104 μm .
 5. Dispositif d'injection thermique, aménagé pour réaliser le procédé d'injection thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour la création d'une couche protectrice par procédé d'injection de poudre à plasma sur des parois métalliques exposées à des gaz chauds, notamment des gaz de fumée, un dispositif d'injection de poudre à plasma (2) pourvu d'une cathode (23) et d'une anode (22) étant introduit sous forme de poudre dans les deux orifices d'alimentation intérieure (24, 26) de la matière de revêtement dont les orifices d'embouchure sont placés en vis-à-vis mutuel et un système à faisceau laser (3) étant prévu dont les faisceaux laser (11, 12) créent une liaison diffuse de la matière de revêtement incidente avec la matière de base, **caractérisé en ce qu'**on crée deux jets de poudre (4, 6), la matière de revêtement sous forme de poudre étant mise en température dans le jet de plasma concerné, sans pour autant que la poudre ne se mette en fusion, chaque jet de poudre (4, 6) étant formé d'une matière de revêtement différente et étant usiné avec un faisceau laser (11, 12) respectivement associé, pour créer la liaison diffuse, l'un des jets de poudre (4, 6) quittant le dispositif d'injection de poudre à plasma (2) de manière centrale par rapport à son axe médian (X1), l'autre jet de poudre (4, 6) quittant le dispositif d'injection de plasma (2) le dispositif d'injection de plasma (2) en déviation par rapport à l'axe médian (X1), une buse à gaz plasmagène (13) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2) comportant au moins un perçage mixte (14), qui est formé de deux perçages partiels (16, 17) ménagés l'un dans l'autre, qui sur une périphérie extérieure de la buse à gaz plasmagène (13) présentent un point de départ commun, dont un perçage partiel (17) est placé par son axe médian (y) avec un angle par rapport à l'axe médian (x) de l'autre perçage partiel (16), de sorte que le gaz plasmagène soit introduit de manière tangentielle à l'axe longitudinal médian (X1) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2) dans une anode (22) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2), le gaz plasmagène atteignant un arc électrique (21) en rotation autour de l'axe longitudinal médian (X1) du dispositif d'injection de poudre à plasma (2).
 6. Dispositif d'injection thermique selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'axe médian (X4) respectif des orifices d'alimentation intérieure (24, 26) est placé avec un angle, de préférence sous un angle de 9° par rapport à une verticale sur un axe longitudinal médian (X1).

Fig. 1

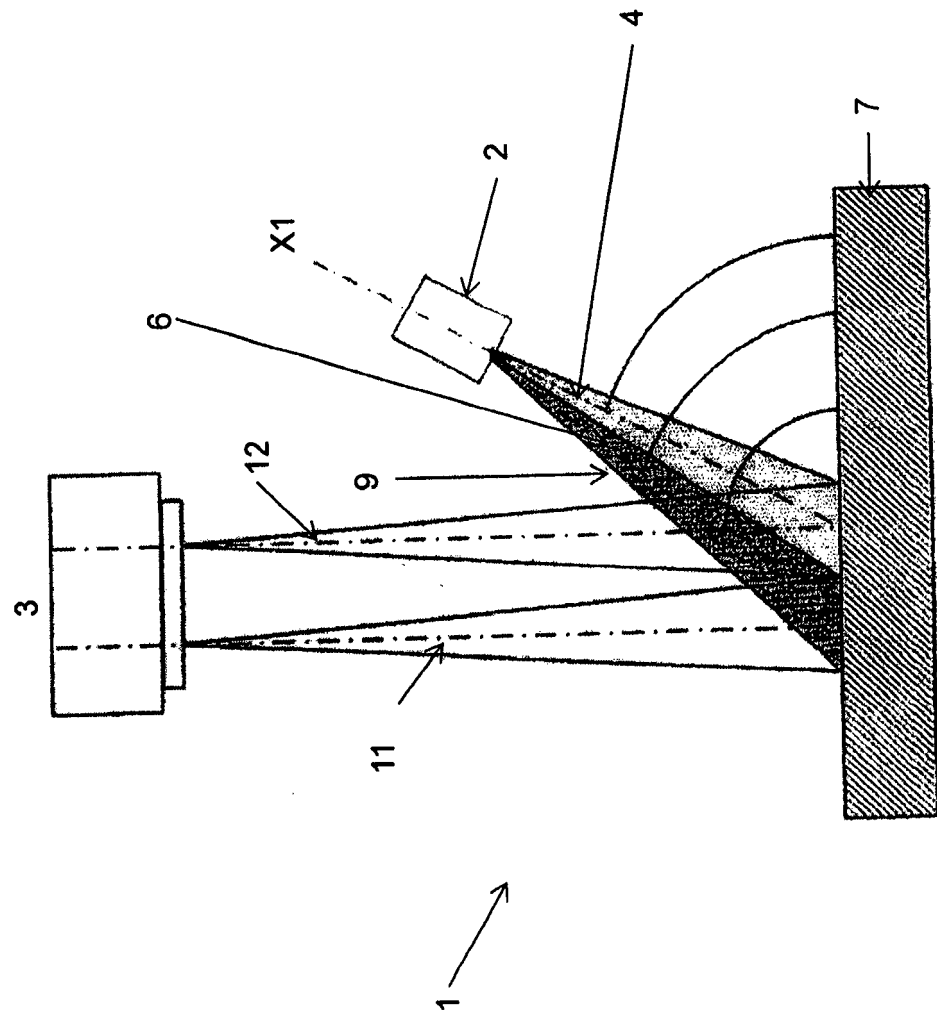
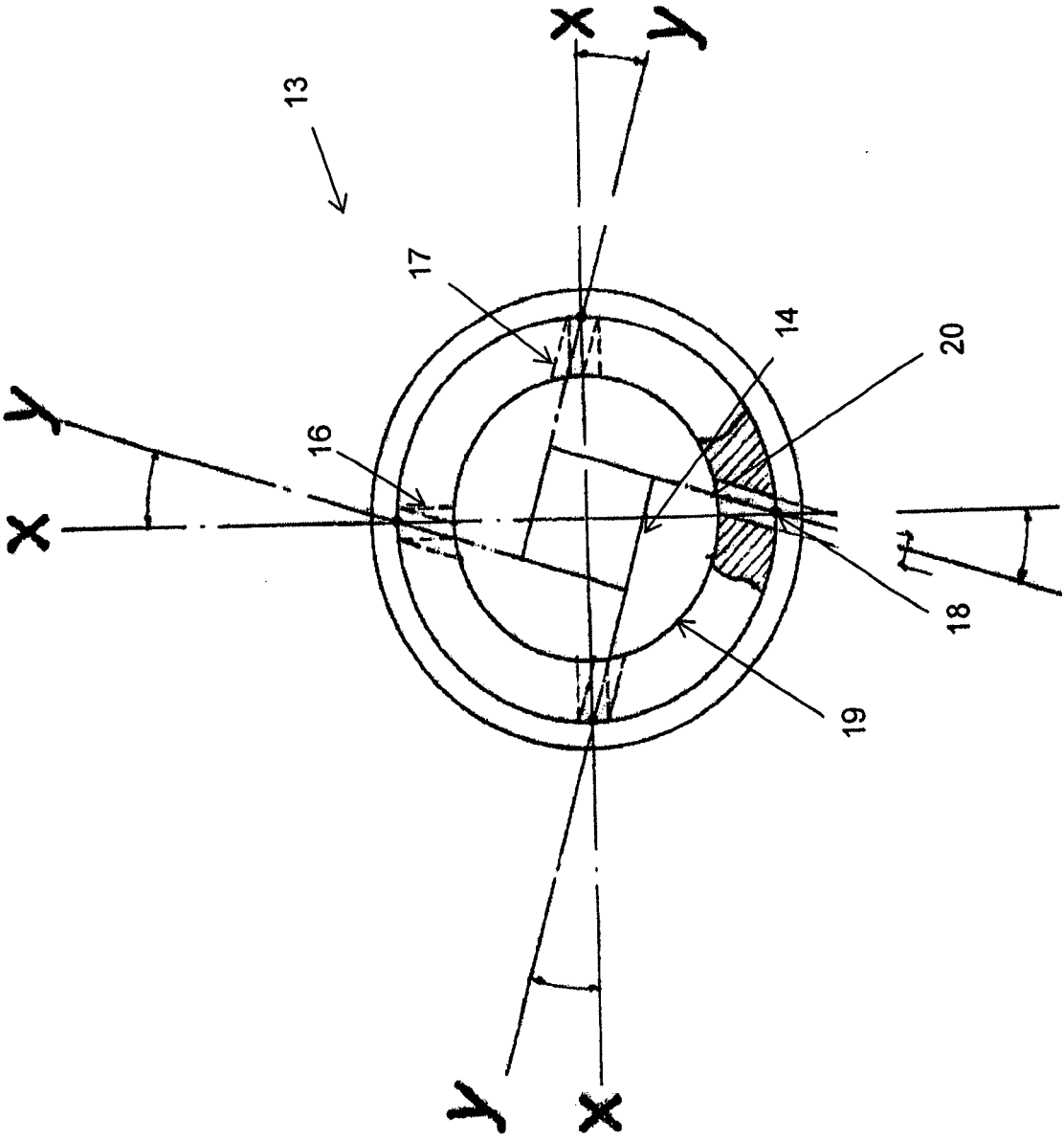


Fig. 2



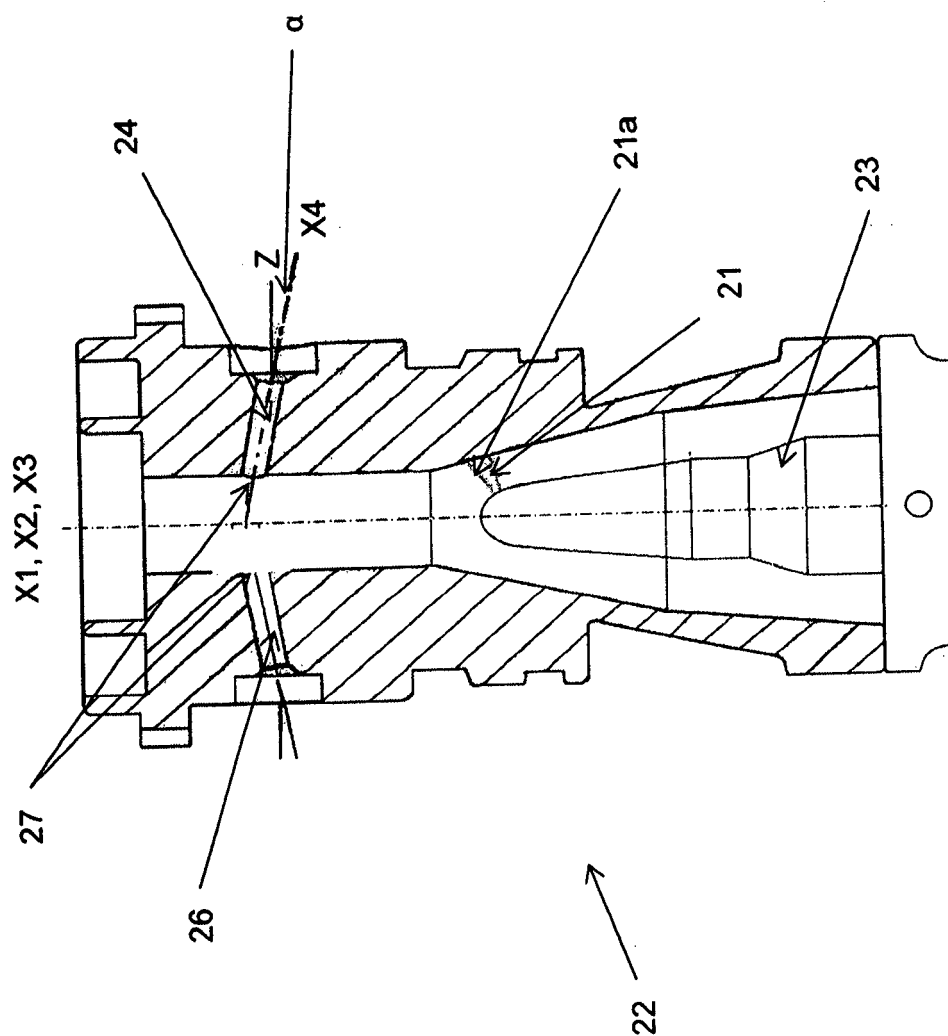
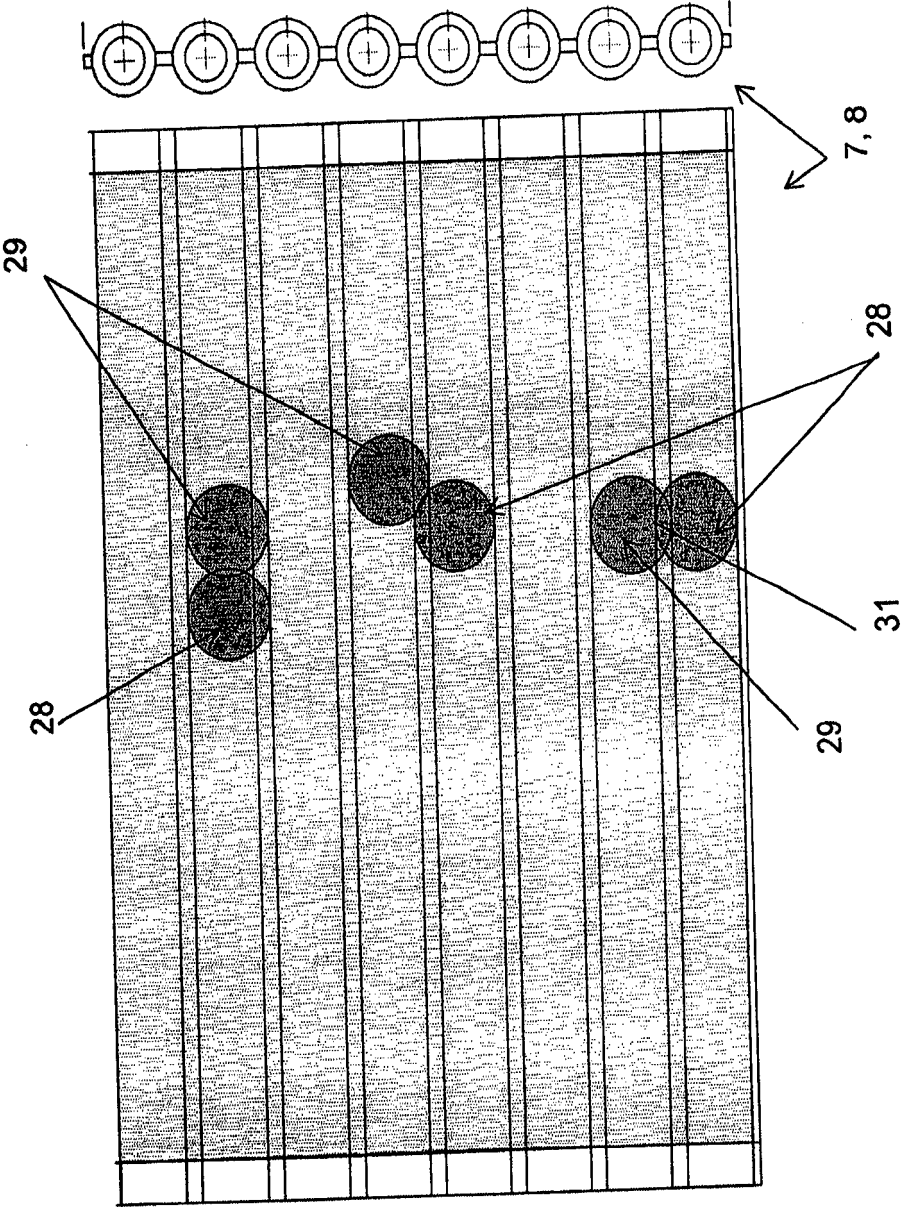


Fig. 3

Fig. 4



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

- EP 0903423 A2 [0001]
- DE OS2144837 A [0001]
- DE 19638228 A1 [0001]
- US 4192672 A [0002]
- EP 0223135 A1 [0003]
- DE 4220063 C1 [0005] [0006]