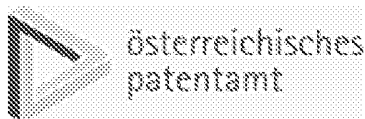


(19)



(10)

AT 514555 B1 2015-02-15

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50527/2013
(22) Anmeldetag: 27.08.2013
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2015

(51) Int. Cl.: **H05H 1/32** (2006.01)

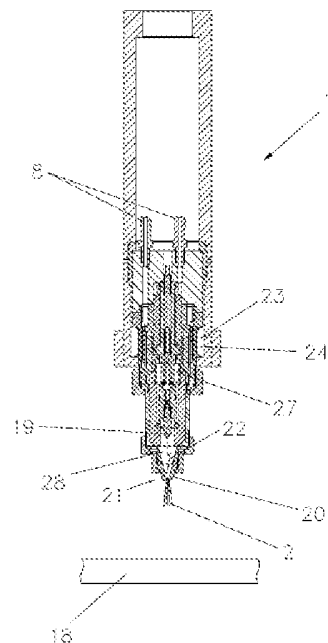
(56) Entgegenhaltungen:
AT 11556 U1
DE 102009015510 A1
US 20090200276 A1

(73) Patentinhaber:
FRONIUS INTERNATIONAL GMBH
4643 PETTENBACH (AT)

(74) Vertreter:
Sonn & Partner Patentanwälte
WIEN

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung (1) zur Erzeugung eines Plasmastrahls (2) unter Atmosphärendruck zur Oberflächenbehandlung von Werkstücken (18), mit einer Zuleitung (8) für das plasmafähige Medium (5), einer Einrichtung (3) zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums (5) mittels eines zwischen einer Kathode (19) und einer als Düse (21) ausgebildeten Anode (20) periodisch gezündeten Lichtbogens (22). Zur Erzielung eines hochwirksamen Plasmastrahls (2) auch bei relativ niedrigen Temperaturen des Plasmastrahls (2) ist vor der Einrichtung (3) zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums (5) eine Heizeinrichtung (23) zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums (5) angeordnet.



AT 514555 B1 2015-02-15

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls unter Atmosphärendruck zur Oberflächenbehandlung von Werkstücken, wobei der Plasmastrahl durch elektrische Anregung eines plasmafähigen Mediums mittels eines zwischen einer Kathode und einer als Düse ausgebildeten Anode periodisch gezündeten Lichtbogens erzeugt wird, und der Plasmastrahl durch die Düse in Richtung der zu behandelnden Oberfläche gerichtet wird.

[0002] Weiters betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls unter Atmosphärendruck zur Oberflächenbehandlung von Werkstücken, mit einer Zuleitung für das plasmafähige Medium, einer Einrichtung zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums mittels eines zwischen einer Kathode und einer als Düse ausgebildeten Anode periodisch gezündeten Lichtbogens.

[0003] Unter einem Plasma versteht man ein Gas, welches freie Ladungsträger enthält, weshalb auch von elektrisch leitenden Gasen gesprochen wird. Plasmen können je nach Druck und Temperatur verschiedenartig verwendet werden, beispielsweise bei Gasentladungslampen, bei der Materialabscheidung, zur Analyse, aber auch zur Bearbeitung von Werkstücken und zur Desinfektion von Gegenständen, Körperteilen oder Wunden. Hinsichtlich des Druckes des Plasmagases wird zwischen Niederdruckplasmen, Normaldruckplasmen bzw. Atmosphärendruckplasmen und Hochdruckplasmen unterschieden. Die gegenständliche Erfindung ist maßgeblich auf die Erzeugung von Plasmastrahlen unter Atmosphärendruck bei relativ niedriger Temperatur gerichtet und hauptsächlich für Anwendungen zur Behandlung von Oberflächen von Werkstücken oder dergleichen gedacht. Die Behandlung von Oberflächen von Werkstücken mit Plasmen in Niederdruckkammern ist ein bereits gut etabliertes und bekanntes Verfahren, welches schon seit vielen Jahren industriell eingesetzt wird. Niederdruckplasmen zeichnen sich durch eine gute Spaltgängigkeit und hohe Wirksamkeit aus. Sie eignen sich gut für die Behandlung von Kleinteilen und auch von Schüttgut. Nachteilig sind neben hohen Investitionskosten die erforderliche Prozesszeit zum Abpumpen der Plasmakammern und die fehlende Möglichkeit einer sogenannten Inline-Durchführung der Plasmabehandlung. Auch die Behandlung von größeren Bauteilen wird durch die dafür notwendigen großen Vakuumkammern bei Niederdruckplasmen rasch unwirtschaftlich.

[0004] Anwendungen von Atmosphärendruckplasmen beschränkten sich vorerst nur auf sogenannte thermische Plasmen, welche bei Plasmatemperaturen von einigen 1000 °C hauptsächlich für Schmelzprozesse (wie z.B. Schweißen, Löten, Schneiden, etc.) eingesetzt wurden. Neuere Entwicklungen ermöglichen nun auch die Realisierung von sogenannten nicht-thermischen Atmosphärendruckplasmen, welche auch Anwendungen bei niedrigen Plasmatemperaturen von einigen 10 °C bis zu einigen 100 °C ermöglichen. Somit erschließen sich neue interessante Anwendungsgebiete für die Oberflächenbehandlung mittels Atmosphärendruckplasmen, wie z.B. das Reinigen und Aktivieren von Materialien oder das Beschichten mittels Plasmapolimerisation bis hin zu medizinischen Anwendungen, wie das Desinfizieren offener Wunden.

[0005] Zur Erzeugung eines Atmosphärendruckplasmas wird üblicherweise ein spezielles Gas verwendet (z.B. aufbereitete Luft, N₂, Helium, Argon), welches in einem Plasmabrenner durch Zuführen elektrischer Energie in den Plasmazustand gebracht wird. Dieses Plasma wird über eine Düse auf die zu behandelnde Oberfläche geblasen, während der Plasmabrenner mit definiertem Abstand und Geschwindigkeit über das Werkstück bewegt wird. Dabei kommt es zu Wechselwirkungen des Plasmas mit der Umgebungsluft (Quenching, Einmischen der Luftmoleküle durch turbulente Strömungen) und zu Wechselwirkungen mit der zu behandelnden Oberfläche. Der wohl überzeugendste Vorteil dieses Konzepts ist die Inline-Fähigkeit und die daraus resultierende einfache Integrierbarkeit des Prozesses in bestehende Produktionsketten. Einschränkungen ergeben sich bei der Behandlung von Schüttgut und Kleinteilen, sofern sich diese nicht in ausreichendem Maße vor dem Plasmabrenner platzieren lassen. Auch ist die oxidierende Wirkung dieser Plasmen bei manchen Anwendungen unerwünscht.

[0006] Durch die Wechselwirkung des Plasmastrahls mit der Oberfläche des Werkstücks wird

diese aktiviert und/oder gereinigt. Die Reinigungswirkung beruht unter anderem auf mechanischen Prozessen aufgrund des Beschusses der Oberfläche mit angeregten Molekülen, Atomen und Ionen und auch auf chemischen Prozessen. Dabei reagieren die Verunreinigungen auf der Oberfläche mit den angeregten Teilchen im Plasma zu gasförmigen Reaktionsprodukten, welche schließlich durch den Gasstrom entfernt werden. Anwendungen dieses Prozesses finden sich in der mikrofeinen Reinigung und dem Entfernen von Ölen, Fetten, Silikonen, Oxiden, Fasern oder dünnen Beschichtungen. Auch eine gezielte Veränderung der Oberflächenstruktur (z.B. Mikrostrukturierung) ist möglich.

[0007] Die aktivierende Wirkung des Plasmas wird durch chemische Oberflächenreaktionen erreicht. Abhängig vom Grundmaterial und der Zusammensetzung des Plasmas werden auf der Oberfläche Radikalstellen oder chemisch aktive Gruppen (z.B. Hydroxyl- oder Carboxyl-Gruppen) erzeugt. Diese bewirken eine Veränderung der Oberflächenenergie und in weiterer Folge eine Veränderung der Oberflächeneigenschaften der behandelten Werkstücke. Somit lässt sich z.B. das Benetzungsverhalten von Materialien gezielt beeinflussen. Eine ursprünglich hydrophobe Oberfläche (wie z.B. Polypropylen) kann durch die Plasmaaktivierung in einen hydrophilen Zustand gebracht werden. Beide Effekte, die Bildung von chemisch aktiven Gruppen und die Veränderung der Oberflächenenergie, können das Benetzungsverhalten, die Schichtbildung und die Haftfestigkeit von Beschichtungen drastisch verbessern.

[0008] Viele Anwendungen der soeben beschriebenen Prozesse finden sich in der Vorbehandlung von Materialien vor dem Bonden, Löten, Schweißen, Kleben, Lackieren, Bedrucken und Beschichten. Die Reinigung und Aktivierung von Materialien mittels Atmosphärendruckplasmas kann chemische Reinigungsprozesse und die Verwendung von Primern ersetzen. Der damit verbundene Entfall von Lösungsmitteln oder anderen Chemikalien macht die Plasmatechnologie sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch interessant.

[0009] Die EP 0 761 415 B9 betrifft beispielsweise ein Verfahren zur Erhöhung der Benetzbarkeit der Oberfläche von Werkstücken unter Verwendung von Atmosphärendruckplasma, wobei das Plasma über einen hochfrequent angeregten Lichtbogen erzeugt wird, der nicht aus der Düse des Plasmabrenners austritt.

[0010] Aus der EP 1 922 908 B1 ist ein Verfahren zum Betreiben eines Wasserdampf-Plasmabrenners und ein Wasserdampf-Schneidgerät bekannt geworden, aus dem eine optimierte Umschaltung von einem übertragenen Modus in den nicht übertragenen Modus für ein optimales Bearbeitungsergebnis hervorgeht.

[0011] Die AT 510 012 B1 beschreibt einen Wasserdampf-Plasmabrenner mit einer Induktionsheizung zum Verdampfen von Wasser oder anderer Flüssigkeiten als plasmafähiges Medium. Der darin beschriebene Wasserdampf-Plasmabrenner kann beispielsweise zum Schneiden von Werkstücken eingesetzt werden.

[0012] Nachteilig bei bisherigen Verfahren und Vorrichtungen zur Erzeugung von Plasmastrahlen ist, dass bei hoher Aktivierung des Plasmas auch eine Erhöhung der Plasmatemperatur die Folge ist, weshalb sich speziell aktivierte Plasmen aufgrund ihrer Temperatur nicht für alle Anwendungen, beispielsweise Oberflächenvorbehandlung von empfindlichen Werkstücken, eignen.

[0013] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls unter Atmosphärendruck zur Oberflächenbehandlung von Werkstücken oder dergleichen zu schaffen, durch welche ein hoher Aktivierungsgrad des Plasmas auch bei relativ niedrigen Temperaturen des Plasmas ermöglicht wird, um auch Anwendungen bei empfindlichen Werkstücken oder sogar Teilen des menschlichen oder tierischen Körpers zu ermöglichen. Nachteile bekannter Verfahren und Vorrichtungen sollen vermieden oder zumindest reduziert werden.

[0014] Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe in verfahrensmäßiger Hinsicht dadurch, dass das plasmafähige Medium vor der elektrischen Anregung mittels des Lichtbogens in einer Heizeinrichtung vorgewärmt wird. Durch die Trennung der thermischen Anregung des plasma-

fähigen Mediums von der üblichen elektrischen Anregung mittels des Lichtbogens kann eine unabhängige Einstellung der Plasmaleistung und der Plasmatemperatur erzielt werden. Durch die zusätzliche Vorwärmung des plasmafähigen Mediums vor der elektrischen Anregung mittels des Lichtbogens kann auch bei niedrigen Plasmatemperaturen (sogenannten kalten Plasmen) eine hohe Plasmaleistung bzw. Plasmaaktivierung erzielt werden. Kern der vorliegenden Erfindung ist die Vorwärmung des plasmafähigen Mediums, was sowohl Einflüsse auf den Prozess der Plasmaerzeugung als auch auf den Prozess der Oberflächenbehandlung der Werkstücke oder dergleichen hat. Ziel bei der Erzeugung eines Plasmas zur Oberflächenbehandlung von Werkstücken oder dergleichen ist die Generation möglichst vieler chemisch aktiver Spezies. Für die Erzeugung chemisch aktiver Spezies (z.B. Radikale oder Ionen) muss eine gewisse Menge an Energie aufgebracht werden. Durch Erhitzen der plasmafähigen Medien wird ein Teil dieser Energie bereits auf thermischem Wege zur Verfügung gestellt. Die für die Erzeugung des Plasmas notwendige elektrische Energie reduziert sich dadurch. Dies hat positive Einflüsse auf das Zündverhalten des Plasmas zur Folge und gibt somit auch mehr Spielraum für die Geometrie des Plasmabrenners. Auch kann etwaige überschüssige elektrische Energie für die Erzeugung zusätzlicher chemisch aktiver Spezies verwendet werden. Die Vorbehandlung von Werkstücken mit Atmosphärendruckplasmen beruht zu einem großen Teil auf chemischen Oberflächenreaktionen. Die dabei interessanten Absorptions- und Desorptionsvorgänge sind mitunter stark von der Temperatur abhängig. Für jede Anwendung gibt es einen idealen Temperaturbereich um die Wirkung der Plasmavorbehandlung zu erhöhen. Gleichzeitig sollte die Plasmatemperatur nicht zu hoch werden, um auch thermisch sensible Oberflächen bearbeiten zu können. Die vorliegende Erfindung dient dazu, die Plasmatemperatur gezielt und getrennt von der Aktivierung des Plasmas optimal einstellen zu können. Durch das Vorwärmen des plasmafähigen Mediums kann man die Prozesstemperaturen also unabhängig von den Parametern zur Plasmaerzeugung optimieren und dadurch die Wirkung der Oberflächenvorbehandlung des Atmosphärendruckplasmas erhöhen. Dazu zählen beispielsweise höhere Aktivierungs- und Reinigungseffekte, höhere Prozessgeschwindigkeiten, geringere Sensibilität hinsichtlich des Probenabstands und Ähnliches. Zusätzlich kann durch die Möglichkeit des Verdampfens von flüssigen plasmafähigen Medien eine neue Plasmachemie zur Verfügung gestellt werden.

[0015] Vorteilhafter Weise wird das plasmafähige Medium auf eine Temperatur von 5 °C bis 300 °C vorgewärmt und entsprechend der jeweiligen Anwendung auf diese Temperatur geregelt. Dieser Temperaturbereich des Plasmastrahls lässt eine Anwendung bei vielen Materialien bis hin zu Teilen des menschlichen oder tierischen Körpers zu.

[0016] Das plasmafähige Medium kann induktiv oder mittels Widerstandsheizelementen oder Strahlungsheizelementen vorgewärmt werden.

[0017] Bei einer induktiven Heizung kann der Wärmeübergangswiderstand begrenzt bzw. verringert werden.

[0018] Wenn der Lichtbogen zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums periodisch mit einer Pulsdauer kleiner 20 µs gezündet wird, kann eine optimale elektrische Anregung erzielt werden. Durch die relativ kleine Pulsdauer kann die resultierende Temperatur des Plasmas gering gehalten werden. Je nach Anforderung kann die Anregungsfrequenz beispielsweise im Bereich zwischen 10 kHz und 100 kHz liegen.

[0019] Die Temperatur des aus der Düse in Richtung der zu behandelnden Oberfläche gerichteten Plasmastrahls wird vorzugsweise zwischen 10 °C bis 500 °C geregelt. Durch die Temperaturregelung kann sichergestellt werden, dass die zu behandelnden Oberflächen nicht überhitzt und das Werkstück oder dergleichen nicht zerstört wird.

[0020] Als plasmafähiges Medium kann ein Gas, eine Mischung verschiedener Gase, eine Flüssigkeit, eine Mischung verschiedener Flüssigkeiten oder auch eine Mischung eines oder mehrerer Gase(s) mit einer oder mehreren Flüssigkeit(en) verwendet werden. Die verwendeten Gase und/oder Flüssigkeiten können gezielt auf die jeweilige Anwendung abgestellt werden und optimal auf das Material des zu behandelnden Werkstücks abgestimmt werden.

[0021] Bei Verwendung einer oder mehrerer Flüssigkeiten als plasmafähiges Medium wird diese Flüssigkeit vorzugsweise vor der elektrischen Anregung mittels des Lichtbogens verdampft. Die Heizeinrichtung zum Verdampfen des flüssigen plasmafähigen Mediums kann beispielsweise durch eine Induktionsheizung gebildet werden, wie sie in der AT 510 012 B1 beschrieben wird.

[0022] Die als plasmafähiges Medium verwendete Flüssigkeit kann nach dem Verdampfen mit einem Gas gemischt werden. Somit kann eine oder können mehrere Flüssigkeiten nach dem Verdampfen mit einem oder verschiedenen Gasen gemischt werden, um bestimmte Eigenschaften des Plasmas für bestimmte Anwendungen erzielen zu können.

[0023] Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe auch durch eine oben genannte Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls, wobei vor der Einrichtung zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums eine Heizeinrichtung zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums angeordnet ist. Zu den dadurch erzielbaren Vorteilen wird auf die obige Beschreibung des Verfahrens zur Erzeugung eines Plasmastrahls verwiesen.

[0024] Die Heizeinrichtung ist vorzugsweise zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums auf 5 °C bis 300 °C und zur Regelung auf die jeweilige Temperatur entsprechend der jeweiligen Anwendung ausgebildet.

[0025] Die Heizeinrichtung zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums kann durch eine Induktionsheizeinrichtung, ein Widerstandsheizelement oder ein Strahlungsheizelement gebildet sein.

[0026] Die Einrichtung zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums kann durch einen Generator zur Erzeugung hochfrequenter Strompulse mit einer Dauer kleiner 20 µs ausgebildet sein.

[0027] Wenn eine Regelungseinrichtung zur Regelung der Temperatur des aus der Düse zur zu behandelnden Oberfläche gerichteten Plasmastrahls zwischen 10 °C und 500 °C vorgesehen ist, kann die jeweils gewünschte Temperatur des Plasmastrahls sicher in dem jeweiligen Zielbereich gehalten werden.

[0028] Die Zuleitung für das plasmafähige Medium kann durch zumindest eine Gasleitung und/oder zumindest eine Flüssigkeitsleitung gebildet sein.

[0029] Zwischen der Heizeinrichtung zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums und der Einrichtung zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums kann eine Kammer zur Mischung des vorgewärmten plasmafähigen Mediums mit einem weiteren plasmafähigen Medium angeordnet sein.

[0030] Die vorliegende Erfindung wird anhand der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigen:

[0031] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls;

[0032] Fig. 2 den Aufbau einer Ausführungsform eines Plasmabrenners in geschnittener Darstellung; und

[0033] Fig. 3 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls.

[0034] In Fig. 1 ist eine Vorrichtung 1 zur Erzeugung eines Plasmastrahls 2 gezeigt. Die Vorrichtung 1 umfasst eine Einrichtung 3 zur elektrischen Anregung eines in einem Behälter 4 vorgesehenen plasmafähigen Mediums 5. Die Einrichtung 3 zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums 5 ist mit einer Steuervorrichtung 6 verbunden. Der Plasmabrenner 7 wird über eine Zuleitung 8 mit der Steuervorrichtung 6 verbunden, so dass der Plasmabrenner 7 mit dem im Behälter 4 angeordneten plasmafähigen Medium 5 versorgt werden kann. Die Versorgung des Plasmabrenners 6 mit elektrischer Energie von der Einrichtung 3 erfolgt über die Leitungen 9 und 10.

[0035] Zum Kühlen des Plasmabrenners 7 kann dieser über einen Kühlkreislauf 11 allenfalls unter Zwischenschaltung eines Strömungswächters 12 mit einem eigenen Flüssigkeitsbehälter 13 oder dem Behälter 4 verbunden sein. Bei Inbetriebnahme des Plasmabrenners 7 kann der Kühlkreislauf 11 von der Steuervorrichtung 6 gestartet und somit eine Kühlung des Plasmabrenners 7 über den Kühlkreislauf 11 erreicht werden. Zur Bildung des Kühlkreislaufs 11 wird der Plasmabrenner 7 über Kühlleitungen 14, 15 mit dem Flüssigkeitsbehälter 13 oder dem Behälter 4 verbunden. Der Kühlkreislauf 11 kann auch direkt über die Flüssigkeitsversorgung des Plasmabrenners 7 vom Behälter 4 über die Versorgungsleitung 7 gebildet werden, wodurch nur eine einzige Flüssigkeitsversorgung zum Plasmabrenner 7 benötigt wird.

[0036] Weiters kann eine Eingabe- und/oder Anzeigevorrichtung 16 vorgesehen sein, über welche die unterschiedlichsten Parameter bzw. Betriebsarten der Vorrichtung 1 eingestellt und angezeigt werden können. Die über die Eingabe- und/oder Anzeigevorrichtung 16 eingestellten Parameter werden an die Steuervorrichtung 6 weitergeleitet, welche die einzelnen Komponenten der Vorrichtung 1 entsprechend ansteuert.

[0037] Der Plasmabrenner 7 kann zumindest ein Bedienelement 17 aufweisen, über welches der Benutzer der Steuervorrichtung 6 vom Plasmabrenner 7 aus mitteilen kann, dass eine Bearbeitung durchgeführt werden soll. Des Weiteren können an der Eingabe- und/oder Ausgabevorrichtung 16 beispielsweise Voreinstellungen getroffen werden. Selbstverständlich können weitere Bedienelemente am Plasmabrenner 7 angeordnet sein, über die ein oder mehrere Betriebsparameter der Vorrichtung 1 vom Plasmabrenner 7 aus eingestellt werden können. Hierzu können diese Bedienelemente 17 direkt über Leitungen oder über ein Bussystem mit der Steuervorrichtung 6 verbunden sein. Das Bedienelement 17 kann auch eine Anzeigevorrichtung, beispielsweise eine LCD-Anzeige, beinhalten, so dass dem Benutzer am Plasmabrenner 7 entsprechende Einstellungen, Parameter oder Informationen angezeigt werden können.

[0038] Die Steuervorrichtung 6 aktiviert nach dem Betätigen des Bedienelements 17 die einzelnen für das Plasmabearbeitungsverfahren benötigten Komponenten. Beispielsweise werden zuerst eine Pumpe (nicht dargestellt) sowie die Einrichtung 3 angesteuert, wodurch eine Versorgung des Plasmabrenners 7 mit dem plasmafähigen Medium 5 sowie elektrischer Energie eingeleitet wird. Anschließend aktiviert die Steuervorrichtung 6 den Kühlkreislauf 11, so dass eine Kühlung des Plasmabrenners 7 ermöglicht wird. Durch die Versorgung des Plasmabrenners 7 mit dem plasmafähigen Medium 5 und elektrischer Energie wird im Plasmabrenner 7 das plasmafähige Medium 5 in den Plasmastrahl 2 umgewandelt, welcher zur Behandlung der Oberfläche eines Werkstücks 18 oder dergleichen verwendet werden kann.

[0039] Fig. 2 zeigt den Aufbau einer Ausführungsform eines Plasmabrenners 7 in geschnittener Darstellung. Demgemäß umfasst der Plasmabrenner 7 zumindest eine Zuleitung 8 für das plasmafähige Medium 5 (nicht dargestellt), eine Kathode 19 und eine als Düse 21 ausgebildete Anode 20. Selbstverständlich können Kathode 19 und Anode 20 auch umgekehrt eingesetzt werden. Zwischen der Kathode 19 und der Anode 20 wird periodisch ein Lichtbogen 22 gezündet, welcher das über die Zuleitungen 8 zugeführte plasmafähige Medium 5 elektrisch anregt. Erfindungsgemäß ist zusätzlich eine Heizeinrichtung 23 zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums 5 angeordnet, welche im dargestellten Beispiel als Induktionsheizung 24 ausgebildet ist, welche um die gewindeförmig angeordnete Leitung für das plasmafähige Medium 5 angeordnet ist. Zusätzlich kann eine Heizeinrichtung zum Verdampfen eines flüssigen, plasmafähigen Mediums 5 vorgesehen sein (nicht dargestellt), nach welcher allenfalls eine Kammer 27 zur Mischung mehrerer plasmafähiger Medien 5 vorgesehen ist. Die Mischung plasmafähiger Medien 5 wird dann in den Brennraum 28, in welchem der Lichtbogen 22 periodisch gezündet wird, geleitet, wo der Plasmastrahl 2 erzeugt und aus der Düse 21 in Richtung des zu behandelnden Werkstücks 18 oder dergleichen getrieben wird. Der Abstand zwischen Kathode 19 und Anode 20 ist gegenüber herkömmlichen Plasmabrennern 7 größer ausgebildet. Durch spezielle Gestaltung dieses Abstands, aber auch des Brennraums 28 zwischen Kathode 19 und Anode 20 und Gestaltung der Düse 21 kann die Verwirbelung des plasmafähigen Mediums 5 und in der Folge die Breite des Plasmastrahls 2 eingestellt und an den jeweiligen Anwendungsfall gezielt angepasst werden. Aufgrund der größeren Distanz zwischen Kathode 19 und Anode 20 ist es von

Vorteil, wenn die Zündung des Lichtbogens 22 mit einer höheren Frequenz, üblicherweise im Bereich zwischen 10 kHz und 100 kHz gezündet wird. Da der Lichtbogen 22 nicht aus der Düse 21 austritt, können mit dem Plasmastrahl 2 auch Werkstücke 18 aus elektrisch nicht leitfähigem Material, beispielsweise Kunststoffe bis hin zu biologischen Geweben, behandelt werden.

[0040] Fig. 3 zeigt schließlich ein Blockschaltbild einer Vorrichtung 1 zur Erzeugung eines Plasmastrahls 2 gemäß der vorliegenden Patentanmeldung. Die Vorrichtung 1 umfasst den in Fig. 2 beschriebenen Plasmabrenner 7, einen oder mehrere Behälter 4 für ein gasförmiges oder flüssiges plasmafähiges Medium 5 und eine Einrichtung 3 zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums 5 im Plasmabrenner 7. Vorteilhafterweise wird eine Regelungseinrichtung 25 zur Regelung der Temperatur des Plasmastrahls 2 vorgesehen, indem die Temperatur mit einem geeigneten Temperatursensor 26 an einer geeigneten Stelle gemessen wird und je nach gemessener Temperatur die Einrichtung 3 zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums 5 oder die Zuleitungen 8 für das plasmafähige Medium 5 entsprechend beeinflusst werden. Die Temperaturmessung des Plasmastrahls 2 kann - wie in Fig. 3 dargestellt - indirekt im Bereich der Heizeinrichtung 23 oder auch direkt im Bereich der Düse 21 (nicht dargestellt) erfolgen. Die für bestimmte Oberflächenbehandlungen notwendigen Temperaturen des Plasmastrahls 2 können in entsprechenden Tabellen oder Datenbanken 29 enthalten sein.

[0041] Mit dem vorliegenden Verfahren und der vorliegenden Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmastrahls 2 unter Atmosphärendruck können auch bei niedrigen Temperaturen Oberflächen von Werkstücken 18 oder dergleichen geeignet behandelt werden und insbesondere Oberflächen von Werkstücken 18 vor dem Lackieren, vor dem Schweißen, vor einem Kleben oder dergleichen mit dem Plasmastrahl 2 vorbehandelt werden. Durch die Vorwärmung des plasmafähigen Mediums 5 kann eine getrennte Einstellung der elektrischen und thermischen Anregung des Plasmas erfolgen.

[0042] Beispiel:

[0043] Für die Vorbehandlung von Aluminium für eine nachfolgende Schweiß-, Klebe- oder Lackieranwendung kann es von Vorteil sein, die Oberfläche dahingehend zu konditionieren, dass die Benetzbarkeit und die Haftfähigkeit der Aluminiumoberfläche gesteigert werden. Eine gute Möglichkeit zur messtechnischen Erfassung von Veränderungen der Oberfläche stellt die Kontaktwinkelmessung dar. Unter anderem kann mit dieser Messung die Oberflächenspannung von Festkörpern vor und nach erfolgter Behandlung mit Atmosphärendruckplasma analysiert werden. Eine Erhöhung der Oberflächenspannung ist dabei immer ein sehr guter Indikator, dass sich die Benetzbarkeit und die Haftfähigkeit verbessert haben. Das in diesem Beispiel verwendete Aluminium weist im unbehandelten Zustand eine Oberflächenspannung von 32 mN/m auf.

[0044] Führt man nun eine Behandlung der Oberfläche mit Atmosphärendruckplasmen durch, kann die Oberflächenspannung deutlich erhöht werden.

[0045] In diesem Beispiel wird ein Atmosphärendruckplasmabrenner mit einer integrierten Induktionsheizung 24 als Heizeinrichtung 23 verwendet. Der Durchmesser der Austrittsöffnung der Düse 21 kann in einem Bereich zwischen 1 mm und 6 mm variiert werden, der Abstand der Kathode 19 zur Anode 20 beträgt mindestens 1 cm und der Innendurchmesser des Brennraums 28 beträgt im Wesentlichen 1 cm. Die Heizleistung der Induktionsheizung 24 kann stufenlos von 0 W bis 500 W geregelt werden. Für die Temperaturregelung ist ein Temperatursensor 26 im Bereich der Heizeinrichtung 23 vorgesehen. Das plasmafähige Medium 5 wird über eine Zuleitung 8 dem Plasmabrenner 7 zugeführt und kann in der Heizeinrichtung 23 erhitzt werden. Druck und Durchfluss des zugeführten plasmafähigen Mediums 5 wird dabei so geregelt, dass ein Durchfluss im Bereich von 20 Liter gasförmigen plasmafähigen Mediums 5 pro Minute in den Brennraum 28 gewährleistet ist. Um die Einströmung des plasmafähigen Mediums 5 in den Brennraum 28 in einer für die Plasmaerzeugung geeigneten Weise durchführen zu können, besteht der Einlass aus mehreren Einströmöffnungen, welche so angeordnet sind, dass im Brennraum 28 ein Strömungswirbel erzeugt werden kann. Für die Plasmaerzeugung werden positive Hochspannungspulse mit einer Frequenz von 20 kHz und einer maximalen Span-

nungsamplitude von 20 kV verwendet. Für die Behandlung des Aluminiumwerkstückes wird der Plasmabrenner mit einem definierten Abstand von 3,5 mm und einer definierten Geschwindigkeit von 50 cm/min über die Materialoberfläche geführt.

[0046] Verwendet man nun in einem ersten Versuch aufbereitete Luft als plasmafähiges Medium 5, ohne die Heizeinrichtung 23 einzuschalten, kann eine gewöhnliche Behandlung mit Atmosphärendruckplasma durchgeführt werden. Die Oberflächenspannung des Aluminiums kann dadurch auf 55 mN/m gesteigert werden. Durch Einschalten der Heizeinrichtung 23 und Erhöhung der Temperatur des plasmafähigen Mediums 5 kann dieser Wert nun weiter gesteigert werden. Regelt man die Temperatur der Luft vor der Plasmaerzeugung auf einen Wert von 200 °C, kann damit die Oberflächenspannung des Aluminiums auf 65 mN/m erhöht werden. Noch interessanter wird es, wenn man auch die Plasmachemie verändert. Durch die Verwendung von Wasser als Ausgangsmedium und eine geeignete Regelung der Heizeinrichtung 23 kann man Wasserdampf mit einer Temperatur von 200 °C als plasmafähiges Medium 5 zur Verfügung stellen. Mit einem aus diesem Medium erzeugten Atmosphärendruckplasma kann man die Oberflächenspannung von Aluminium nun auf 72 mN/m erhöhen. Die angegebenen Zahlenwerte dienen nur zur Verdeutlichung dieser beispielhaften Anwendung und sind nicht einschränkend zu verstehen.

Patentansprüche

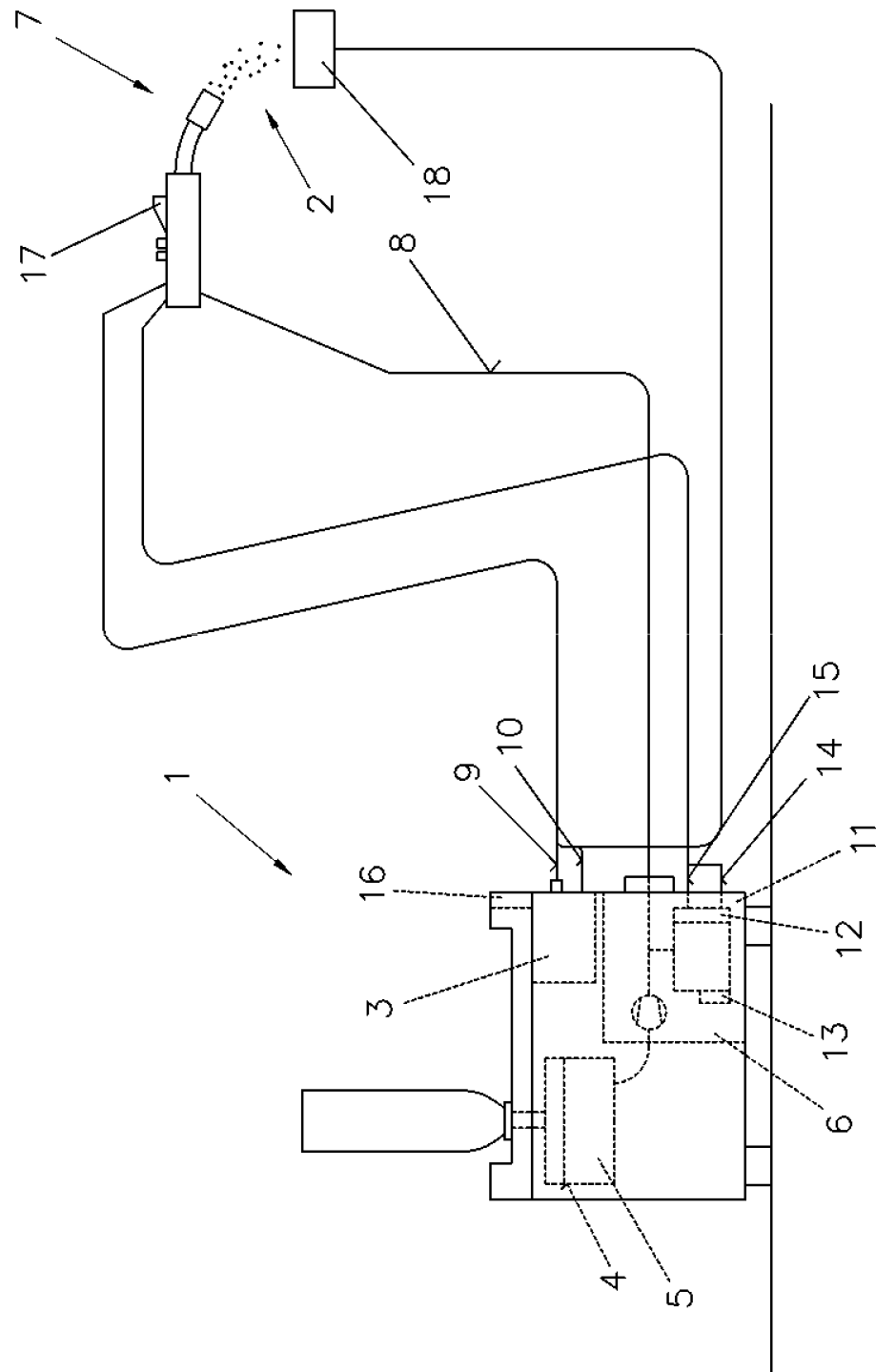
1. Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls (2) unter Atmosphärendruck zur Oberflächenbehandlung von Werkstücken (18), wobei der Plasmastrahl (2) durch elektrische Anregung eines plasmafähigen Mediums (5) mittels eines zwischen einer Kathode (19) und einer als Düse (21) ausgebildeten Anode (20) periodisch gezündeten Lichtbogens (22) erzeugt wird, und der Plasmastrahl (2) durch die Düse (21) in Richtung der zu behandelnden Oberfläche gerichtet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das plasmafähige Medium (5) vor der elektrischen Anregung mittels des Lichtbogens (22) in einer Heizeinrichtung (23) vorgewärmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das plasmafähige Medium (5) auf eine Temperatur von 5 °C bis 300 °C vorgewärmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das plasmafähige Medium (5) induktiv vorgewärmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das plasmafähige Medium (5) mittels Widerstandsheizelementen oder Strahlungsheizelementen vorgewärmt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lichtbogen (22) zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums (5) periodisch mit einer Pulsdauer kleiner 20 µs gezündet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur des aus der Düse (21) in Richtung der zu behandelnden Oberfläche gerichteten Plasmastrahls (2) zwischen 10 °C bis 500 °C geregelt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als plasmafähiges Medium (5) ein Gas verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als plasmafähiges Medium (5) eine Flüssigkeit verwendet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die als plasmafähiges Medium (5) verwendete Flüssigkeit vor der elektrischen Anregung mittels des Lichtbogens (22) verdampft wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die als plasmafähiges Medium (5) verwendete Flüssigkeit nach dem Verdampfen mit einem Gas gemischt wird.
11. Vorrichtung (1) zur Erzeugung eines Plasmastrahls (2) unter Atmosphärendruck zur Oberflächenbehandlung von Werkstücken (18), mit einer Zuleitung (8) für das plasmafähige Medium (5), einer Einrichtung (3) zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums (5) mittels eines zwischen einer Kathode (19) und einer als Düse (21) ausgebildeten Anode (20) periodisch gezündeten Lichtbogens (22), **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Einrichtung (3) zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums (5) eine Heizeinrichtung (23) zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums (5) angeordnet ist.
12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Heizeinrichtung (23) zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums (5) auf 5 °C bis 300 °C ausgebildet ist.
13. Vorrichtung (1) nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Heizeinrichtung (23) zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums (5) durch eine Induktionsheizeinrichtung (24) gebildet ist.
14. Vorrichtung (1) nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Heizeinrichtung (23) zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums (5) durch ein Widerstandsheizelement oder ein Strahlungsheizelement gebildet ist.

15. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung (3) zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums (5) durch einen Generator zur Erzeugung hochfrequenter Strompulse mit einer Dauer kleiner 20 μ s ausgebildet ist.
16. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Regelungseinrichtung (25) zur Regelung der Temperatur des aus der Düse (21) zur zu behandelnden Oberfläche gerichteten Plasmastrahls (2) zwischen 10 °C und 500 °C vorgesehen ist.
17. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zuleitung (8) für das plasmafähige Medium (5) durch eine Gasleitung gebildet ist.
18. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zuleitung (8) für das plasmafähige Medium (5) durch eine Flüssigkeitsleitung gebildet ist.
19. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen der Heizeinrichtung (23) zur Vorwärmung des plasmafähigen Mediums (5) und der Einrichtung (3) zur elektrischen Anregung des plasmafähigen Mediums (5) eine Kammer (27) zur Mischung des vorgewärmten plasmafähigen Mediums (5) mit einem weiteren plasmafähigen Mediums (5) angeordnet ist.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

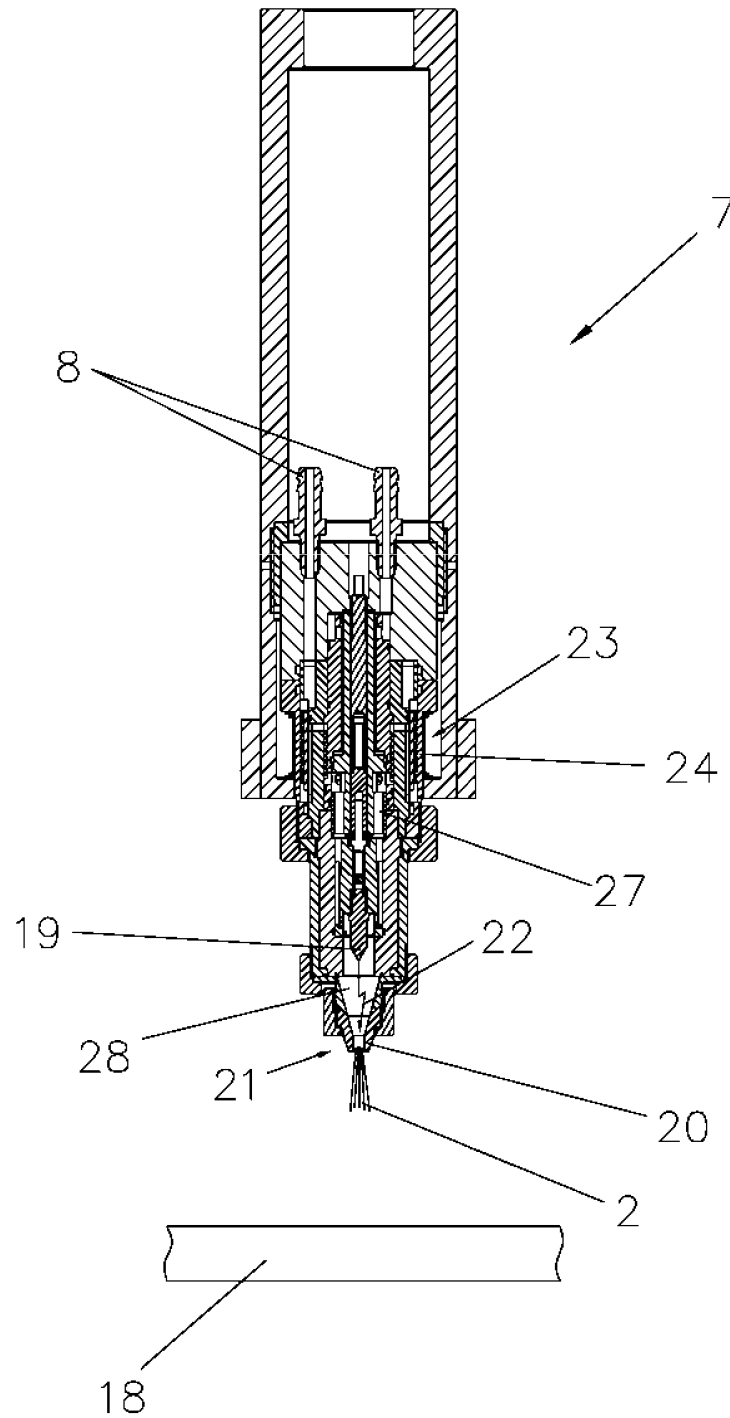
1/3

Fig.1



2/3

Fig.2



3/3

