

(19)



(11)

EP 3 393 215 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.10.2018 Patentblatt 2018/43

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

(21) Anmeldenummer: **17167209.0**

(22) Anmeldetag: **20.04.2017**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

• **Senokosov, Evgenij**
Sankt-Petersburg 193168 (RU)

(72) Erfinder:

• **Senokosov, Andrey**
Sankt-Petersburg 193168 (RU)
• **Senokosov, Evgenij**
Sankt-Petersburg 193168 (RU)

(71) Anmelder:

• **Senokosov, Andrey**
Sankt-Petersburg 193168 (RU)

(74) Vertreter: **Jeck, Anton**

Jeck & Fleck
Patentanwälte
Klingengasse 2
71665 Vaihingen/Enz (DE)

(54) LICHTBOGENPLASMATRON-OBERFLÄCHENBEHANDLUNG

(57) Die Erfindung betrifft ein Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung mit koaxial und nacheinander angeordneter gekühlter Kathodenbaugruppe, einem Isolator, einem Drallerzeuger eines plasmabildenden Arbeitskörpers, einer Lichtbogenkammer, einer gekühlten Anodenbaugruppe mit einer Düse und einem in der Düse ausgebildeten stabilisierenden Absatz und mit einer

Brennkammer. Im Querschnitt des stabilisierenden Absatzes sind tangentielle Zufuhrkanäle ausgebildet, um darüber eine zweite Komponente tangential zum Plasmastrahl zuzuführen. Die zweite Komponente ist gemeinsam mit dem plasmabildenden Arbeitskörper Brennstoff.

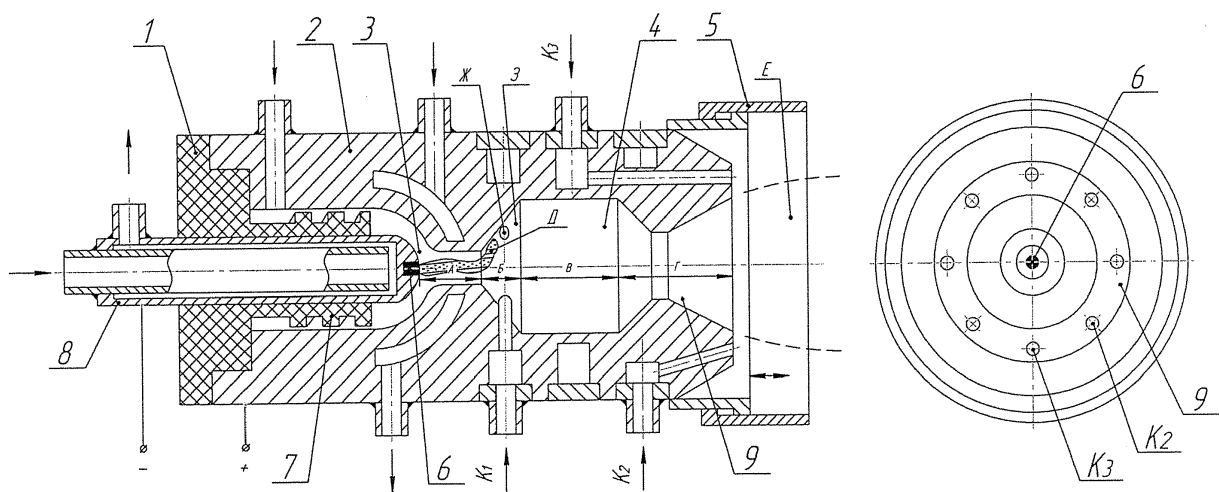


Fig. 1

EP 3 393 215 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Vorrichtung bezieht sich auf Ausrüstungen und Verfahren zur Entfernung von Zunder, Rost, Oxidfilmen, organischen Schmierstoffen, unterschiedlichen Verunreinigungen und Oberflächen-Imprägnierungen auf der Oberfläche von Metallerzeugnissen mit Hilfe von Lichtbogenentladungen im Vakuum. Das Verfahren kann in Eisen- und Nichteisen-Metallurgie-Werken, bei der Herstellung und Verarbeitung von Metallbändern und -streifen, Rohren, Walzgütern in breitem Sortiment, Drähten, im Maschinenbau sowie in beliebigen Reparaturwerken, in der Erdöl- und Gasindustrie zur Entfernung von Harz-, Paraffinablagerungen in den Rohren und in der Ausrüstung verwendet werden.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren und Vorrichtungen zur Lichtbogen-Oberflächenbehandlung und -reinigung von Metallwerkstücken bekannt (Erfinderzertifikate RU 122.603, 224.716, 367.980, 1.113.196, 1.189.618; RU 986673, Patente RU 2.012.694, 2.021.391, 2.064.524, 2.068.029, 2.074.903, 2.135.316, 2.144.096, 2.165.474, 2.170.283, 2.195.517, RU 1590257, Patente US 4.950.377, 4.971.667, 5.246.741; Patente UK 2.055.939, 2.164.359; Patent FR 2.403.860; Patente JP 9248617, 9248618, 10251882, 11077141, 11080893, Patent EP 0.175.538; Patente WO 92/6.965, 93/13238, 97/00106, 99/28.520; Plasmaphysik 1978, 4(4), S. 425-428; Patente RU 2511947, 10.04.2014; RU 2503885, 10.01. 2014; RU 2466331, 10.11.2012; RU 2451879, 27.05.2012; RU 2465748, 27.10.2012; RU 2431685, 20.10.2011; RU 2397848, 27.08.2010; RU 2359433, 20.06.2009; RU 2456780, 20.07.2012; RU 2387107, 20.04.2010 r.; RU 2340125, 20.12.2008).

[0003] Alle oben genannten Verfahren und Vorrichtungen haben einen gemeinsamen Mangel, der der Lichtbogenbehandlung von Metallerzeugnissen eigen ist: Eine solche Bearbeitung hängt mit hohen Energieverlusten, niedriger Leistungsfähigkeit und minderwertiger Bearbeitungsqualität zusammen. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Metallerzeugnisse mit einem Plasmatronstrahl gereinigt werden, dessen Größe im Verhältnis zu einem hohen axialen und radialen Temperaturgradienten von bis zu 2 - 3 Tausend Grad pro Millimeter klein ist. Dies setzt eine hohe Genauigkeit voraus, wenn der Plasmastrahl die Oberfläche des Werkstücks abtastet, und verteuert dementsprechend den Behandlungsvorgang. Manchmal ist eine solche Oberflächenbehandlung überhaupt nicht möglich, z. B. wenn Asphalt-, Harz-, Paraffinablagerungen in Steigrohren entfernt werden müssen.

[0004] Das dem vorliegenden Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung am nächsten liegende Gebrauchsmuster offenbart einen Plasmabohrer PB-40 (s. in: G.K. Klimenko, A.A. Lyapin, Konstruktionen von Lichtbogenplasmatronen, PDF-Datei, S. 45), der als Prototyp des vorgeschlagenen Gebrauchsmusters gilt. Der Prototyp hat folgende Mängel:

- einen relativ kleinen erzeugten Plasmastrahl,
- eine kurze Nutzdauer der Anodenkassette, denn der Anodenfleck kann durch keine Mittel über die Anodenoberfläche in Bewegung gebracht werden,
- Explosionsgefahr der plasmabildenden Arbeitskörper, denn als solche wird die durch einen flüssigen Brennstoff ergänzte Luft eingesetzt, und
- einen niedrigen Wirkungsgrad, denn Kohlenwasserstoffe fließen über die Lichtbogenkammer. Das wird noch nachstehend erwähnt.

[0005] Die Erfindung "Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung" hat folgende Aufgaben:

1. Das Plasmatron soll einen Hochtemperatur-Plasmastrahl samt Verbrennungsprodukten generieren, wobei dessen Massentemperatur in einem Bereich zwischen ca. 3000 - 8000° C liegt und dessen Durchmesser und Länge im Vergleich zu konventionellen Plasmatronen größer sind.
2. Der Temperaturgradient im Plasmastrahl soll längen- und durchmesserbezogen vermindert werden, und zwar durch die Dissoziations- und Rekombinationsreaktionen, die im Strahl nach seinem Ausfluss aus der Düse fortlaufen.
3. Das Plasma und die Verbrennungsprodukte sollen bis auf Hochgeschwindigkeiten im Vergleich zu konventionellen Plasmatronen beschleunigt sein (Steigerung der mechanischen Strahlwirkungskomponente während der Oberflächenreinigung).
4. Der thermische Wirkungsgrad des Plasmatrons soll erhöht werden.
5. Die Betriebssicherheit des Plasmatrons soll gewährleistet sein. Dabei soll seine Ausführung ermöglichen, die Verbrennungsreaktion aufrechtzuerhalten und ein eventuelles Feuer zu löschen.
6. Das Plasmatron soll sowohl für den manuellen als auch für einen robotergestützten Betrieb geeignet sein.
7. Das Plasmatron soll unter beliebigen Feld- und Klimabedingungen betriebsfähig sein. Seine speziellen Bauarten sollen auch seinen Betrieb unter Wasser, in Bohrlöchern und in den mit Asphalt-, Harz-, Paraffin- und Mineralablagerungen gefüllten Rohren ermöglichen.

[0006] Die Entwicklung von Kaltplasmageneratoren in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts hing hauptsächlich mit den Kaltplasma-Forschungen, der Entwicklung von MHD-Generatoren, elektrischen Raketenantrieben, mit der Aufspritstechnik für hitzebeständige Anstriche, dem Plasmaschneiden für Metallverarbeitung und anderen Anwendungen zusammen. Am Anfang des laufenden Jahrhunderts wurde die Entwicklung von Kaltplasmageneratoren durch die Entwicklung einer plasmagebundenen Technologie für ablatierende Reinigung der Oberflächen von Stahl-, Beton-, Stein- und sonstigen Konstruktionen und der Entfernung beliebiger

Verunreinigungen wieder in Schwung gebracht.

[0007] Physikalisch handelt es sich bei der Ablationsreinigung, darunter auch Oberflächenreinigung, um eine kurzzeitige Einwirkung des durch Plasmaquellen generierten Kaltplasmas mit einer Temperatur zwischen 6.000° C und 20.000° C und mit einer Energiedichte von 10^{11} W/m² auf die zu reinigende Oberfläche.

[0008] Bei einer solchen Temperatur und Energiedichte verdampfen oder sublimieren alle bekannten chemischen Verbindungen und Elemente, die sich in Form von Verunreinigungen auf der Oberfläche befinden, aus der zu reinigenden Oberfläche augenblicklich, wodurch eine saubere Oberfläche zurückbleibt.

[0009] Ein solcher Reinigungsvorgang läuft mit einer hohen Reinigungsleistung ab. Er ist von Wetterbedingungen unabhängig und umweltfreundlich, denn alle Moleküle der organischen Verbindungen dissoziieren völlig oder teilweise unter der Einwirkung des Hochgeschwindigkeitsplasmastroms innerhalb des genannten Temperaturbereichs. Das heißt, diese Moleküle zerfallen in ihre Bestandteile: C-, O₂-, H₂O- und andere Atome. Infolge einer Rekombination (nachfolgender Verbrennung) bilden diese erregten Atome ihrerseits die einfachsten gefährlosen Verbrennungsprodukte wie CO₂ und H₂O aus zusammengesetzten krebserzeugenden Molekülen.

[0010] Zu dieser Verwandlung der krebserzeugenden Moleküle in die einfachsten ungefährlichen chemischen Verbindungen trägt die Nutzung von Kohlenwasserstoffen als plasmabildende Arbeitskörper bei. Dank der kurzzeitigen (1 bis 2 Sek.) Wechselwirkung zwischen den Plasmastrahlen und der zu reinigenden Oberfläche wird die Oberfläche auf max. 60 - 350° C erhitzt. Das hat keine negative Einwirkung auf das Material der zu reinigenden Oberfläche. Im Gegenteil ist eine solche Erhitzung der Oberfläche infolge der Oberflächenreinigung für weitere verfahrenstechnische Schritte (Diagnose, Auftragen von Schutzanstrichen usw.) sogar erforderlich.

[0011] Die bestehenden Strahlengeneratoren zur Erzeugung des Kaltplasmas (Plasmatronen) sind aufgrund ihrer Mängel für ablationsgestützte Verfahren der Oberflächenreinigung nicht geeignet. Ihre Hauptmängel sind ein kleiner Durchmesser und eine geringe Reichweite des aus der Düse fließenden Kaltplasmastrahls. Das ist auf die hohe Abkühlgeschwindigkeit des Plasmastrahls sowohl der Länge als auch dem Durchmesser nach zurückzuführen und zeigt sich somit in einem hohen Temperaturgradienten der Länge und dem Durchmesser des Kaltplasmastrahls nach.

[0012] Da der Plasmastrahl der Arbeitsteil eines Plasmawerkzeugs ist, halten seine Kleinabmessungen, 30 bis 60 mm in der Länge, die eigentliche Anwendbarkeit des Plasmawerkzeugs zurück, vermindern seine Leistungsfähigkeit und setzen eine hohe Abtastgenauigkeit des Plasmastrahls auf der Oberfläche während der Reinigung voraus. Die Größe ist hier prinzipiell wichtig. So liegt z. B. der radiale Temperaturgradient zwischen 1000 und 2000° C/mm bei einem Radius von 6 bis 4 mm. Sogar der geringste Fehler von $\pm 0,5$ mm der Plasmastrahlab-

tastung kann das Verschmelzen oder das Durchbrennen der zu reinigenden Oberfläche verursachen.

[0013] Die Erfinder aus ZAO PETROPLASMA (Aktiengesellschaft Petroplasma) haben Zweikammer-Strahlplasmatronen entwickelt und zusammengesetzte plasmabildende Arbeitskörper auf der Basis von kohlenwasserstoffhaltigen Flüssigkeiten und Gasen erstellt. Diese ermöglichen es, Plasmastrahlen mit einer Teilchengeschwindigkeit bis zu 800 m/s, einer Temperatur zwischen 3.000° C und 20.000° C und einer Länge bis zu 500 mm bei einem Durchmesser bis zu 40 mm zu erzeugen. Somit sind Plasmastrahlen mit einem niedrigen Temperaturgradienten der Strahlen sowohl ihrer Länge als auch dem Durchmesser nach und mit großen Abmessungen (die die bequeme ablationsgestützte Reinigung mit einer hohen Reinigungsleistung ermöglichen) sowohl der Länge als auch dem Durchmesser nach erzeugt. Die Zusammensetzung des Plasmas ist umweltfreundlich, was durch zahlreiche Prüfungen nachgewiesen ist. Die thermochemischen Prozesse im Plasma wurden mit einer Zweikammer-Ausführung realisiert. Dank diesen thermochemischen Prozessen ist das Strahlplasma mit seinen unscharfen Grenzen "wärmer" geworden (aufgrund des kleinen Temperaturgradienten dem Strahldurchmesser und der Strahllänge nach). Dadurch werden das Verschmelzen und das Durchbrennen der zu reinigenden Oberfläche vermieden. Das vereinfacht wesentlich die Ausrüstung, die für die Abtastung der Oberfläche der zu behandelnden Werkstücke durch den Plasmastrahl benötigt wird und senkt ihren Preis.

[0014] Somit führt die Kombination der Lichtbogenheizung des plasmabildenden, aus Kohlenwasserstoffen bestehenden Arbeitskörpers mit ihren Dissoziationen und mit der nachfolgenden Auslösung der Wärmeenergie im ausfließenden Strahl aufgrund der chemischen Verbrennungsreaktionen der Kohlenwasserstoffatome und -moleküle bei ihrer Rekombination dazu, dass der Strahl sowohl im Durchmesser als auch in der Länge größer wird. Die Verwendung von Kohlenwasserstoffen als plasmabildende Arbeitskörper beeinträchtigt jedoch wesentlich die Energieeigenschaften (den Wirkungsgrad) der Kohlenwasserstoff-Plasmatronen und ergibt nicht die benötigte Standzeit. Das lässt sich durch eine sehr hohe Elektrodenabtragungsgeschwindigkeit erklären. Eine solche schnelle Elektrodenabtragung geschieht hauptsächlich aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Kohlenwasserstoff-Kaltplasmas (A.M. Zalesskiy, Elektrischer Unterbrechungslichtbogen, M-L.: Gos. Energoizdat, 1963, S. 25) im Vergleich zum Sauerstoff- und sauerstoffhaltigen Kaltplasma. Die Nutzdauer der mit sauerstoffhaltigen, plasmabildenden Arbeitskörpern betriebenen Plasmatronen ist in den letzten Jahren dank der Entwicklung von chemischen Glühkathoden beachtlich länger geworden (Kaltplasma, Band 20, Novosibirsk, Verlag "Nauka", 2004, S. 121).

[0015] Aus den obigen Ausführungen geht somit Folgendes hervor: Um Plasmastrahlen mit einer großen

Reichweite und großen Durchmessern bei gleicher Plasmatronkapazität zu bekommen, die für die Oberflächenbehandlung der Werkstücke bequem wären, sollten kohlenwasserstoffhaltige plasmabildende Arbeitskörper eingesetzt werden. Diese stehen aber den mit sauerstoffhaltigen plasmabildenden Arbeitskörpern betriebenen Plasmatronen in ihren Energie- und Nutzdauereigenschaften nach.

[0016] Die vorliegende Erfindung "Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung" löst die Aufgabe der größeren Durchmesser und Längen der Plasmastrahlen sowie der höheren Wärme- (Wirkungsgrad) und Nutzdauereigenschaften der Plasmatronen wie folgt:

1. Die Plasmatronen werden mit zwei nacheinander angeordneten Kammern, einer Lichtbogenkammer und einer Brennkammer, nachgerüstet.
2. Die Brennstoffkomponenten werden getrennt zugeführt (G.B. Sinyarev, M.V. Dobrovol'skiy, Flüssigkeitstriebwerke, M.: Gosoboronprom, 1955, S. 129). Zum Beispiel wird der Oxidator, d. h. der sauerstoffhaltige plasmabildende Arbeitskörper, der Lichtbogenkammer zugeführt, und der Kohlenwasserstoff-Treibstoff, d. h. die zweite Brennstoffkomponente, wird in die Brennkammer in den oxidativen Kaltplasmastrahl eingeleitet.
3. Die Zufuhr der zweiten Brennstoffkomponente erfolgt tangential in der Ebene eines stabilisierenden Absatzes der Anode (G.K. Klimenko, A.A. Lyapin, Konstruktionen der Lichtbogenplasmatronen, PDF-Datei, S. 23). Das ist nötig, um in diesem Bereich eine Anbindung (Verknüpfung) des Anodenflecks eines leistungsstarken Wirbelbogens herzustellen. Unter seiner Wirkung bewegt sich der Anodenfleck intensiv über die Oberfläche der gekühlten Anode. Dadurch wird eine lange Nutzdauer der Anodenbaugruppe und folglich des gesamten Plasmatrons erreicht (S.A. Krapivina, Plasmachemische Vorgänge, Leningrad, Chemie, 1981, S. 83).

[0017] Die Senkung der Massenmitteltemperatur des Plasmastrahls wird dabei dadurch erreicht, dass der Kaltplasmastrahl mit den Verbrennungsprodukten in der Brennkammer gemischt ist. Aufgrund der chemischen Verbrennungsenergie können die Verbrennungsprodukte nicht heißer als 3500° C sein, da es nicht möglich ist, die thermischen Dissoziationsreaktionen zu vermeiden. Die Dissoziation ist gerade dafür zuständig, dass der Anstieg der Temperatur der Verbrennungsprodukte bei 3500° C aufhört (G.B. Sinyarev, M.V. Dobrovol'skiy, Flüssigkeitstriebwerke, M.: Gosoboronizdat, 1955, S. 62).

[0018] Große Abmessungen und unscharfe Grenzen (niedriger Temperaturgradient) werden dadurch erklärt, dass es sich beim ausfließenden Strahl eines solchen Plasmatrons um eine Strömung eines Hochtemperatur-Reaktionsgases handelt. In diesem Gas laufen plasmachemische Hochgeschwindigkeitsreaktionen in der

Brennkammer, in der Strahldüse und in dem aus dem Plasmatron ausfließenden Strahl ab. Folglich verlaufen die Rekombinations- und Verbrennungsreaktionen intensiv über das gesamte Volumen des ausfließenden Strahls. Dabei wird in diesem Volumen eine große Wärmeenergiemenge ausgelöst, die die Hochtemperatur im Strahl über sein ganzes Volumen aufrechterhält. Der ausfließende Strahl im konventionellen Plasmatron fängt sofort nach der Düsenöffnung an, die Wärmeenergie aus dem Strahlvolumen intensiv zu streuen und kühlt schnell ab. Aus diesem Grund entsteht ein hoher Temperaturunterschied (Temperaturgradient) an der Plasmastrahlengrenze, und der Plasmastrahl ist eng und kurz.

[0019] Das Vorhandensein der Brennkammer sowie die Nutzung der zweiten Brennstoffkomponente, des kohlenwasserstoffhaltigen Brennstoffs, führt dazu, dass die Molekülmasse des zusammengesetzten sauerstoffhaltigen Plasmas und der Verbrennungsprodukte abnimmt, d. h., dass die Gasbildung zunimmt und dass die Wärmeenergie in mechanische Energie in der Strahldüse effizienter umgesetzt wird. Die mechanische Energie E des Strahls wird durch seinen Massendurchfluss und die Geschwindigkeit definiert:

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

wobei

m der Gasmassendurchfluss durch die Düse und
 v die Gasstrahlgeschwindigkeit ist (G.B. Sinyarev, M.V. Dobrovol'skiy, Flüssigkeitstriebwerke, M.: Gosoboronprom, 1955, S. 130).

[0020] Somit bewirkt das Nachbrennen des sauerstoffhaltigen Kaltplasmas in der Strahldüse immer eine Geschwindigkeitssteigerung des ausfließenden Strahls. Das erhöht die Leistungsfähigkeit der ablationsgestützten Oberflächenreinigung mit dem Plasmatron.

[0021] Die zusätzliche Ausnutzung der chemischen Verbrennungsenergie steigert den Wirkungsgrad des Plasmatrons. Somit werden die Verluste teilweise ausgeglichen.

[0022] Wird der Plasmatronstrahl eingesetzt, um Altbeschichtungen auf der Werkstückoberfläche zu entfernen, so ist es manchmal sinnvoll, der Arbeitszone der Reinigung brennbare Gase und einen Luftstrom zuzuführen, um die stöchiometrische und die Hochtemperaturverbrennung von Reinigungsabfallprodukten aufrechtzuerhalten, denn die Hochtemperaturverbrennung mit Luftsauerstoffüberschuss ist umweltfreundlicher (ergibt keine krebserzeugenden Moleküle) als eine glimmende Verbrennung, wie z. B. Müllverbrennung. Dafür ist das Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung mit Zufuhrkanälen (Leitungen) versehen, um Luft und brennbare Stoffe zuzuführen. Die Zufuhr erfolgt parallel mit dem aus der Düse ausfließenden Strahl oder

schneidet ihn. Gleichzeitig damit enthält das Plasmatron zusätzlich Löschmittel-Zufuhrkanäle (Wasser, Dampf usw.), um diese ggf. parallel mit dem ausfließenden Strahl des zusammengesetzten Plasmas und der Verbrennungsprodukte zuzuführen, wenn Brandgefahr in der Zone der Oberflächenreinigung entsteht. Dabei hört die Versorgung des Plasmatrons mit allen anderen Komponenten auf.

[0023] Das Lichtbogenplasmatron ist mit mehr als einem Griff (mit mindestens zwei Griffen) sowie mit darauf angebrachten Bedienelementen versehen, um das Lichtbogenplasmatron manuell bedienen zu können. Darüber hinaus ist es mit Halterungen versehen, um seine Montage auf den Handhabungsvorrichtungen von Robotern zu ermöglichen.

[0024] Das Plasmatron ist gasdicht, hat nichtleitende Außenüberzüge und besteht aus solchen Stoffen, die es ermöglichen, es in einem breiten Temperatur- und Luftfeuchtebereich zu betreiben. Das Plasmatron kann auch unter Wasser betrieben werden, denn die seiner Funktion zugrunde liegenden physikalischen Prozesse machen auch eine solche Betriebsart möglich.

[0025] Für den Betrieb unter Wasser wird das Plasmatron zuerst auf dem Land eingeschaltet und dann unter Wasser gebracht.

[0026] Die Figuren 1 und 2 enthalten schematische Darstellungen eines Lichtbogenplasmatrons. Es zeigen:

- 1 Isolator
- 2 gekühlte Anodenbaugruppe
- 3 Lichtbogenkammer
- 4 Brennkammer
- 5 ausziehbare Ansatzdüse
- 6 einsetzbarer Emissionsteil
- 7 Drallerzeuger des plasmabildenden Arbeitskörpers (PBA)
- 8 gekühlte Kathodenbaugruppe
- 9 Strahldüse
- A Brennzzone der Lichtbogenentladung
- B Mischzone für Brennstoffkomponente K_1 und Kaltplasmastrahl
- C Kammer für konvektive Treibstoffverbrennung
- D Beschleunigungsbereich des zusammengesetzten Kaltplasmas mit Treibstoffverbrennungsprodukten in der (Unterschall- oder Überschall-) Strahldüse
- E Anodenzone der Lichtbogenentladung
- F in der Strahldüse beschleunigter Strahl des Kaltplasmas und der Verbrennungsprodukte
- G tangentiale Öffnungen für die Zugabe der K_1 -Komponente in die Anodenzone der Lichtbogenentladung
- H stabilisierender Absatz in der Anodenbaugruppe

[0027] Die Fig. 2 zeigt das Plasmatron mit Düsenansicht. Die Ausfließöffnungen für die Komponenten K_1 und K_3 sind konzentrisch um den ausfließenden Strahl des Plasmas und der Verbrennungsprodukte angeordnet.

[0028] Der Anwendungszweck des Lichtbogenplasmatrons zur Oberflächenbehandlung ist die Erzeugung eines Hochtemperatur- und Hochgeschwindigkeitsstrahls mit einer Temperatur zwischen 3000 und 8000° C. Der Durchmesser und die Länge des Strahls F (Fig. 1) sollen diese der konventionellen Lichtbogenplasmatronen, z. B. nach dem Prototyp "PLASMABOHRER PB-40", überschreiten. Um diesen Effekt zu erreichen, enthält das Plasmatron zwei miteinander folgerichtig kombinierte Gaserwärmungskammern, und zwar eine Lichtbogenkammer 3 und eine Brennkammer 4. Dementsprechend besteht das Lichtbogenplasmatron gemäß der Erfindung aus einer wassergekühlten Kathodenbaugruppe 8, einer wassergekühlten Anodenbaugruppe 2, wobei diese Baugruppen durch einen Isolator 1 getrennt sind, einer Lichtbogenkammer 3, einer Brennkammer 4 und einer Strahldüse 9. Die Strahldüse 9 hat eine ausziehbare Ansatzdüse 5. Die Kathodenbaugruppe 8 hat einen einsetzbaren Emissionsteil 6, der aus Zirkonium oder Hafnium gefertigt ist. Am Eintritt der Lichtbogenkammer 3 ist ein Drallerzeuger 7 des plasmabildenden Arbeitskörpers angeordnet.

[0029] Das Potential der Stromversorgung (in Fig. 1 nicht abgebildet) wird an die Kathodenbaugruppe 8 und die Anodenbaugruppe 2 angelegt. Der sauerstoffhaltige plasmabildende Arbeitskörper (Oxidator) wird der Lichtbogenkammer 3 über den Drallerzeuger 7 zugeführt. Zwischen der Kathode 8, und zwar zwischen dem einsetzbaren Emissionsteil 6 aus Zirkonium oder Hafnium, wird eine elektrische Entladung gezündet. Die elektrische Entladung bildet unter der Wirkung des Wirbels des plasmabildenden Arbeitskörpers nach dem Drallerzeuger 7 in der Lichtbogenkammer 3 einen stromführenden Kanal in der Brennzzone der Lichtbogenentladung A. Dieser stromführende Kanal schließt mit der Anodenzone der Entladung E den Kreis in der Anodenbaugruppe 2 auf der Oberfläche des stabilisierenden Absatzes H. Der stabilisierende Absatz H ist vorgesehen, um einen negativen Effekt, die sog. Lichtbogenbrückung, in Plasmatronen zu vermeiden. Dieser Effekt führt zu unerwünschten Stromschwankungen des Lichtbogens und der Lichtbogenentladung.

[0030] In der Ebene des stabilisierenden Absatzes H befinden sich tangentiale Ausfließöffnungen G, um die zweite Brennstoffkomponente, einen Brennstoff K_1 , der Brennkammer 4 zuzuführen. Infolge der tangentialen Einleitung der Komponente K_1 entsteht ein leistungsstarker Gaswirbel in der Mischzone B in der Ebene des stabilisierenden Absatzes H. Unter der Wirbelwirkung bewegt sich die Anodenzone der Lichtbogenentladung E intensiv über die Oberfläche des stabilisierenden Absatzes H und vermindert somit seine Erosion und verlängert seine Nutzdauer.

[0031] Der plasmabildende Arbeitskörper passiert die Entladungssäule der Entladung A, erwärmt sich sehr stark, ionisiert sich und verwandelt sich in das Kaltplasma. Danach kommt das Kaltplasma in die Mischzone B.

[0032] In den Zonen B und C in der Brennkammer 4

kommt eine intensive Vermengung des sauerstoffhaltigen Plasmas und der Moleküle und Atome der K_1 -Komponente des kohlenwasserstoffhaltigen Treibstoffs zustande.

[0033] Bei einer hohen Oxidator-Temperatur laufen chemische Hochgeschwindigkeits-Verbrennungsreaktionen in der Brennkammer 4 ab (Verbindungen der Kohlen- und Wasserstoffatome mit ionisierten Sauerstoffatomen; die charakteristische Reaktionsdauer liegt bei 10^{-3} und 10^{-4} s).

[0034] Danach kommt die Mischung von Kaltplasma und Verbrennungsprodukten aus der Brennkammer 4 (Zone C) in die Strahldüse 9. Hier in der Zone D erfolgt die Umwandlung der Gaswärmeenergie in die kinetische Strahlenergie, d. h., je nach Düsenprofil beschleunigt sich der Strahl F bis auf Schall- oder Überschallgeschwindigkeit. Für die Behandlung der Werkstückoberflächen, z. B. für die Oberflächenreinigung, ist es sehr wichtig, einen großen Plasmastrahl, eine hohe Temperatur von 3000 - 8000° C und eine hohe Geschwindigkeit (einige Hundertmeter pro Sekunde) zu haben.

[0035] Zur Veranschaulichung sind die Brennkammer 4 und die Lichtbogenkammer 3 in Fig. 1 längenmäßig vergleichbar dargestellt. In der Praxis ist die Brennkammer 4 zweibis dreimal kürzer als die Lichtbogenkammer 3, denn bei Temperaturen über 3000° C laufen die Verbrennungsvorgänge etwas anders als die übliche Verbrennung ab; sie sind viel schneller und intensiver (G.B. Sinyarev, M.V. Dobrovolskiy, Flüssigkeitstriebwerke, M.: Oborongiz, 1955, S. 62). Die Rekombinationsvorgänge fahren im ausfließenden Strahl F fort, wodurch dessen Abmessungen den genauso leistungsstarken Plasmastrahl des Plasmatrons sowohl der Länge als auch dem Durchmesser nach um das 5- bis 10-fache überschreiten.

[0036] Neben dem plasmabildenden Arbeitskörper und der zweiten Brennstoffkomponente K_1 (Oxidator und Brennstoff) hat das Plasmatron noch Kanäle, um andere Komponenten K_2 , K_3 usw. dem ausfließenden Strahl F oder parallel (koaxial) damit zuzuführen.

[0037] Eine dieser Komponenten ist vorgesehen, um die Verbrennungsreaktionen aufrechtzuerhalten, z. B. während der Entfernung von Asphalt-, Harz-, Paraffinablagerungen in Steigrohren in der Oberflächenreinigungszone. Dabei werden Druckluft oder Sauerstoff als K_2 benutzt. Dieses Verfahren wird bei der Außen- und besonders bei der Innenflächenreinigung der Steigrohre wirksam eingesetzt.

[0038] Eine weitere Komponente, die über solche Kanäle zugeführt wird oder werden kann, ist ein Gas oder eine Flüssigkeit, das bzw. die das Brennen unterdrückt oder schädliche Eigenschaften der Verbrennungsprodukte beseitigt (neutralisiert). So wird z. B. die CO-Bildung durch Luft- oder Sauerstoffzugabe unterdrückt. Die Zufuhr von z. B. neutralen Gasen unterdrückt das unerwünschte Brennen von zu entfernenden Verunreinigungen oder beseitigt eventuell entstehende Brandherde. Die Verwendung der ausziehbaren Ansatzdüse 5 erhöht

die Wirksamkeit dieser Maßnahmen.

[0039] Das Plasmatrongehäuse, das Kabel und die Versorgungsleitungen des Plasmatrons sowie die Anschlüsse sind abgedichtet ausgebildet und ermöglichen es, es zur Oberflächenbehandlung unter Wasser zu benutzen. Das Plasmatron wird vor dem Eintauchen eingeschaltet.

[0040] Die Erfinder haben einige Modelle des beschriebenen Lichtbogenplasmatrons zur Oberflächenbehandlung gefertigt und geprüft. Die Prüfungen sowie die Vergleiche mit konventionellen Plasmatronen weisen alle angegebenen Vorteile und positiven Eigenschaften der Erfindung nach.

[0041] Als plasmabildender Arbeitskörper (Oxidator) wurden Luft und reiner Sauerstoff verwendet. Als K_1 -Komponente wurde Propan, Alkohol, flüssiges Paraffin, Dieselöl und Kerosin benutzt.

Patentansprüche

1. Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung mit koaxial und nacheinander angeordneter gekühlter Kathodenbaugruppe, einem Isolator, einem Drallerzeuger eines plasmabildenden Arbeitskörpers, einer Lichtbogenkammer, einer gekühlten Anodenbaugruppe mit einer Düse und einem in der Düse ausgebildeten stabilisierenden Absatz und mit einer Brennkammer,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Querschnitt des stabilisierenden Absatzes tangential Zufuhrkanäle ausgebildet sind, um darüber eine zweite Komponente tangential zum Plasmastrahl zuzuführen, und
dass die zweite Komponente gemeinsam mit dem plasmabildenden Arbeitskörper Brennstoff ist.
2. Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass konzentrisch mit der Strahldüsenmittellinie Zufuhrkanäle ausgebildet sind, um darüber flüssige und/oder dampfförmige und/oder gasförmige Komponenten chemischer Stoffe zuzuführen, so dass diese parallel oder mit dem Strom des Kaltplasmas und der Verbrennungsprodukte schneidend ausfließen können.
3. Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Düse eine Ansatzdüse enthält, die Ausfließöffnungen der Zufuhrkanäle für die Zuführung von chemischen Stoffen dem Plasmatronstrahl oder parallel damit umschließt, und
dass die Ansatzdüse axial schiebbar ist.
4. Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung

nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass es mehr als einen Griff mit Bedienelementen zur Steuerung der Plasmatronparameter und/oder der Bewegung des behandelbaren Werkstücks enthält. 5

5. Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung

nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, 10

dass es an einer Roboter-Handhabungsvorrichtung befestigt und durch Roboter gesteuert ist.

6. Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung

nach Anspruch 1, 15

dadurch gekennzeichnet,

dass es und sein Anschlusskabel abgedichtet sind, ausgenommen von der Düse und zusätzlichen Austrittskanälen, und zur Oberflächenbehandlung unter Wasser eingesetzt werden können. 20

7. Lichtbogenplasmatron zur Oberflächenbehandlung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass als plasmabildender Arbeitskörper ein sauerstoffhaltiger Oxidator benutzt wird und 25

dass in die Brennkammer kohlenwasserstoffhaltiger Brennstoff eingeleitet ist.

30

35

40

45

50

55

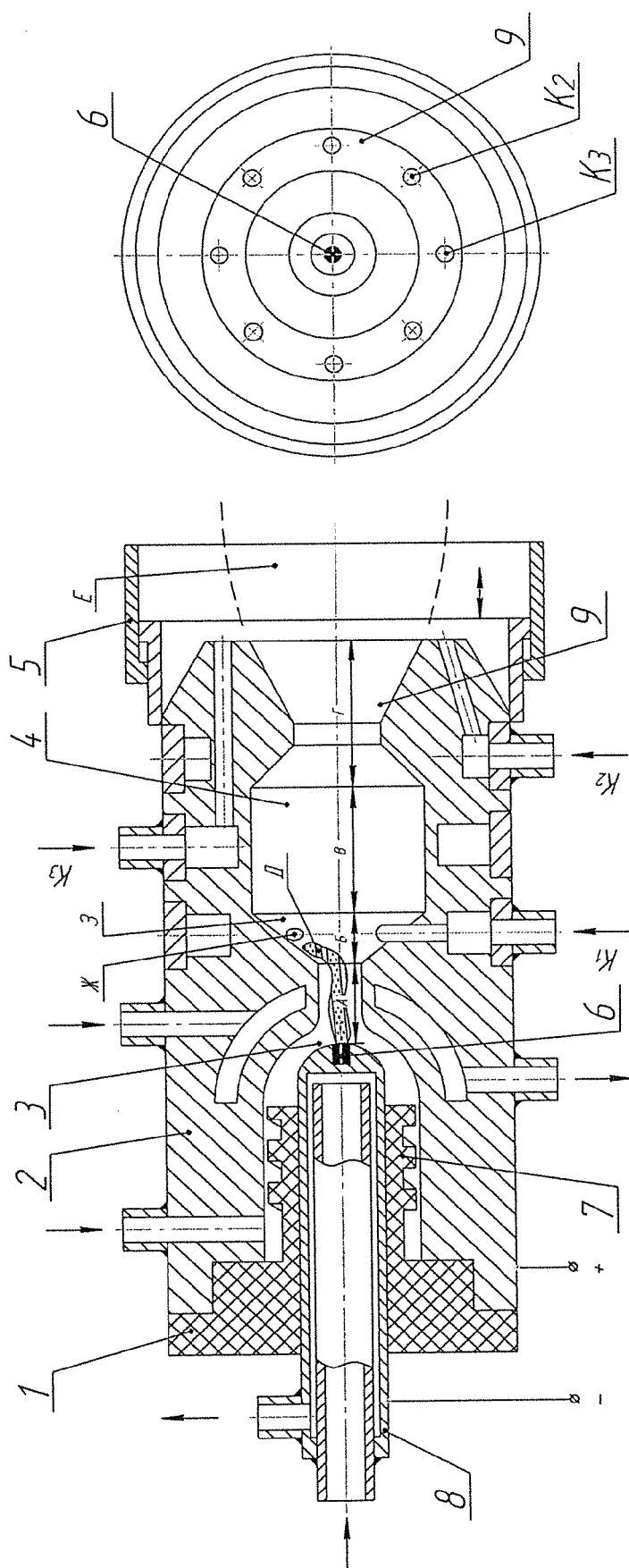


Fig. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 17 16 7209

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 0 474 899 A1 (SHIMADZU TADAHIRO [JP]) 18. März 1992 (1992-03-18) * Abbildungen 1,2,6,7,9 * * Spalte 2, Zeile 53 - Spalte 5, Zeile 43 *	1-7	INV. H05H1/34
X	----- US 3 075 065 A (DUCATI ADRIANO C ET AL) 22. Januar 1963 (1963-01-22) * Abbildungen 1-7 * * Spalte 1, Zeile 10 - Seite 3, Zeile 37 *	1,7	
A	----- US 6 627 004 B1 (LOCKHART DONALD S [US]) 30. September 2003 (2003-09-30) * Abbildungen 1-7 * * Spalte 2, Zeile 62 - Spalte 6, Zeile 30 *	4,5	
A	----- US 4 816 637 A (SANDERS NICHOLAS A [US] ET AL) 28. März 1989 (1989-03-28) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1-3 *	6	
A	----- US 4 421 970 A (COUCH JR RICHARD W [US]) 20. Dezember 1983 (1983-12-20) * Abbildungen 1-2 * * Spalte 2, Zeile 21 - Spalte 4, Zeile 16 *	1-3	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 21. September 2017	Prüfer Clemente, Gianluigi
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 17 16 7209

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

21-09-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	EP 0474899 A1	18-03-1992	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
15	US 3075065 A	22-01-1963	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
	US 6627004 B1	30-09-2003	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
	US 4816637 A	28-03-1989	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
20	US 4421970 A	20-12-1983	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- RU 122603 [0002]
- RU 224716 [0002]
- RU 367980 [0002]
- RU 1113196 [0002]
- RU 1189618 [0002]
- RU 986673 [0002]
- RU 2012694 [0002]
- RU 2021391 [0002]
- RU 2064524 [0002]
- RU 2068029 [0002]
- RU 2074903 [0002]
- RU 2135316 [0002]
- RU 2144096 [0002]
- RU 2165474 [0002]
- RU 2170283 [0002]
- RU 2195517 [0002]
- RU 1590257 [0002]
- US 4950377 A [0002]
- RU 4971667 [0002]
- RU 5246741 [0002]
- GB 2055939 A [0002]
- GB 2164359 A [0002]
- FR 2403860 [0002]
- JP 9248617 B [0002]
- JP 9248618 B [0002]
- JP 10251882 B [0002]
- JP 11077141 B [0002]
- JP 11080893 B [0002]
- EP 0175538 A [0002]
- WO 926965 A [0002]
- WO 9313238 A [0002]
- WO 9700106 A [0002]
- WO 9928520 A [0002]
- RU 2511947 [0002]
- RU 2503885 [0002]
- RU 2466331 [0002]
- RU 2451879 [0002]
- RU 2465748 [0002]
- RU 2431685 [0002]
- RU 2397848 [0002]
- RU 2359433 [0002]
- RU 2456780 [0002]
- RU 2387107 [0002]
- RU 2340125 [0002]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- *Plasmaphysik*, 1978, vol. 4 (4), 425-428 [0002]
- **A.M. ZALESSKIY**. Elektrischer Unterbrechungsbogen. *M-L.: Gos. Energoizdat*, 1963, 25 [0014]
- **KALTPLASMA**. Novosibirsk. Verlag, 2004, vol. 20, 121 [0014]
- **G.B. SINYAREV ; M.V. DOBROVOL'SKIY ; FLÜSSIGKEITSTRIEBWERKE**, **M.** *Gosoboronprom*, 1955, 129 [0016]
- **S.A. KRAPIVINA**. *Plasmachemische Vorgänge*, *Leningrad, Chemie*, 1981, 83 [0016]
- **G.B. SINYAREV ; M.V. DOBROVOL'SKIY ; FLÜSSIGKEITSTRIEBWERKE**, **M.** *Gosoboronizdat*, 1955, 62 [0017]
- **G.B. SINYAREV ; M.V. DOBROVOL'SKIY ; FLÜSSIGKEITSTRIEBWERKE**, **M.** *Gosoboronprom*, 1955, 130 [0019]
- **G.B. SINYAREV ; M.V. DOBROVOL'SKIY ; FLÜSSIGKEITSTRIEBWERKE**, **M.** *Oborongiz*, 1955, 62 [0035]