



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 593 437 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
25.10.2006 Patentblatt 2006/43

(51) Int Cl.:
B05B 7/14^(2006.01) C23C 24/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05009467.1**

(22) Anmeldetag: **29.04.2005**

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Kaltgasspritzen

Method and device for cold gas spraying

Procédé et dispositif de projection par gaz froid

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **04.05.2004 DE 102004021846
17.06.2004 DE 102004029354**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.11.2005 Patentblatt 2005/45

(73) Patentinhaber: **Linde Aktiengesellschaft
65189 Wiesbaden (DE)**

(72) Erfinder:
• **Heinrich, Peter
82110 Germering (DE)**
• **Kreye, Prof. Dr. Heinrich
22175 Hamburg (DE)**

- **Stoltenhoff Dr. Thorsten
58256 Ennepatal (DE)**
- **Schmidt, Tobias
59889 Eslohe (DE)**
- **Borchert, Ralf
95473 Prebitz (DE)**
- **Ballhorn, Reinhard
64297 Darmstadt (DE)**

(74) Vertreter: **Gellner, Bernd et al
Linde Aktiengesellschaft,
Zentrale Patentabteilung,
Dr.-Carl-von-Linde-Strasse 6-14
82049 Höllriegelskreuth (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A- 0 484 533 DE-A1- 10 119 288
DE-A1- 10 207 525**

EP 1 593 437 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kaltgasspritzen, wobei Partikel in einem Gasstrahl beschleunigt werden und die Partikel mit hoher Geschwindigkeit auf ein Werkstück auftreffen, und wobei der Gasstrahl durch Entspannung in einer Düse beschleunigt wird und sich dabei abkühlt. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Kaltgasspritzen umfassend eine Düse, die sich in einen konvergent zulaufenden Düsenabschnitt und einen Düsenauslauf gliedert.

[0002] Beim Kaltgasspritzen wird ein Gas in einer de Lavaldüse auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt. Der Beschichtungswerkstoff wird als Pulver vor oder nach dem Düsenhals in den Gasstrahl injiziert und auf das Substrat hin beschleunigt. Die auf hohe Geschwindigkeit gebrachten Partikel bilden beim Aufprall eine dichte und fest haftende Schicht. Dazu müssen sich die Partikel verformen. Ein Aufheizen des Gasstrahls erhöht die Strömungsgeschwindigkeit des Gases und somit auch die Partikelgeschwindigkeit. Die damit ebenfalls verbundene Erwärmung der Partikel begünstigt das Verformen beim Aufprall. Die Gastemperatur liegt aber deutlich unterhalb der Schmelztemperatur des Beschichtungswerkstoffs, so dass ein Schmelzen der Partikel im Gasstrahl nicht stattfinden kann. Im Vergleich zu den Verfahren des thermischen Spritzens lassen sich beim Kaltgasspritzen die mit dem Schmelzen verbundenen Nachteile wie Oxidation und andere Phasenumwandlungen vermeiden.

[0003] Das Verfahren des Kaltgassspritzens beinhaltet beispielsweise die EP 484 533. In jüngster Zeit hat sich gezeigt, dass dichte und fest haftende Schichten nicht nur dann entstehen, wenn das Gas in einer Lavaldüse auf Überschallgeschwindigkeit sondern auch wenn das Gas nur auf Geschwindigkeiten nahe an der Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird. Ein Verfahren mit Beschleunigung auf Geschwindigkeiten nahe der Schallgeschwindigkeit beinhaltet beispielsweise die DE 101 19 288. Eine Lavaldüse gliedert sich in einen konvergenten Abschnitt, der im Düsenhals endet, und in einen am Düsenhals beginnenden divergenten Abschnitt. Eine Düse, in der Gas auf nahezu Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird, gliedert sich in einen konvergenten Abschnitt, der im Düsenhals endet und einen sich am Düsenhals anschließenden Abschnitt, der konisch oder zylindrisch gestaltet ist.

[0004] Von Vorteil für die Schicht ist, wenn die Partikel beim Aufprall auf das Substrat warm (aber nicht angeschmolzen) sind, da dies die plastische Verformung unterstützt. Ein Anschmelzen der Partikel kann die Eigenschaften der Beschichtung zu ihren Ungunsten verändern. Die Praxis hat gezeigt, dass sich die Partikel in dem heißen Gasstrahl gut erwärmen und Temperaturen nahe der Gastemperatur erreichen. In dem zweiten Abschnitt der Düse, dem Düsenauslauf, sowie im Spritzfreistrah zwischen Düsenaustritt und Substrat kühlen die Partikel sehr schnell wieder ab. Damit fehlt beim Aufprall Wärme,

welche die plastische Verformbarkeit begünstigt. Dies kann sich nachteilig auf die Schichteigenschaften auswirken. Die Abkühlung ist darauf zurückzuführen, dass im Düsenauslauf die Gasbeschleunigung stattfindet und die Gasbeschleunigung mit einer Abkühlung des Gases einhergeht. Bei manchen Düsengeometrien liegt die Gastemperatur am Düsenaustritt weit unter dem Gefrierpunkt. Da die Partikel mit dem Gasstrahl sehr gut wechselwirken, sinkt auch die Temperatur der Partikel stark ab.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, die eine vergleichsweise hohe Temperatur der Partikel beim Aufprall auf das Substrat ermöglichen.

[0006] Die Aufgabe wird für das Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass den Partikeln über Mikrowellentechnik Energie zugeführt wird. Durch die mit Hilfe der Mikrowellentechnik zugeführte Energie werden die Partikel erwärmt. Wärmere Partikel verformen sich beim Auftreffen auf das Werkstück besser als kältere Partikel, da neben der kinetischen Energie auch die thermische Energie der Partikel zur Schichtausbildung zur Verfügung steht. Dies verbessert die Qualität der Beschichtung in Bezug auf Schichteigenschaften und Haftung auf dem Untergrund. Die Erhöhung der zur Verfügung stehenden Energie führt zu einer Verbesserung der Haftung der Partikel auf dem Untergrund und der Partikel untereinander. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der Verlust an Wärme, den die Partikel aufgrund des bei der Beschleunigung des Gasstrahls erfolgenden Sinkens der Gastemperatur erfahren, zumindest zu einem Teil kompensiert. Bevorzugt wird der Wärmeverlust durch den Energieeintrag über die Mikrowellentechnik nicht nur aufgefangen, sondern die Partikel werden über die vor dem Düsenhals vorliegende Ausgangstemperatur hinaus erwärmt. Da die Wärme die plastische Verformbarkeit begünstigt, gilt: je stärker die Partikel erwärmt werden, desto leichter lassen sich die Partikel beim Aufprall verformen. Solange die Temperatur der erwärmten Partikel unter dem Schmelzpunkt der Partikel liegt, bildet sich eine Beschichtung oder ein Formteil aus, die in ihren Eigenschaften für das Kaltgasspritzen typisch ist. Werden bei der Erwärmung Temperaturen über dem Schmelzpunkt der Partikel erreicht, werden die Partikel an- oder aufgeschmolzen. Ein Schmelzen der Partikel ändert die Eigenschaften der Beschichtung, insbesondere in Bezug auf die Spannungsverhältnisse in der Beschichtung. Jedoch können in verschiedenen Fällen auch Beschichtungen, die aus an- oder durchgeschmolzenen Partikel gebildet werden, von Vorteil sein.

[0007] Mit besonderem Vorteil wird den Partikeln die Energie in der Düse zugeführt. Der Verlust an Wärme, welchen die Partikel in der Düse durch die Abkühlung des Gasstrahls erfahren, wird dort teilweise kompensiert, vollständig kompensiert oder überkompensiert, wo die Abkühlung der Partikel erfolgt, die auf die Beschleunigung des Gases in der Düse und der damit verbundenen Abkühlung zurückzuführen ist. Die Temperatur der Par-

tikel sinkt deshalb nur wenig ab und extreme Schwankungen werden vermieden.

[0008] Vorteilhafterweise wird den Partikeln die Energie zugeführt, nachdem sie die Düse verlassen haben. Hierzu gibt es zwei mögliche Ausgestaltungen: Bei der ersten wird den Partikeln Energie in der Düse und nach dem Verlassen der Düse zugeführt. In diesem Fall ist die Zeitspanne, die zur Erwärmung zur Verfügung steht besonders lang. Von Vorteil ist dies, wenn die Partikel sehr stark erwärmt werden sollen beziehungsweise sich sehr schlecht erwärmen lassen oder wenn die Mikrowellentechnik nur eine geringe Leistung liefert. Bei der zweiten Ausgestaltung wird den Partikeln nur nach dem Verlassen der Düse Energie zugeführt. Von Vorteil ist hierbei, dass der Mikrowellenhohlleiter nicht die Düse umgeben muss und auch nicht in seinen Eigenschaften von der Düse beeinflusst wird.

[0009] In vorteilhafter Ausgestaltung werden metallische Partikel oder nichtmetallische Partikel, die Mikrowellen absorbieren, verwendet. Absorbieren die Partikel die Mikrowellenstrahlung, werden die Partikel durch eine direkte Wechselwirkung mit den Mikrowellen erwärmt. Metallische Partikel absorbieren Mikrowellen und eignen sich als Beschichtungsmaterial. Von den nichtmetallischen, Mikrowellen absorbierenden Partikeln eignen sich insbesondere Siliziumkarbide und Zirkonoxide als Beschichtungsmaterial.

[0010] Vorteilhafterweise treffen die Partikel mit einer Temperatur von 10 bis 800 °C, vorzugsweise von 20 bis 500 °C, besonders bevorzugt von 100 bis 400 °C auf das Substrat. Liegt die Temperatur der Spritzpartikel zwischen in etwa Raumtemperatur und den angegebenen Werten im Bereich von einigen hundert Grad Celsius sind die Partikel gut erwärmt, so dass sie sich bei Aufprall leicht verformen, aber in der Regel noch nicht aufgeschmolzen, so dass für das Kaltgasspritzen typische Beschichtungen entstehen.

[0011] Mit besonderem Vorteil wird die Energie mit einer Frequenz von 915 MHz, 2,45 GHz oder/und 5,8 GHz zugeführt. Mikrowellenstrahlung dieser ISM-Frequenzen sind besonders gut handhabbar und eignen sich zur Erwärmung der Partikel.

[0012] Die Aufgabe wird für die Vorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Düse zumindest teilweise von einem Mikrowellenhohlleiter (6) umgeben ist oder/und ein/der Mikrowellenhohlleiter (6) zumindest teilweise den Spritzfreistrah zwischen Düsenaustritt (3) und Substrat umschließt. Erfindungsgemäß ist die Düse somit zumindest teilweise von einem Mikrowellenhohlleiter umgeben oder/und an den Düsenauslauf schließt sich entweder direkt oder mit Abstand ein/der Mikrowellenhohlleiter an. Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist somit die vorgenannten Vorteile aus.

[0013] In vorteilhafter Ausgestaltung ist zumindest ein Abschnitt des Düsenauslaufs aus einer Keramik, vorzugsweise aus Aluminiumoxid, gefertigt.

[0014] Weiterhin umgibt der Mikrowellenhohlleiter vorteilhafterweise zumindest den keramischen Abschnitt

des Düsenauslaufs. Die Mikrowellen durchdringen den keramischen Abschnitt besonders verlustarm und werden von den Partikeln im Düseninnem absorbiert, wobei sich die Partikeln erwärmen.

[0015] In vorteilhafter Ausgestaltung ist der Düsenauslauf divergierend oder zylindrisch oder konisch zulaufend gestaltet. Derartige Düsengeometrien eignen sich in besonderer Weise zum Kaltgasspritzen.

[0016] Im Folgenden wird die Erfindung in zwei beispielhaften Ausgestaltungen mit Hilfe von Figuren näher erläutert. Hierzu zeigt

Figur 1 eine beispielhafte Ausgestaltung, in welcher die Düse zu einem großen Teil von einem Mikrowellenhohlleiter umgeben ist, und

Figur 2 eine beispielhafte Ausgestaltung, in welcher ein Teil des Düsenauslaufs und der Weg der Partikel von der Düse bis in die Nähe des Substrats von einem Mikrowellenhohlleiter umgeben ist.

[0017] Figur 1 und 2 beinhalten eine Düse 1 mit einem konvergenten Düsenabschnitt 2 und einem Düsenauslauf 3 und einem keramischen Abschnitt 4 sowie ein Substrat 5 und einen Mikrowellenhohlleiter 6 mit einem Anschluss 7 an eine Mikrowellenquelle.

[0018] In der beispielhaften Ausgestaltung gemäß Figur 1 gliedert sich die Düse 1 in den konvergenten Düsenabschnitt 2, der am Düsenhals in den Düsenauslauf 3 übergeht. Die Düse ist in den Mikrowellenhohlleiter 6 eingeführt. Der Mikrowellenhohlleiter 6 ist über einen Anschluss 7 an die Mikrowellenquelle angeschlossen. Bei einem Teil der Düse, der hier den Großteil des Düsenauslaufs 3 umfasst und bis zum Düsenende reicht, ist der metallische Werkstoff, aus welchem Düsen normalerweise gefertigt werden, durch eine Keramik ersetzt. In diesen keramischen Abschnitt des Düsenauslaufs 4 dringen nun die Mikrowellen des Mikrowellenhohlleiters 6 in die Düse ein, während der metallische Werkstoff der Düse die Mikrowellen abschirmt. Im Inneren der Düse werden die Mikrowellen von den Partikeln absorbiert und die Partikel erwärmen sich. Die erwärmten Partikel treffen auf das Substrat 5 und bilden dort die Beschichtung aus.

[0019] In der beispielhaften Ausgestaltung gemäß Figur 2 ist der metallische Werkstoff nur in einem kleinen Bereich am Ende des Düsenauslaufs 3 durch eine Keramik ersetzt. Dieser keramische Abschnitt 4 in etwa und nahezu der gesamte Weg, den die Partikel zwischen Düsenaustritt und Substrat 5 als Spritzfreistrah zurücklegen, wird von dem Mikrowellenhohlleiter 6 umgeben. Die Partikel werden somit auf dem letzten Stück in der Düse und nach dem Düsenaustritt bis kurz vor das Substrat 5 erwärmt.

[0020] Bei diesen beispielhaften Ausgestaltungen wird mit Vorteil ein Mikrowellenhohlleiter verwendet, der als Rechteckmikrowellenhohlleiter ausgestaltet ist. Mikrowellenhohlleiter werden eingesetzt, um Mikrowellen über kurze Distanzen zu übertragen. Partikel, die sich im

Mikrowellenhohlleiter bewegen absorbieren die Mikrowellen und erwärmen sich dadurch. Im Rechteckmikrowellenhohlleiter bildet sich eine Stehwelle aus, welche sich besonders gut zur Energieübertragung eignet. Vorteilhafterweise wird dieser mit ISM-Frequenzen betrieben.

Bezugszeichenliste

[0021]

- 1 Düse
- 2 konvergenter Düsenabschnitt
- 3 Düsenauslauf
- 4 keramischer Abschnitt des Düsenauslaufs
- 5 Substrat
- 6 Mikrowellenhohlleiter
- 7 Anschluss des Mikrowellenhohlleiter an die Mikrowellenquelle

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kaltgasspritzen, wobei Partikel in einem Gasstrahl beschleunigt werden und die Partikel mit hoher Geschwindigkeit auf ein Substrat (5) auftreffen, und wobei der Gasstrahl durch Entspannung in einer Düse (1) beschleunigt wird und sich dabei abkühlt, **dadurch gekennzeichnet, dass** den Partikeln über Mikrowellentechnik (6, 7) Energie zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** den Partikeln die Energie in der Düse zugeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** den Partikeln die Energie zugeführt wird, nachdem sie die Düse verlassen haben.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** metallische Partikel oder nichtmetallische Partikel, die Mikrowellen absorbieren, verwendet werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Partikel mit einer Temperatur von 10 bis 800 °C, vorzugsweise von 20 bis 500 °C, besonders bevorzugt von 100 bis 400 °C auf das Substrat auftreffen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Energie mit einer Frequenz von 915 MHz, 2,45 GHz oder/und 5,8 GHz zugeführt wird.
7. Vorrichtung zum Kaltgasspritzen umfassend eine Düse (1), die sich in einen konvergent zulaufenden

Düsenabschnitt (2) und einen Düsenauslauf (3) gliedert, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Düse zumindest teilweise von einem Mikrowellenhohlleiter (6) umgeben ist oder/und ein/der Mikrowellenhohlleiter (6) zumindest teilweise den Spritzfreistrahл zwischen Düsenaustritt (3) und Substrat (5) umschließt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Abschnitt des Düsenauslaufs aus einer Keramik (4), vorzugsweise aus Aluminiumoxid, gefertigt ist
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mikrowellenhohlleiter (6) zumindest den keramischen Abschnitt (4) des Düsenauslaufs (3) umgibt.
10. Vorrichtung nach einem Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Düsenauslauf (3) divergierend oder zylindrisch oder konisch zulaufend gestaltet ist.

Claims

1. Method for cold gas spraying wherein particles are accelerated in a gas jet and the particles strike a substrate (5) with high speed, and wherein the gas jet is accelerated by expansion in a nozzle (1) and thereby cooled, **characterized in that** energy is supplied to the particles via microwave technology (6, 7).
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the energy is supplied to the particles in the nozzle.
3. Method according to Claim 1, **characterized in that** the energy is supplied to the particles after they have left the nozzle.
4. Method according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** metallic particles or non-metallic particles which absorb microwaves are used.
5. Method according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the particles strike the substrate at a temperature of from 10 to 800° C, preferably from 20 to 500° C, particularly preferably from 100 to 400° C.
6. Method according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the energy is supplied at a frequency of 915 MHz, 2.45 GHz or/and 5.8 GHz.
7. Device for cold gas spraying comprising a nozzle (1) which is divided into a convergently tapered nozzle section (2) and a nozzle outlet (3), **characterized in that** the nozzle is surrounded at least in part by a microwave waveguide (6) or/and a/the microwave

waveguide (6) encloses at least in part the spray free jet between nozzle outlet (3) and substrate (5).

8. Device according to Claim 7, **characterized in that** at least one section of the nozzle outlet is made of a ceramic (4), preferably of aluminium oxide.
9. Device according to Claim 7 or 8, **characterized in that** the microwave guide (6) surrounds at least the ceramic section (4) of the nozzle outlet (3).
10. Device according to one of Claims 7 to 9, **characterized in that** the nozzle outlet (3) is divergently or cylindrically or conically tapered.

(5).

8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'**au moins une section de la sortie de la buse est fabriquée dans une céramique (4), de préférence de l'oxyde d'aluminium.
9. Dispositif selon la revendication 7 ou 8, **caractérisé en ce que** le guide d'ondes à hyperfréquence (6) entoure au moins la section en céramique (4) de la sortie de la buse (3).
10. Dispositif selon l'une des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce que** la sortie de la buse (3) est de forme divergente ou cylindrique ou d'arrivée conique.

Revendications

1. Procédé de projection par gaz froid, des particules étant accélérées dans un jet de gaz et les particules venant heurter un substrat (5) à grande vitesse, et le jet de gaz étant accéléré par détente dans une buse (1) et se refroidissant ainsi, **caractérisé en ce que** de l'énergie est acheminée aux particules par une technique à hyperfréquence (6, 7).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'énergie est acheminée aux particules dans la buse.
3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'énergie est acheminée aux particules après qu'elles aient quitté la buse.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les particules employées sont des particules métalliques ou non métalliques qui absorbent les hyperfréquences.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les particules viennent heurter le substrat à une température de 10 à 800 °C, de préférence de 20 à 500 °C, encore plus préférentiellement de 100 à 400 °C.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'énergie est acheminée à une fréquence de 915 MHz, de 2,45 GHz et/ou de 5,8 GHz.
7. Dispositif de projection par gaz froid comprenant une buse (1) qui se divise en une section de buse d'arrivée convergente (2) et une sortie de buse (3), **caractérisé en ce que** la buse est entourée au moins partiellement par un guide d'ondes à hyperfréquence (6) et/ou un/des guides d'ondes à hyperfréquence (6) entourent au moins partiellement le jet libre de projection entre la sortie de la buse (3) et le substrat

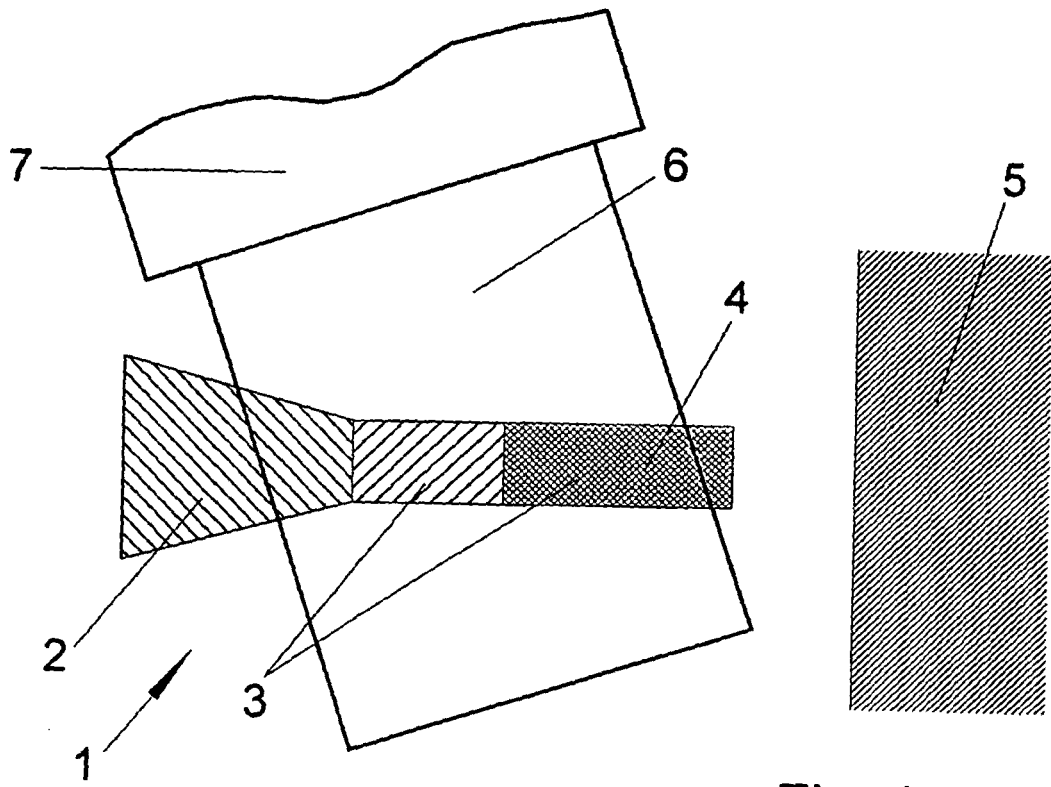


Fig. 1

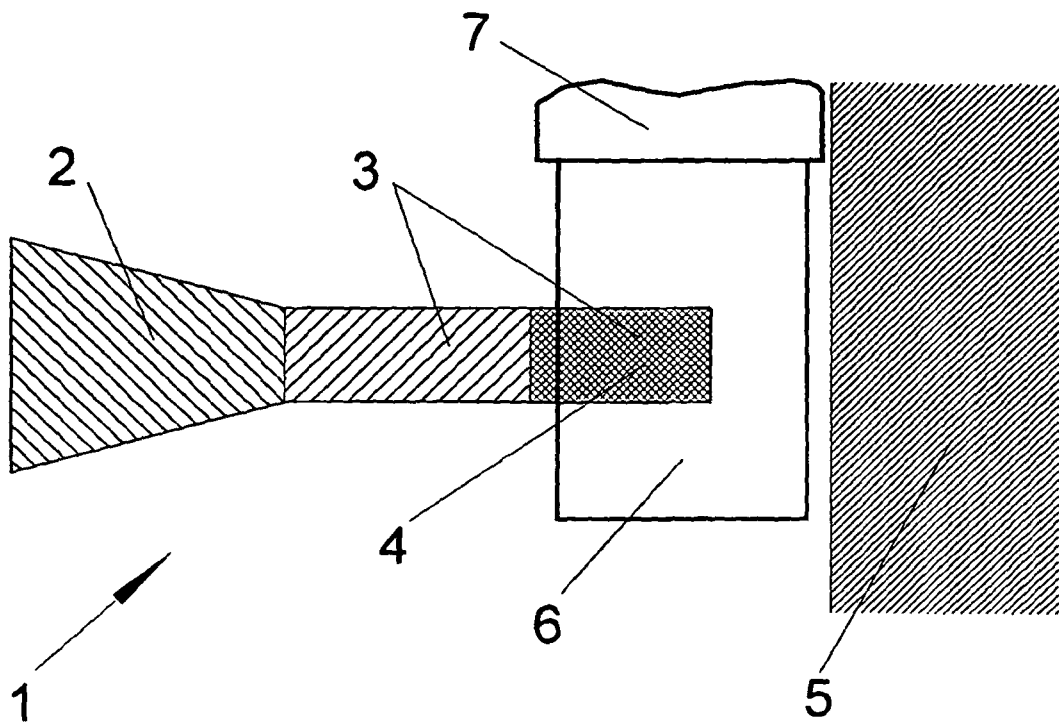


Fig. 2