

(19)



(11)

EP 2 209 354 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
09.04.2014 Patentblatt 2014/15

(51) Int Cl.:
H05H 1/34 (2006.01) **H05H 1/24 (2006.01)**
H05H 1/48 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10150084.1**

(22) Anmeldetag: **05.01.2010**

(54) **Strahlgenerator zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls**

Generator for generating a bundled plasma jet

Générateur destiné à produire un jet de plasma collimé

(84) Benannte Vertragsstaaten:
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 SE SI SK SM TR

• **Hartmann, Uwe**
32805, Horn-Bad Meinberg (DE)

(30) Priorität: **14.01.2009 DE 102009004968**
14.01.2009 DE 202009000537 U

(74) Vertreter: **Reichert, Werner Franz et al**
Reichert & Kollegen
Bismarckplatz 8
93047 Regensburg (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
21.07.2010 Patentblatt 2010/29

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2007/040583 **US-A- 2 951 143**
US-A- 3 007 072 **US-A- 3 740 522**
US-A- 5 837 958 **US-A1- 2008 050 291**
US-B1- 6 355 312

(73) Patentinhaber: **Reinhausen Plasma GmbH**
93057 Regensburg (DE)

(72) Erfinder:
 • **Bisges, Michael**
93161, Sinzing (DE)

EP 2 209 354 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 einen Strahlgenerator zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls durch Lichtbogenentladung unter Zufuhr eines Arbeitsgases umfassend eine Stiftelektrode, einen konzentrisch zu der Stiftelektrode angeordneten hohlzylindrischen, gegenüber der Stiftelektrode isolierten Mantel aus elektrisch leitendem Material, an dessen einer Stirnseite eine ringförmige Elektrode angeordnet ist, die eine Düsenöffnung begrenzt, deren Durchmesser kleiner als der Durchmesser des hohlzylindrischen Mantels ist, der an der gegenüberliegenden Stirnseite eine Zufuhr für das Arbeitsgas aufweist sowie eine Spannungsquelle zum Anlegen einer Spannung zwischen Stift- und Ringelektrode, wobei der Mantel und/oder die Ringelektrode geerdet sind.

[0002] Wenn Werkstückoberflächen beschichtet, lackiert oder geklebt werden sollen, ist häufig eine Vorbehandlung erforderlich, durch die Verunreinigungen von der Oberfläche entfernt werden und/oder durch die die Molekülstruktur so verändert wird, dass die Oberfläche mit Flüssigkeiten, wie Kleber, Lacken und dergleichen besser benetzt werden kann.

[0003] Zur Oberflächenbehandlung- und -reinigung kommen Strahlgeneratoren zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls zum Einsatz, bei denen unter Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung in einem Düsenrohr zwischen zwei Elektroden mittels einer nicht-thermischen Entladung aus einem Arbeitsgas ein Plasmastrahl erzeugt wird. Dabei steht das Arbeitsgas vorzugsweise unter atmosphärischem Druck. Man spricht auch von einem atmosphärischen Plasma. In bevorzugter Weise wird Luft als Arbeitsgas verwendet.

[0004] Die Vorbehandlung und Reinigung mittels Plasma hat zahlreiche Vorteile, von denen insbesondere der hohe Entfettungsgrad, die Umweltfreundlichkeit, die Eignung für nahezu sämtliche Materialien, die geringen Betriebskosten sowie die hervorragende Integration in die unterschiedlichen Fertigungsabläufe hervorzuheben sind.

[0005] Aus der EP 0 761 415 B9 sowie der DE 195 32 412 C2 ist ein gattungsgemäßer Strahlgenerator zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls bekannt, der ein topfförmiges Gehäuse aus Kunststoff mit einer seitlichen Zufuhr für das Arbeitsgas aufweist. In der Öffnung des topfförmigen Gehäuses ist coaxial ein Düsenrohr aus Keramik gehalten. Im Inneren des topfförmigen Gehäuses ist mittig eine Stiftelektrode aus Kupfer angeordnet, die in das Düsenrohr aus Keramik hineinragt. Der äußere Umfang des Düsenrohrs ist außerhalb des topfförmigen Gehäuses von einem Mantel aus elektrisch leitendem Material umgeben, der am freien Ende des Düsenrohres eine Ringelektrode ausbildet. Die Ringelektrode begrenzt zugleich eine Düsenöffnung, deren Durchmesser kleiner als der Innendurchmesser des Düsenrohres aus Keramik ist, so dass am Auslass des Düsenrohrs eine gewisse Einschnürung erreicht wird. Der Anschluss für das Arbeitsgas ist exzentrisch in Bezug auf das topfförmige Gehäuse des Strahlgenerators angeordnet, so dass das zugeführte Arbeitsgas drallförmig durch das keramische Düsenrohr strömt. Hierdurch bildet sich ein Gaswirbel, dessen Wirbelkern sich längs der Achse des Düsenrohrs erstreckt. Der elektrisch leitende Mantel erstreckt sich etwa bis in Höhe der Spitze der Stiftelektrode. Beim Hochregeln der Spannung kommt es an der Spitze der Stiftelektrode zunächst zu einer Coronaentladung. Die Entladungsbüschel erstrecken sich radial auf die Wand des Düsenrohrs und der Transport der Ladungsträger zum elektrisch leitenden Mantel erfolgt durch das Keramikmaterial des Düsenrohres hindurch. Um diese dielektrisch behinderte Barriereentladung zwischen der Stiftelektrode und dem elektrisch leitenden Mantel zu zünden, wird eine außerordentlich hohe Zündspannung in einer Größenordnung von 10 bis 30 kV benötigt. Diese Coronaentladung liefert die notwendigen Ionen, durch die bei steigender Spannung eine Bogenentladung von der Stiftelektrode zu der stirnseitigen Ringelektrode gezündet wird. Aufgrund der drallförmigen Strömung des Arbeitsgases wird der Lichtbogen zwischen der Stiftelektrode und dem Düsenrohr im Wirbelkern längs der Achse des Düsenrohrs kanalisiert, so dass er sich erst im Bereich der Düsenöffnung in mehrere Teiläste verzweigt. Das Arbeitsgas, das im Bereich des Wirbelkerns und damit in unmittelbarer Nähe des Lichtbogens mit hoher Strömungsgeschwindigkeit rotiert, kommt mit dem Lichtbogen in innige Berührung und wird dadurch zum Teil in den Plasmazustand überführt.

[0006] Ein Nachteil des bekannten Strahlgenerators besteht in der hohen thermischen Belastung der zu behandelnden Oberflächen. Die Spannungsquelle benötigt eine sehr hohe Zündspannung in einer Größenordnung von 10 bis 30 kV. Weitere Verluste treten durch den hohen Widerstand zwischen der Stiftelektrode und der ringförmigen Elektrode an der Düsenöffnung auf. Die außerordentlich starke Aufheizung der Stiftelektrode führt dazu, dass geschmolzene und von deren Oberfläche gelöste Partikel mit dem Plasmastrahl auf die Oberfläche geblasen werden. Um dieser Zerstörung der Stiftelektrode und Verunreinigung der Oberflächen mit abgelösten Partikeln entgegen zu wirken, muss zu Kühlzwecken eine große Menge an Arbeitsgas durch den Strahlgenerator geleitet werden. Gleichwohl kann eine starke Erwärmung der Stiftelektrode während des Betriebs des Strahlgenerators nicht vermieden und eine damit einhergehende Änderung der Leistungsabgabe des Strahlgenerators nicht verhindert werden.

[0007] Die deutsche Gebrauchsmusterschrift DE 20 2007 018 327 U1 beschreibt eine Vorrichtung, bei der durch eine Entladung aus einem Arbeitsgas ein Plasma erzeugt wird. Dabei wird dem Arbeitsgas eine Wirbelströmung aufgeprägt, in dem das Arbeitsgas in der Vorrichtung durch eine Zwischenwand in ein Düsenrohr geleitet wird, welche einen Kranz von schräg in Umfangsrichtung des Düsenrohrs angestellte Bohrungen aufweist.

[0008] Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung daher die Aufgabe zu Grunde, einen Strahlgenerator der eingangs erwähnten Art zu schaffen, der mit einer niedrigen Zünd- und Betriebsspannung arbeitet, der weniger Verlustwärme erzeugt und damit die behandelten Oberflächen weniger stark thermisch belastet und dessen

Leistungsabgabe während des Betriebs praktisch konstant ist. Schließlich soll die Handhabbarkeit des Strahlgenerators verbessert werden, um insbesondere auch komplizierte Oberflächenstrukturen besser bearbeiten zu können.

[0009] Die Lösung beruht unter anderem auf dem Gedanken, im Strahlgenerator ein asymmetrisches Wärmeprofil zu erzeugen, wonach der Großteil der Verlustwärme erst an der Düsenöffnung freigesetzt wird, während die Stiftelektrode thermisch lediglich außerordentlich gering belastet wird. Zugleich wird der Widerstand zwischen der Stift- und Ringelektrode reduziert.

[0010] Im Einzelnen wird die Aufgabe bei einem Strahlgenerator der eingangs erwähnten Art dadurch gelöst, dass der hohlzylindrische Mantel stirnseitig einen sich konisch in Richtung der ringförmigen Elektrode verjüngenden Abschnitt aufweist, die Stiftelektrode in den hohlzylindrischen Mantel hineinragt, jedoch insbesondere in geringem Abstand vor dem konischen Abschnitt endet, der hohlzylindrische Mantel die Stiftelektrode unmittelbar umgibt, die Zufuhr für das Arbeitsgas Mittel zur Erzeugung einer Wirbelströmung des Arbeitsgases aufweisen und die Spannungsquelle eine gepulste Gleichspannungsquelle ist.

[0011] Für eine homogene Strömung des Arbeitsgases sind die Strömungsverhältnisse im Bereich der Düsenöffnung von besonderer Bedeutung. Um die für eine Reduktion der Brenn- bzw. Betriebsspannung optimale Gasströmung zu gewährleisten, müssen im Bereich der vorzugsweise runden Düsenöffnung Abrisskanten bzw. Wirbelverschleppungen vermieden werden, da andernfalls unkontrollierte Entladungen im Bereich der Düsenöffnung den Energieeintrag in das Arbeitsgas verschlechtern. Der sich konisch in Richtung der ringförmigen Elektrode verjüngende Abschnitt trägt in Verbindung mit der vor diesem Abschnitt endenden Stiftelektrode maßgeblich dazu bei, dass unbeabsichtigte Entladungen vermieden und gleichzeitig die Strömungsverhältnisse im Bereich der Düsenöffnung verbessert werden. Im Übrigen sorgen die Mittel zur Erzeugung der Wirbelströmung für die Ausbildung einer kontrollierten Wirbelströmung, in deren Kern die Lichtbogenentladung optimal kanalisiert wird.

[0012] Die sich vorzugsweise weit, insbesondere über mindestens 75 % der Länge des hohlzylindrischen Mantels erstreckende Stiftelektrode bewirkt, dass sich im Betrieb eine niedrigere Brennspannung einstellt, die zwischen 500 Volt und maximal 7.000 Volt liegt. Die geringere Brenn- oder Betriebsspannung verursacht weniger Verlustwärme.

[0013] Indem der hohlzylindrische, im Innenquerschnitt vorzugsweise kreisförmige elektrisch leitende, Mantel die Stiftelektrode unmittelbar umgibt, d.h. ohne Zwischenschaltung eines Dielektrikums, und die Stiftelektrode in den hohlzylindrischen Mantel hineinragt, lässt sich die Höhe der Zündspannung reduzieren, die beim Stand der Technik zur Überwindung des aus Keramik bestehenden Dielektrikums erforderlich war.

[0014] Die gepulste Gleichspannungsquelle, deren Erdpotential mit dem Mantel und/oder der Ringelektrode des Strahlgenerators verbunden ist, belastet die Stiftelektrode thermisch nur etwa mit 10 % der anfallenden Verlustwärme, während beim Strahlgenerator nach dem Stand der Technik etwa die Hälfte der Verlustwärme an der Stiftelektrode anfällt. Durch diese Umverteilung der Wärmeverluste von der Stiftelektrode in Richtung Düsenöffnung wird ein Aufschmelzen der Stiftelektrode und damit eine Verunreinigung der bestrahlten Oberflächen mit abgelösten Partikeln wirksam vermieden. Außerdem verleiht die geringe thermische Belastung der Stiftelektrode die Leistungsabgabe des Strahlgenerators.

[0015] Vorzugsweise beträgt der sich konisch verjüngende Abschnitt, in dem sich die Wirbelströmung in Richtung der Düsenöffnung zusammenzieht, maximal 20 % der Länge des hohlzylindrischen Mantels. Hierdurch ergeben sich optimale Strömungsverhältnisse bei gleichzeitig reduziertem Widerstand zwischen den Elektroden.

[0016] Eine weitere Maßnahme zur Reduktion der Zündspannung besteht darin, dass der radiale Abstand zwischen der Stiftelektrode und dem hohlzylindrischen Mantel kleiner als das fünffache des Durchmessers der Stiftelektrode ist.

[0017] Ein Wandern des Lichtbogenansatzes und damit ein Verzundern der Stiftelektrode werden verhindert, wenn die endseitig kegelförmig zulaufende Stiftelektrode eine in Richtung der Düsenöffnung weisende abgerundete Spitze aufweist.

[0018] Die Reduktion der Brenn- bzw. Betriebsspannung hängt unter anderem von der optimierten Strömung des Arbeitsgases ab. Aus diesem Grund weist der erfindungsgemäße Strahlgenerator als Mittel zur Erzeugung einer Wirbelströmung des Arbeitsgases eine stirnseitig in den hohlzylindrischen Mantel eingesetzte, die Stiftelektrode umgebende Hülse aus elektrisch isolierendem Material auf, an deren Oberfläche mindestens ein als Wendel ausgestalteter Steg angeordnet ist, der zwischen der Innenwand des hohlzylindrischen Mantels und der Oberfläche der Hülse einen Kanal für das Arbeitsgas bildet. Durch die Steigung des wendelförmigen Stegs kann wirksam die Temperatur des Plasmastrahls beeinflusst werden. Eine größere Steigung kühlt den Plasmastrahl stärker ab, während eine geringere Steigung zu einem wärmeren Plasmastrahl führt. Bei einer größeren Steigung ist die Verweildauer des Arbeitsgases bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit aufgrund des kürzeren Strömungsweges durch den Strahlgenerator kürzer, wodurch die Kühlwirkung des Arbeitsgases verstärkt wird. Bei geringerer Steigung des als Wendel ausgestalteten Steges ist die Verweildauer des Arbeitsgases bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit aufgrund des längeren Strömungsweges durch den Strahlgenerator länger, wodurch die Kühlwirkung des Arbeitsgases reduziert wird.

[0019] Die den Kanal für das Arbeitsgas ausbildende Hülse fixiert zugleich die Stiftelektrode in dem elektrisch leitenden Mantel und gewährleistet die erforderliche elektrische Trennung zwischen Stiftelektrode und Mantel. Die Hülse ist nicht nur montagefreundlich, sondern führt darüber hinaus zu kompakten Abmessungen des stiftförmigen Strahlgenerators.

[0020] Die Abmessungen des Strahlgenerators in Umfangsrichtung können weiter dadurch reduziert werden, dass die Zufuhr für das Arbeitsgas eine in den hohlzylindrischen Mantel bündig einsetzbare Wand mit mindestens einem in Achsrichtung des Mantels verlaufenden Durchgang aufweist, der mit der Zufuhr für das Arbeitsgas kommuniziert. Die axiale Arbeitsgaszuführung erlaubt die Ausführung des Strahlgenerators als stiftähnliches Werkzeug, an dessen Düseneröffnung gegenüberliegenden Stirnseite das Arbeitsgas über einen mit dem elektrisch leitenden Mantel verbundenen Schlauch zugeführt wird. Die kompakte Bauform des erfindungsgemäßen Strahlgenerators resultiert insbesondere daraus, dass sämtliche Bauteile in dem hohlzylindrischen Mantel aus elektrisch leitendem Material angeordnet sind und die Anschlüsse für das Arbeitsgas sowie die Leitungen zu der entfernt angeordneten Spannungsquelle koaxial zu dem hohlzylindrischen Mantel zugeführt werden.

[0021] Eine einfache gepulste Gleichspannungsquelle erzeugt beispielsweise Rechtecksignale. Diese können zusätzlich von weiteren Pulsen überlagert werden.

[0022] In einer konstruktiv einfachen Ausführung der Erfindung kann die ringförmige Elektrode einstückig mit dem konischen Abschnitt des hohlzylindrischen Mantels ausgebildet sein. Die Elektrode und der Mantel bestehen vorzugsweise aus demselben elektrisch leitenden Material. Im einfachsten Fall wird die Ringelektrode von dem die Düseneröffnung umgebenden Bereich des Mantels aus elektrisch leitendem Material gebildet.

[0023] Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Schnittdarstellung durch einen erfindungsgemäßen Strahlgenerator zur Veranschaulichung der Wirbelströmung des Arbeitsgases ,

Figur 2 eine schematische Schnittdarstellung des Strahlgenerators nach Figur 1 zur Veranschaulichung des Lichtbogens,

Figur 3 eine schematische Schnittdarstellung des Strahlgenerators nach Figur 1 mit einem ersten Schlauch-Adapter zur Zufuhr des Arbeitsgases,

Figur 4 eine schematische Schnittdarstellung des Strahlgenerators nach Figur 1 mit einem zweiten Schlauch-Adapter zur Zufuhr des Arbeitsgases,

Figur 5 eine schematische Schnittdarstellung des Strahlgenerators nach Figur 1 mit einer elektrischen Kapazität zwischen den Elektroden,

Figur 6 ein Diagramm zur Veranschaulichung des Temperaturverlaufs über die Längserstreckung eines erfindungsgemäßen Strahlgenerators.

Figur 7 a) -d) Darstellungen unterschiedlicher Ausprägungen des endseitigen Abschnitts einer Stiftelektrode für einen erfindungsgemäßen Strahlgenerator.

[0024] Figur 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Strahlgenerator (1) zur Erzeugung eines gebündelten, bolzenförmigen Plasmastrahls (2), der durch Lichtbogenentladung (3) unter Zufuhr eines Arbeitsgases (4) ausgebildet wird. Der Strahlgenerator (1) besteht im Wesentlichen aus einer Stiftelektrode (5), die konzentrisch ein hohlzylindrischer, gegenüber der Stiftelektrode (5) isolierter, rohrförmiger Mantel (6) aus elektrisch leitfähigem Material umgibt. Als Materialien kommen Metalle, insbesondere Kupfer oder Edelstahl in Betracht.

[0025] Der hohlzylindrische Mantel (6) weist an einer Stirnseite einen sich zumindest im inneren des Mantels konisch in Richtung einer ringförmigen Elektrode verjüngenden Abschnitt (8) auf. An der Außenseite kann der Abschnitt des Mantels z.B. aus ergonomischen Gründen eine andere Form aufweisen. Für die Funktion entscheidend ist, dass der Abschnitt im inneren des Mantels konisch ist. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Abschnitt jedoch auch an der Außenseite konisch ausgebildet. Die ringförmige Elektrode (7) begrenzt eine Düseneröffnung (9) an der durch den konischen Abschnitt gebildeten Düsen Spitze. Der Durchmesser der Düseneröffnung (9) ist kleiner als der Innendurchmesser des hohlzylindrischen Mantels (6).

[0026] An der gegenüberliegenden Stirnseite weist der hohlzylindrische Mantel (6) eine Zufuhr für das Arbeitsgas auf, die einen mit einer nicht dargestellten Gasversorgung, insbesondere einer Druckluftversorgung verbundenen Schlauch (10), eine in den hohlzylindrischen Mantel (6) bündig einsetzbare Wand (11) mit zwei in Achsrichtung des Mantels (6) verlaufenden Durchgängen (12) für das Arbeitsgas sowie Mittel (13) zur Erzeugung einer Wirbelströmung des Arbeitsgases (4) umfasst. Bei den Mitteln (13) zur Erzeugung einer Wirbelströmung handelt es sich um eine stirnseitig in den Mantel (6) eingesetzte, zugleich die Stiftelektrode (5) umgebende und halternde Hülse (14) aus elektrisch isolierendem Material, an deren Oberfläche ein wendelförmig verlaufender Steg (15) angeordnet ist, der zwischen der Innenwand (16) des hohlzylindrischen Mantels (6) und der Oberfläche der Hülse (14) einen Kanal (18) für das Arbeitsgas (4) bildet.

Die Durchgänge (12) in der scheibenförmigen Wand (11) kommunizieren mit dem wendelförmig verlaufenden Kanal (18) für das Arbeitsgas.

[0027] Die Hülse (14) umgibt die Stiftelektrode (5), die über einen weiteren in der Achse des Mantels (6) verlaufenden Durchgang (19) in der Wand (11) mit der Zuleitung (20) zu einer in Figur 2 dargestellten gepulsten Gleichspannungsquelle (21) verbunden ist. Die in den sich zumindest im Inneren des Strahlgenerators (1) verjüngenden Abschnitt (8) eingepresste, ringförmige Elektrode (7), beispielsweise aus Kanthal oder Titan ist, wie aus Figur 2 erkennbar, über eine weitere Zuleitung (22) mit der gepulsten Gleichspannungsquelle (21) verbunden, wobei die ringförmige Elektrode (7) mit einer Erdung (23) verbunden ist.

[0028] In Figur 3 ist erkennbar, wie mittels eines Adapters (24) die zu einem Kabel (26) miteinander verbundenen Zuleitungen (20, 22) zu der Stiftelektrode (5) bzw. der ringförmigen Elektrode (7) über einen radialen Durchgang (25) aus dem Schlauch (10) für das Arbeitsgas ausgekoppelt werden. Der hülsenförmige Adapter (24) umgibt den Schlauch (10) im Bereich der Auskopplung des Kabels (26). Um einen unerwünschten Austritt des Arbeitsgases an dem radialen Durchgang (25) des hülsenförmigen Adapters (24) zu verhindern, wird das Kabel (26) durch eine Dichtung (27), beispielsweise in Form einer dauerelastischen Dichtmasse hindurchgeführt.

[0029] In Figur 4 ist der Adapter (24) unmittelbar an der der ringförmigen Elektrode (7) gegenüberliegenden Stirnseite des elektrisch leitenden Mantels (6) des Strahlgenerators (1) gekoppelt. An der freien Seite des Adapters (24) ist der Schlauch (10) für das Arbeitsgas (4) mit seinem stirnseitigen Rand in die im Durchmesser korrespondierende Durchgangsöffnung des Adapters (24) eingeklebt.

[0030] Figur 5 verdeutlicht die Verbindung des die Zuleitungen (20 /21) umfassenden Kabels (26) mit der Stiftelektrode (5) und der ringförmigen Elektrode (7). An der Verbindungsstelle des Kabels (26) zur Stiftelektrode (5) wird die Zuleitung (22) über das kurze Drahtstück (34) mit dem elektrisch leitenden Mantel (6) und damit der ringförmigen Elektrode (7) in Verbindung gebracht. Hierzu wird das kurze Drahtstück (34) z.B. zwischen der Wand (11) und der Innenwand (16) des elektrisch leitenden Mantels (6) eingeklemmt. Über den Mantel (6) aus elektrisch leitfähigem Material wird die Verbindung zu der ringförmigen Elektrode (7) hergestellt.

Der Strahlgenerator arbeitet wie folgt:

[0031] In Figur 1 wird der Durchfluss des Arbeitsgases (4) durch den erfindungsgemäßen Strahlgenerator (1) durch Pfeile dargestellt. Zunächst wird das Arbeitsgas (4) durch den Schlauch (10) von der nicht dargestellten Druckluftquelle zu den Durchgängen (12) in der stirnseitig den Strahlgenerator (1) begrenzenden Wand (11) geführt. Dort tritt das Arbeitsgas (4) durch die Durchgänge (12) in den wendelförmig verlaufenden Kanal (18) ein, der dem Gasstrom im dargestellten Ausführungsbeispiel einen Drall in Richtung des Uhrzeigersinns um die Längsachse des Strahlgenerators (1) herum verleiht. Das Arbeitsgas (4) verlässt die Hülse (14) als Wirbelströmung, deren Wirbelkern entlang der Längsachse des Mantels (6) des Strahlgenerators (1) verläuft. Im Bereich des sich konisch verjüngenden Abschnitts (8) des Strahlgenerators (1) ist eine Einschnürung (36) des Gasstroms erkennbar, bis dieser schließlich durch die Düsenöffnung (9) hindurch tritt. Figur 1 zeigt den Strahlgenerator nach dem Zünden mit bereits ausgebildeten, bolzenförmigen Plasmastrahl (2). Der Plasmastrahl (2) wird dadurch gebildet, dass das rotierende Arbeitsgas (4) im Bereich des Wirbelkerns und damit in unmittelbarer Nähe des Lichtbogens zwischen der Spitze der Stiftelektrode (5) und der ringförmigen Elektrode (7) in innige Berührung gelangt und dadurch teilweise in den Plasmazustand überführt wird. In Folge des zuvor beschriebenen asymmetrischen Wärmeprofiles des Strahlgenerators (1) wird das Gas entlang der Stiftelektrode kaum erwärmt, so dass ein kühles, atmosphärisches Plasma an der Düsenöffnung (9) des Strahlgenerators (1) austritt.

[0032] Figur 2 veranschaulicht die Bogenentladung zwischen der Spitze der Stiftelektrode (5) und der ringförmigen Elektrode (7) nach dem Zünden. Zunächst wird durch die angelegte, gepulste Gleichspannung eine radiale Bogenentladung zwischen der Spitze der Stiftelektrode (5) und der Innenwand des Mantels (6) erzeugt. Aufgrund der Wirbelströmung (35) des Arbeitsgases (4) wird dieser Lichtbogen (37) zunehmend im Wirbelkern auf der Achse des Mantels (6) kanalisiert und in Richtung der Düsenöffnung (9) ausgetrieben, bis der sich verzweigende Lichtbogen (38) von außen auf der ringförmigen Elektrode (7) aufsetzt. Bei Verwendung von Luft als Arbeitsgas entsteht im Betrieb ein weiß-blau leuchtender Lichtbogen (39), der sich von der Spitze der Stiftelektrode (5) nach dem Zünden in einem scharf begrenzten dünnen Kanal längs der Achse des Mantels (6) bis nah an die Düsenöffnung (9) erstreckt. Dort teilt sich der Lichtbogen (38) in mehrere Teiläste (40) auf, die von außen radial auf der ringförmigen Elektrode (7) aufsetzen.

[0033] Figur 6 veranschaulicht die asymmetrische Wärmeverteilung längs des erfindungsgemäßen Strahlgenerators (1) vom Eintritt des Arbeitsgases (4) bis zu der Düsenöffnung (9). Wie aus dem Diagramm ersichtlich, steigt die Temperatur in dem Strahlgenerator (1) erst im Bereich der Düsenöffnung (9) an, während sie längs der Stiftelektrode (5) und damit entlang der Wirbelströmung (35) nahezu konstant auf niedrigem Niveau verharrt. In Folge dessen bildet sich eine sehr homogene, nicht durch Temperaturveränderungen beeinflusste Wirbelströmung (35) aus, deren Wirbelkern den bolzenförmigen Plasmastrahl (2) optimal kanalisiert und in Achsrichtung des Mantels (6) austreibt.

[0034] Figuren 7 a) - d) zeigen schließlich unterschiedliche Ausprägungen des endseitigen Abschnitts einer Stiftelektrode (5) für einen erfindungsgemäßen Strahlgenerator (1). Vorteilhaft weist die in den Figuren 5 a) - c) dargestellte,

EP 2 209 354 B1

endseitig kegelförmig zulaufende Stiftelektrode (5) eine abgerundete Spitze (41) auf, wie dies in den Figuren 5 b) und c) dargestellt ist. Über die Wahl des Winkels zwischen der Achse (42) und der Mantellinie (43) des kegelförmigen Abschnitts (44) der Stiftelektrode (5) lässt sich die Temperatur des Plasmastrahls(2) beeinflussen. Ein spitzerer Winkel erzeugt ein heißeres Plasma, wogegen ein weniger spitzer Winkel ein kälteres Plasma erzeugt.

5 **[0035]** Außerdem kann es vorteilhaft sein, die Stiftelektrode (5) mit einer Hohlkehle (45) zu versehen, wodurch ein ansatzloser Lichtbogen entsteht, der zu einem wesentlich geringeren Verschleiß der Stiftelektrode (5) führt.

Bezugszeichenliste

Nr.	Bezeichnung	Nr.	Bezeichnung	
10	1.	Strahlgenerator	29.	--
	2.	Plasmastrahl	30.	--
	3.	Lichtbogenentladung	31.	--
15	4.	Arbeitsgas	32.	--
	5.	Stiftelektrode	33.	--
	6.	Mantel	34.	Drahtstück
20	7.	ringförmige Elektrode	35.	Wirbelströmung
	8.	Abschnitt	36.	Einschnürung
	9.	Düsenöffnung	37.	Lichtbogen beim Austreiben
25	10.	Schlauch	38.	Lichtbogen auf ringförmiger Elektrode
	11.	Wand	39.	Lichtbogen im Betrieb
	12.	Durchgänge	40.	Teiläste Lichtbogen
30	13.	Mittel zur Erzeugung einer Wirbelströmung einer Wirbelströmung	41.	Spitze
	14.	Hülse	42.	Achse
	15.	Steg	43.	Mantellinie
35	16.	Innenwand	44.	kegelförmiger Abschnitt
	17.	Oberfläche	45.	Hohlkehle
	18.	Kanal		
	19.	Durchgang		
40	20.	Zuleitung		
	21.	Gleichspannungsquelle		
	22.	Zuleitung		
45	23.	Erdung		
	24.	Adapter		
	25.	Durchgang		
	26.	Kabel		
50	27.	Dichtung		
	28.	--		

55 Patentansprüche

1. Strahlgenerator zur Erzeugung eines gebündelten Plasmastrahls durch Lichtbogenentladung unter Zufuhr eines Arbeitsgases umfassend

- eine Stiftelektrode,
- einen konzentrisch zu der Stiftelektrode angeordneten hohlzylindrischen, gegenüber der Stiftelektrode isolierten Mantel aus elektrisch leitendem Material,

5 - an dessen einer Stirnseite eine ringförmige Elektrode angeordnet ist, die eine Düsenöffnung begrenzt, deren Durchmesser kleiner als der Durchmesser des hohlzylindrischen Mantels ist,
 - der an der gegenüberliegenden Stirnseite eine Zufuhr für das Arbeitsgas aufweist,

10 - sowie eine Spannungsquelle zum Anlegen einer Spannung zwischen Stift- und Ringelektrode, wobei der Mantel und/oder die Ringelektrode geerdet sind, und wobei
 - der hohlzylindrische Mantel (6) stirnseitig einen sich konisch in Richtung der ringförmigen Elektrode (7) verjüngenden Abschnitt (8) aufweist,

 - die Stiftelektrode (5) in den hohlzylindrischen Mantel (6) hineinragt, jedoch vor dem konischen Abschnitt (8) endet,

15 - der hohlzylindrische Mantel (6) die Stiftelektrode (5) unmittelbar umgibt,

dadurch gekennzeichnet, dass

 - an der Stirnseite, an der sich die Zufuhr für das Arbeitsgas (4) befindet, eine die Stiftelektrode (5) umgebende Hülse (14) aus elektrisch isolierendem Material in den hohlzylindrischen Mantel (6) eingesetzt ist, an deren Oberfläche mindestens ein als Wendel ausgestalteter Steg (15) angeordnet ist, der zwischen der Innenwand (16) des hohlzylindrischen Mantels (6) und der Oberfläche (17) der Hülse (14) einen Kanal (18) für das Arbeitsgas (4) bildet, und

20 - die Spannungsquelle eine gepulste Gleichspannungsquelle (21) ist.

25 2. Strahlgenerator nach Anspruch 1, wobei die Stiftelektrode (5) sich über mindestens 75% der Länge des hohlzylindrischen Mantels (6) erstreckt.

30 3. Strahlgenerator nach Anspruch 1 oder 2, **wobei** der sich konisch verjüngende Abschnitt (8) maximal 20% der Länge des hohlzylindrischen Mantels (6) beträgt.

40 4. Strahlgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **wobei** der radiale Abstand zwischen der Stiftelektrode (5) und dem hohlzylindrischen Mantel (6) kleiner als das 5-fache des Durchmessers der Stiftelektrode (5) ist.

35 5. Strahlgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **wobei** die endseitig kegelförmig zulaufende Stiftelektrode (5) eine in Richtung der Düsenöffnung (9) weisende abgerundete Spitze (41) aufweist.

40 6. Strahlgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **wobei** die Zufuhr für das Arbeitsgas eine in den hohlzylindrischen Mantel (6) bündig einsetzbare Wand (11) mit mindestens einem in Achsrichtung des Mantels verlaufenden Durchgang (12) aufweist, der mit dem Kanal (18) für das Arbeitsgas (4) kommuniziert.

45 7. Strahlgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **wobei** die Gleichspannungsquelle (21) eine maximale Spannung zwischen 500-7000 Volt bereitstellt.

 8. Strahlgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **wobei** die ringförmige Elektrode (7) aus einem Material mit anhaftender Oxidschicht besteht.

50 9. Strahlgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **wobei** die ringförmige Elektrode (7) einstückig mit dem konischen Abschnitt (8) des hohlzylindrischen Mantels (6) ausgebildet ist.

Claims

55 1. Generator for generating a bundled plasma jet by means of arc discharge by supplying a working gas, comprising

- a pin electrode,
- a hollow cylindrical sheath made of electrically conducting material, which is insulated against the pin electrode and arranged concentrically with respect to the pin electrode,

EP 2 209 354 B1

- at whose one end face an annular electrode is arranged, which delimits a nozzle opening whose diameter is less than the diameter of the hollow cylindrical sheath,
- which exhibits an intake for the working gas on the opposite end face,

- 5 - as well as a voltage source for applying a voltage between pin and annular electrode, wherein the sheath and/or the annular electrode are grounded, and wherein
- the hollow cylindrical sheath (6) exhibits on its end face a section (8) tapering conically in the direction of the annular electrode (7),
 - the pin electrode (5) extends into the hollow cylindrical sheath (6), but ends before the conical section (8),
- 10 - the hollow cylindrical sheath (6) directly encloses the pin electrode (5),
- characterized in that**
- a sleeve (14) made of electrically insulating material that encloses the pin electrode (5), is inserted into the hollow cylindrical sheath (6) at the end face where the intake for the working gas (4) is located, on its surface is at least one as a spiral configured web (15) arranged, which forms a canal (18) for the working gas between the inner wall (16) of the hollow cylindrical sheath (6) and the surface (17) of the sleeve (14), and
 - the voltage source is a pulsed direct current voltage source (21).

2. Generator according to claim 1, **wherein** the pin electrode (5) extends over at least 75% of the length of the hollow cylindrical sheath (6).
- 20 3. Generator according to claim 1 or 2, **wherein** the section (8) tapering conically does not exceed 20% of the length of the hollow cylindrical sheath (6).
4. Generator according to one of the claims 1 to 3, **wherein** the radial distance between the pin electrode (5) and the hollow cylindrical sheath (6) is less than five times the diameter of the pin electrode (5).
- 25 5. Generator according to one of the claims 1 to 4, **wherein** the on its end conically tapered pin electrode (5) exhibits a rounded tip (41), pointing towards the nozzle opening (9).
- 30 6. Generator according to one of the claims 1 to 5, **wherein** the intake for the working gas exhibits a wall (11) with at least one passageway (12) in the axial direction of the sheath communicating with the canal (18) for the working gas (4) and which can be inserted flush into the hollow cylindrical sheath (6).
7. Generator according to one of the claims 1 to 6, **wherein** the direct current voltage source (21) supplies a maximum voltage between 500 - 7000 volt.
- 35 8. Generator according to one of the claims 1 to 7, **wherein** the annular electrode (7) consists of a material with an adherent oxide film.
- 40 9. Generator according to one of the claims 1 to 8, **wherein** the annular electrode (7) is formed integrally in one piece with the conical section (8) of the hollow cylindrical sheath (6).

Revendications

- 45 1. Générateur destiné à produit un jet de plasma collimé par la décharge d'arc électrique sous apport d'un gaz de travail comprenant
- une électrode à pointe,
 - un manteau cylindrique creux placé de manière concentrique par rapport à l'électrode à pointe et isolé par rapport à l'électrode à pointe dans un matériau conducteur d'électricité,
- sur lequel, sur une partie frontale, une électrode en forme de bague est située qui limite une ouverture de buse dont le diamètre est inférieur au diamètre du manteau cylindrique creux,
 - qui présente sur la partie frontale opposée une alimentation pour le gaz de travail
- 50
- également une source de tension pour exercer une tension entre l'électrode à pointe et l'électrode en forme de bague, le manteau et/ou l'électrode en forme de bague étant mis à la terre et
- 55

EP 2 209 354 B1

- le manteau cylindrique creux (6) présentant sur sa partie frontale une découpe (8) rétrécissant de manière conique en direction de l'électrode en forme de bague (7),
- l'électrode à pointe (5) s'enclenchant dans le manteau cylindrique creux (6), se terminant cependant avant la découpe conique (8),
- 5 - le manteau cylindrique creux (6) entourant directement l'électrode à pointe (5),
caractérisé par
 - sur la partie frontale, sur laquelle se trouve l'alimentation de gaz de travail (4), une cosse (14) entourant l'électrode à pointe (5) et dans un matériau à isolation électrique étant utilisée dans le manteau cylindrique creux (6), sur la surface de celle-ci se trouvant au moins une traverse (15) en forme d'hélice qui forme entre la
 - 10 paroi intérieure (16) du manteau cylindrique creux (6) et de la surface (17) de la cosse (14) un canal (18) pour le gaz de travail et
 - la source de tension étant une source de tension continue pulsée (21).
- 2. Générateur selon la revendication 1, l'électrode à pointe (5) s'étendant sur au moins 75 % de la longueur du manteau cylindrique creux (6).
- 15 3. Générateur selon la revendication 1 ou 2, la découpe (8) à rétrécissement conique correspondant au maximum à 20 % de la longueur du manteau cylindrique creux (6).
- 20 4. Générateur selon l'une des revendications 1 à 3, la distance radiale entre l'électrode à pointe (5) et le manteau cylindrique creux (6) étant inférieure au quintuple du diamètre de l'électrode à pointe (5).
- 5. Générateur selon l'une des revendications 1 à 4, l'électrode à pointe (5) qui se termine en forme de cône à son extrémité présentant une pointe (41) arrondie tournée en direction de l'ouverture de la buse (9).
- 25 6. Générateur selon l'une des revendications 1 à 5, l'alimentation pour le gaz de travail présentant une paroi (11) pouvant être installé de manière affleurante dans le manteau cylindrique creux (6) avec au moins un passage (12) passant dans le sens de l'axe du manteau qui communique avec le canal (18) pour le gaz de travail.
- 30 7. Générateur selon l'une des revendications 1 à 6, la source de tension continue (21) mettant à disposition une tension maximale située entre 500 et 7000 volt.
- 8. Générateur selon l'une des revendications 1 à 7, l'électrode en forme de bague (7) étant fabriquée dans un matériau avec une couche d'oxyde adhérente.
- 35 9. Générateur selon l'une des revendications 1 à 8, l'électrode en forme de bague (7) étant formée d'une seule pièce avec la découpe conique (8) du manteau cylindrique creux (6).

40

45

50

55

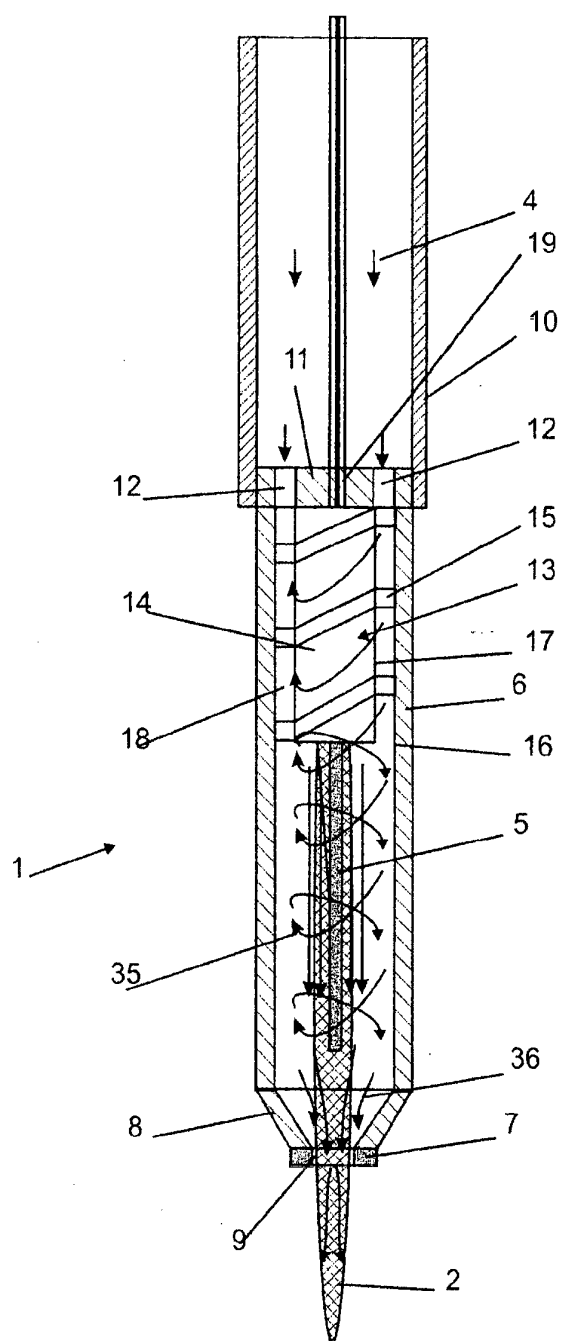


Fig. 1

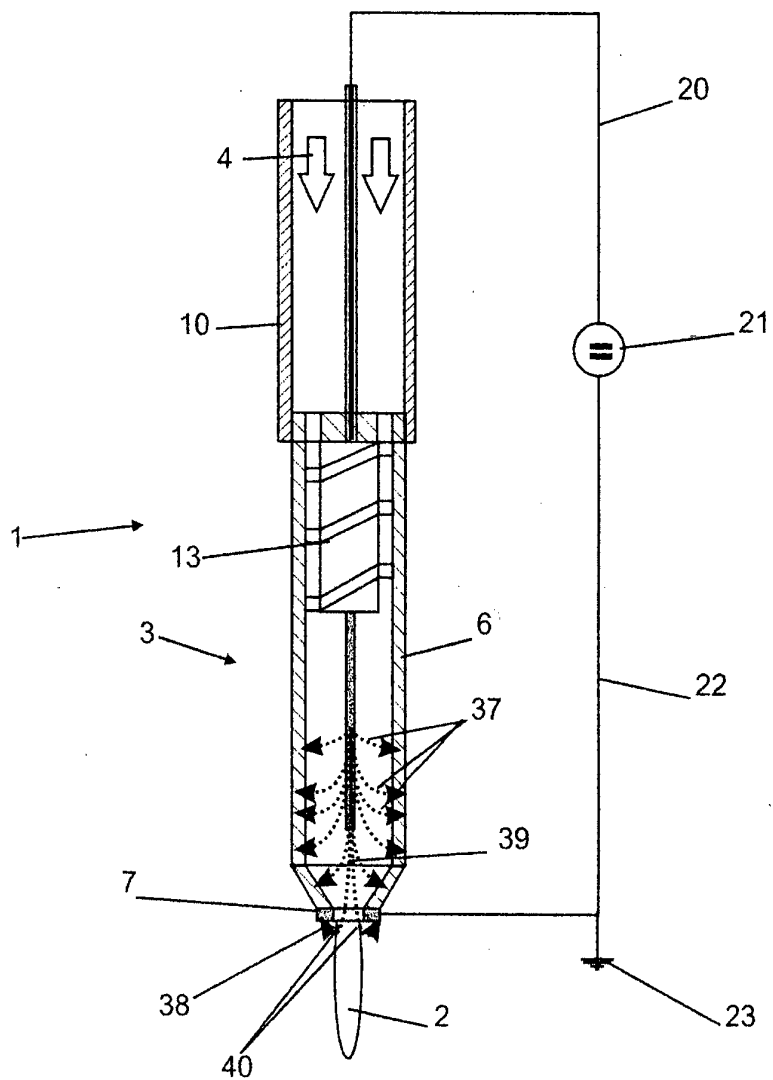


Fig. 2

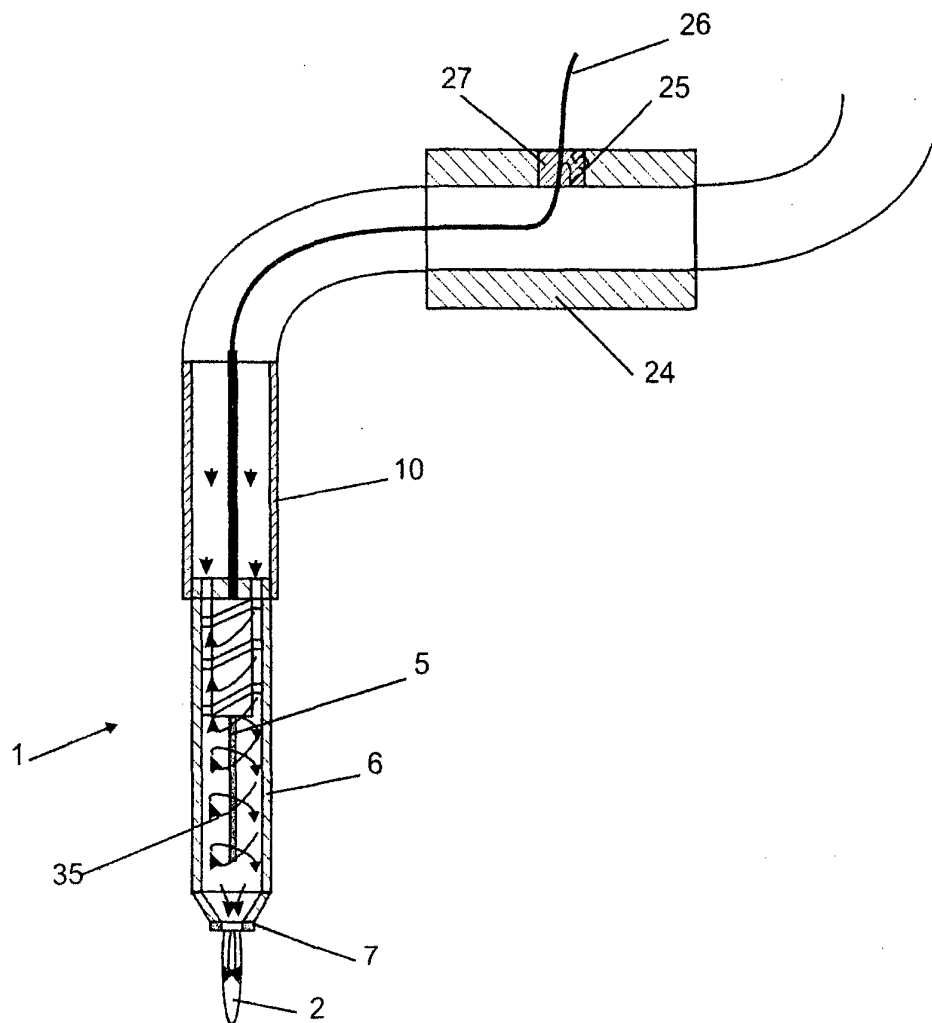


Fig. 3

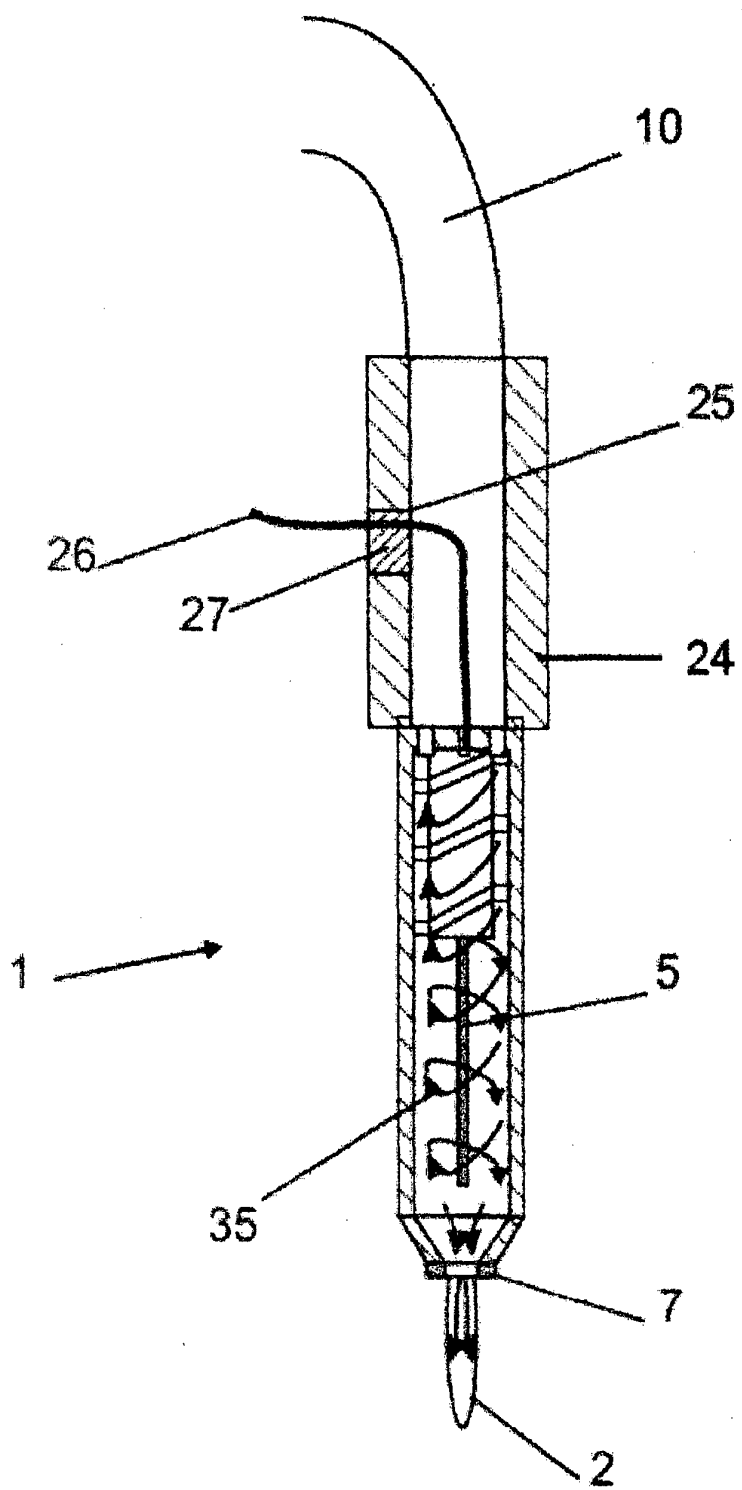


Fig. 4

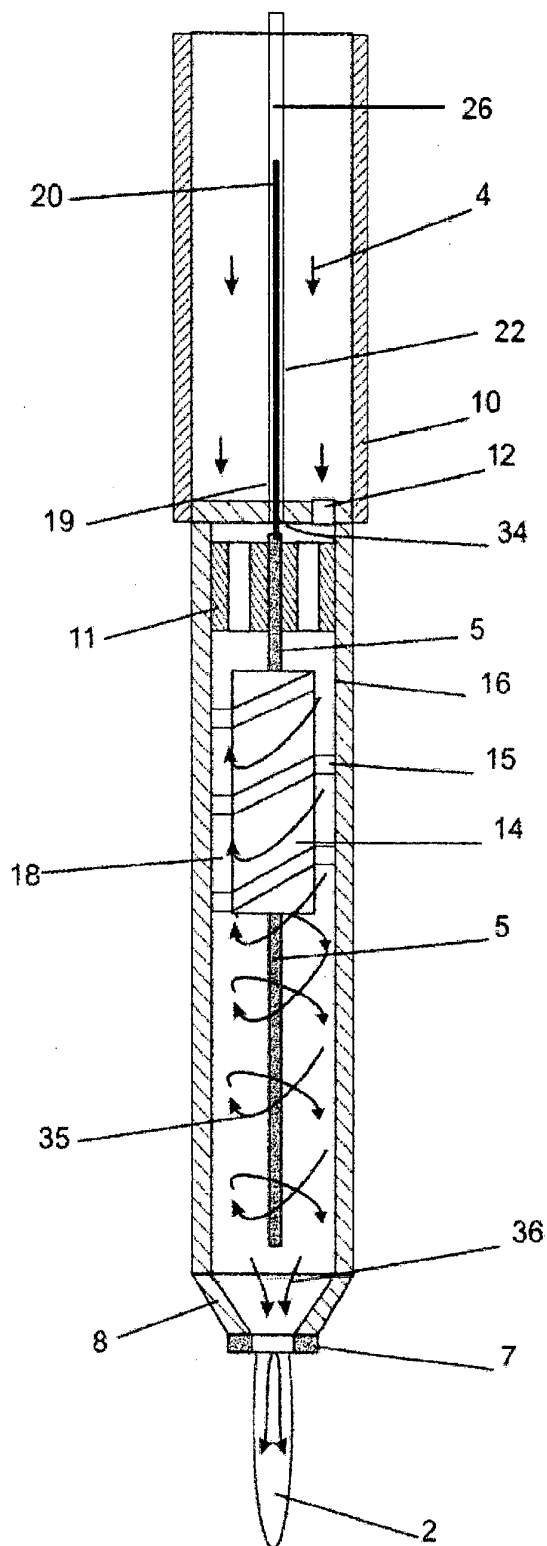


Fig. 5

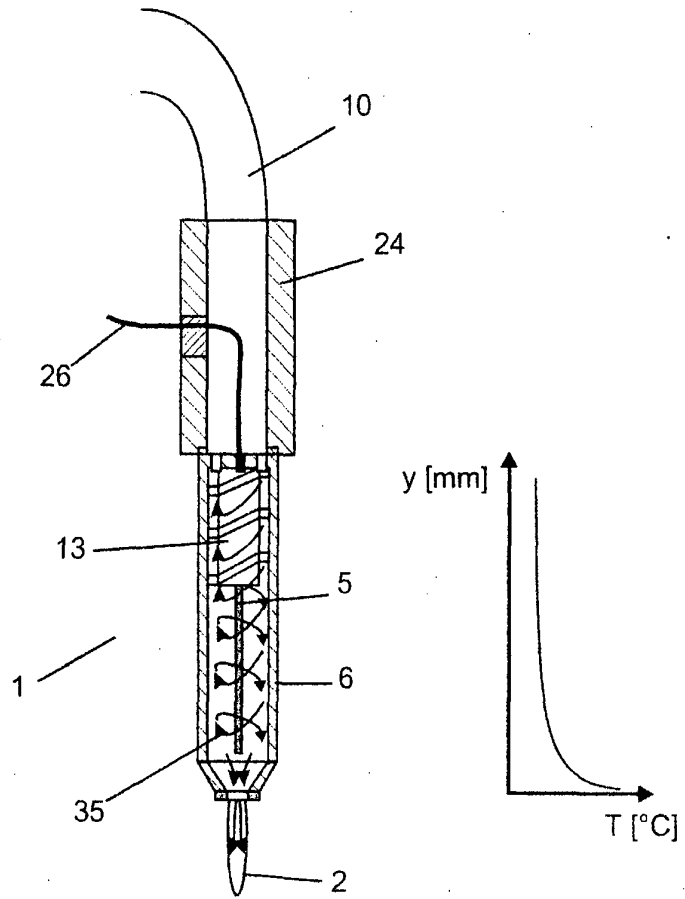


Fig. 6

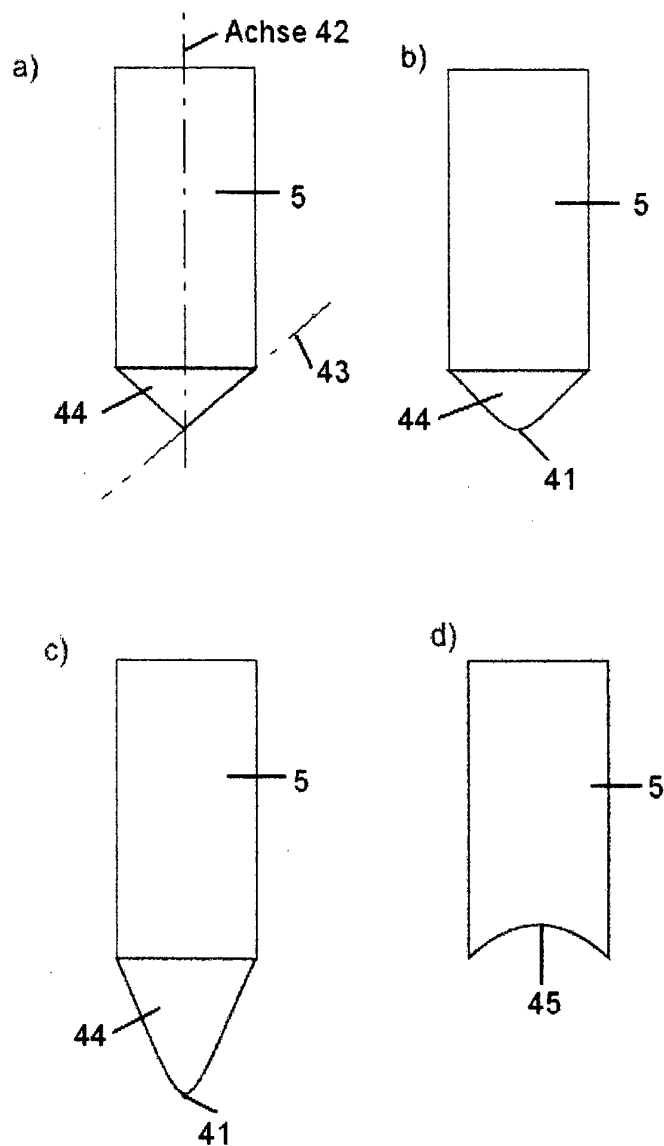


Fig. 7

EP 2 209 354 B1

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 0761415 B9 [0005]
- DE 19532412 C2 [0005]
- DE 202007018327 U1 [0007]