

(19)



(11)

EP 3 751 967 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
16.12.2020 Patentblatt 2020/51

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

(21) Anmeldenummer: **19180192.7**

(22) Anmeldetag: **14.06.2019**

(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:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **MEHIC, Alen**
4643 Pettenbach (AT)
• **LEONHARTSBERGER, Andreas**
4643 Pettenbach (AT)

(74) Vertreter: **Sonn & Partner Patentanwälte**
Riemergasse 14
1010 Wien (AT)

(71) Anmelder: **FRONIUS INTERNATIONAL GmbH**
4643 Pettenbach (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG DER OBERFLÄCHE VON WERKSTÜCKEN MIT HILFE EINES PLASMASTRAHLS UND PLASMA Brenner ZUR DURCHFÜHRUNG EINES SOLCHEN VERFAHRENS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung der Oberfläche (O) von Werkstücken (W) mit Hilfe eines Plasmastrahls (P) unter Atmosphärendruck und einen Plasmabrenner (1) zur Durchführung eines solchen Verfahrens, mit einer Kathode (2) mit einem freien Ende (2') und einer als Düse (4) mit einer Öffnung (5) ausgebildeten Anode (3), welche mit einer Stromquelle (7) zum Anlegen eines Stromes (I) zur Bildung eines Lichtbogens (L) zwischen dem freien Ende (2') der Kathode (2) und

der Anode (3) verbunden sind, und mit einer Zuleitung (8) zur Einströmung eines Prozessgases (G) in die Düse (4). Zur Verbesserung des Verfahrens und zur Erhöhung der Standzeit der Düse (4) ist vorgesehen, dass die Zuleitung (8) für das Prozessgas (G) in zumindest einem spiralförmigen Gaskanal (6) zwischen Kathode (2) und Düse (4) mündet, sodass der Lichtbogen (L) in der als Düse (4) ausgebildeten Anode (3) um das freie Ende (2') der Kathode (2) rotiert.

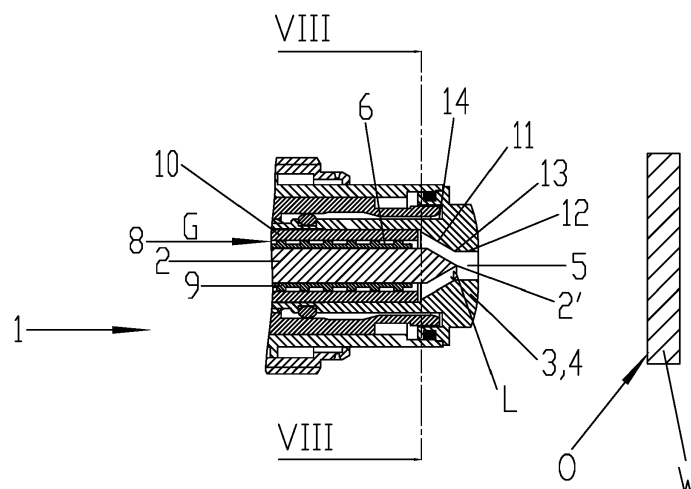


FIG. 2

EP 3 751 967 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung der Oberfläche von Werkstücken mit Hilfe eines Plasmastrahls unter Atmosphärendruck, wobei zwischen einem freien Ende einer Kathode eines Plasma- brenners und einer als Düse mit einer Öffnung ausgebildeten Anode durch Anlegen eines Stromes ein Lichtbogen zwischen dem freien Ende der Kathode und der Anode erzeugt wird, und in die Düse ein Prozessgas eingeströmt wird, und durch Anregung des Prozessgases durch den Lichtbogen der Plasmastrahl gebildet wird, welcher über die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks geführt wird.

[0002] Die Erfindung betrifft weiters einen Plasma- brenner zur Erzeugung eines Plasmastrahls unter Atmosphärendruck zur Bearbeitung der Oberfläche von Werkstücken, mit einer Kathode mit einem freien Ende und einer als Düse mit einer Öffnung ausgebildeten Anode, welche mit einer Stromquelle zum Anlegen eines Stromes zur Bildung eines Lichtbogens zwischen dem freien Ende der Kathode und der Anode verbunden sind, und mit einer Zuleitung zur Einströmung eines Prozessgases in die Düse.

[0003] 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 die Plasmabehandlung In-Line durchführen zu können. Auch die Behandlung von größeren Werkstücken wird durch die dafür notwendigen großen Vakuumkammern rasch unwirtschaftlich.

[0004] Zur Erzeugung eines Plasmastrahls unter Atmosphärendruck wird üblicherweise ein spezielles Prozessgas verwendet (beispielsweise aufbereitete Luft, N_2 , He, Ar), welches im Plasmabrenner durch Zuführen elektrischer Energie in den Plasmazustand gebracht wird. Dieses Plasma wird über eine Düse auf die zu behandelnde Oberfläche des Werkstücks geführt, während der Plasmabrenner mit definiertem Abstand und Geschwindigkeit über die Oberfläche des Werkstücks 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. Die In-Line Fähigkeit und die daraus resultierende, einfache Integrierbarkeit des Prozesses in bestehende Produktionsketten sind die bedeutendsten Vorteile dieses Verfahrens. Einschränkungen ergeben sich bei der Behandlung von Schüttgut und Kleinteilen, sofern sich diese nicht in ausreichendem Maße vor dem Plasmabrenner platzieren lassen.

[0005] Der Lichtbogen des Plasmabrenners brennt zwischen Kathode und als Düse ausgebildeter Anode, man spricht in diesem Fall vom sogenannten "nicht übertragenden Lichtbogen-Betrieb". Derartige Plasmabrenner, welche mit einem nicht übertragenden Lichtbogen (Pilotlichtbogen) betrieben werden, können für Oberflächenbehandlungen in geeigneter Weise eingesetzt werden. Dabei wird mittels Lichtbogen vorbeiströmendes Prozessgas in den plasmaförmigen Zustand überführt. Im Bereich der Düse des Plasmabrenners kommt es zur Ausbildung einer Plasmaflamme. Diese Flamme kann gezielt zur Oberflächenbehandlung verwendet werden. Mögliche Anwendungen sind zum Beispiel die Entfernung organischer Verunreinigungen wie zum Beispiel Ölrückstände sowie Trockenschmierstoffe. Dieses Verfahren hat prinzipiell zwei Wirkmechanismen. Einerseits die Plasma-Aktivierung andererseits die thermische Wirkung des Heißplasmastrahls. Letztere steht hierbei im Vordergrund. Durch die hohen potentiellen Temperaturen können auch Prozesse wie Vorwärmen, Nachwärmen, Entfestigen sowie Aufschmelzen von Beschichtungen realisiert werden.

[0006] Beim gegenständlichen Verfahren wird über eine Stromquelle ein Lichtbogen zwischen einer negativ gepolten Kathode und einer positiv gepolten Anode, welche als Düse ausgebildet ist, gezündet. Das plasmafähige Medium bzw. das Prozessgas wird über eine entsprechende Leitung zum Plasmabrenner geführt und dort durch den Lichtbogen das Plasma erzeugt. Der Plasmastrahl tritt stromlos aus der Düse aus, wo er aufgrund der hohen Energiedichte zum Bearbeiten der Oberfläche von Werkstücken verwendet werden kann.

[0007] Beispielsweise beschreibt die EP 986 939 B1 eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung von Oberflächen, wobei mit geringem apparativen Aufwand eine schnelle und effiziente Bearbeitung größerer Oberflächen von Werkstücken ermöglicht wird, indem ein Rotationskopf vorgesehen ist.

[0008] Ein großer Nachteil bei herkömmlichen Verfahren zur Behandlung der Oberfläche von Werkstücken mit Hilfe eines Plasmastrahls und bei herkömmlichen Plasmabrennern zur Durchführung eines solchen Verfahrens ist der rasche Verschleiß von Komponenten, insbesondere der Düse, der Kathode, aber auch der Isolierhülse zwischen Kathode und Anode, sowie der Spannhülse für die Kathode, des Plasmabrenners und die resultierende geringe Standzeit. Üblicherweise ist es erforderlich, die Düse nach etwa einer Stunde Betriebszeit auszutauschen. Dies bedeutet eine Unterbrechung des Bearbeitungsverfahrens und Zeit und Kosten für den Wechsel der Düse.

[0009] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung eines oben genannten Verfahrens zur Behandlung der Oberfläche von Werkstücken mit Hilfe eines Plasmastrahls unter Atmosphärendruck und eines Plasmabrenners zur Durchführung eines solchen Verfahrens, wodurch eine optimale Bearbeitung über längere Zeiträume gewährleistet werden kann, ohne

dass Verschleißteile, insbesondere die Düse des Plasmabrenners, bereits nach kurzen Bearbeitungszeiten ausgetauscht werden müssen. Nachteile des Standes der Technik sollen verhindert oder zumindest reduziert werden.

[0010] Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe in verfahrensmäßiger Hinsicht dadurch, dass das Prozessgas über zumindest einen spiralförmigen Gaskanal in die Düse geströmt wird, und dadurch der Lichtbogen in der als Düse ausgebildeten Anode um das freie Ende der Kathode rotiert. Durch die erzwungene Rotation des relativ kurzen Lichtbogens innerhalb der als Düse ausgebildeten Anode kann der Lichtbogen nicht lokal an einer Stelle auf der Düse verharren und rotiert ständig um die Öffnung der Düse. Durch das Verhindern eines Verharrens des Lichtbogens an einem Punkt der Anode können übliche lokale Temperaturerhöhungen, welche innerhalb kurzer Zeit zu thermischer Materialschädigung führen würden, verhindert werden. Durch das stetige Rotieren des Lichtbogens um die Öffnung der als Düse ausgebildeten Anode folgt eine gleichmäßige Wärmeverteilung, was zu einer deutlichen Anhebung der Lebensdauer der Düse, aber auch anderer Verschleißteile, wie zum Beispiel einer Spannhülse der Kathode oder einer zwischen Kathode und Anode angeordneten Isolierhülse aus keramischem Material, führt. Anwendungen haben eine Erhöhung der Lebensdauer der Düse von 1 Stunde auf mehr als 24 Stunden ergeben. Die Rotation des Prozessgases wird in einfacher Weise durch spiralförmige Einstromung des Prozessgases über entsprechende Kanäle erzielt. Neben der längeren Lebensdauer der Verschleißteile kann durch die Rotation des Lichtbogens auch ein verringerter Geräuschpegel beim Bearbeitungsverfahren erzielt werden. Durch entsprechende Gestaltung des zumindest einen spiralförmigen Gaskanals kann Einfluss auf die Rotationsgeschwindigkeit des Lichtbogens und somit Einfluss auf den Geräuschpegel bei der Oberflächenbehandlung des Werkstücks genommen werden.

[0011] Der Lichtbogen wird vorzugsweise durch Gleichstrom mit einer Stromstärke zwischen 10 und 500 A, bevorzugt zwischen 35 und 200 A, erzeugt. Die Spannung zur Erzeugung des Lichtbogens liegt üblicherweise im Bereich zwischen 10 V und 30 V.

[0012] Wenn der Lichtbogen durch Anlegen eines gepulsten Stromes erzeugt wird, kann eine verbesserte Reinigungswirkung und eine weitere Verringerung der Verschleißerscheinungen erreicht werden.

[0013] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung wird der Strom mit einer Pulsfrequenz zwischen 1 Hz und 40 kHz gepulst. Durch geeignete Wahl der Pulsfrequenz des Stromes zur Erzeugung des Lichtbogens können die Geräusche des Plasmabrenners während der Oberflächenbearbeitung weiter reduziert werden, indem die Pulsfrequenz in einen Bereich von etwa kleiner 2 kHz oder etwa größer 15 kHz gelegt wird.

[0014] Der Lichtbogen kann durch rechteckige oder sinusförmige Strompulse oder Strompulse mit verschliffe-

nen Kanten erzeugt werden. Dabei bewirken sinusförmige Pulsformen oder andere Pulsformen mit verschliffenen Kanten ebenfalls reduzierte Geräusche beim Erzeugen des Lichtbogens.

[0015] Als Prozessgas kann beispielsweise Argon verwendet werden. Auch der Einsatz von Druckluft ist möglich, was natürlich hinsichtlich der Verfügbarkeit und Kosten Vorteile bringt.

[0016] Das Prozessgas wird beispielsweise mit einem Durchfluss zwischen 5 l/min und 30 l/min, bevorzugt zwischen 7 l/min und 20 l/min, in die Düse eingeströmt. Durch entsprechende Wahl der Durchflussmenge an Prozessgas pro Zeiteinheit kann auch auf die Rotationsgeschwindigkeit des Lichtbogens und die Geräuschentwicklung bei der Plasmabearbeitung Einfluss genommen werden.

[0017] Der Lichtbogen kann mit einer Rotationsgeschwindigkeit zwischen 500 U/min und 3000000 U/min, bevorzugt zwischen 10000 U/min und 300000 U/min, rotieren. Die Rotationsgeschwindigkeit wird durch die Gestaltung des zumindest einen spiralförmigen Gaskanals für das Prozessgas, die Durchflussmenge des Prozessgases, aber auch die Pulsfrequenz des Stromes zur Erzeugung des Lichtbogens beeinflusst.

[0018] Um die Lebensdauer der Düse noch weiter erhöhen zu können, wird die Düse gekühlt, vorzugsweise mit einer Kühlflüssigkeit, wie zum Beispiel Kühlwasser mit entsprechenden Zusätzen.

[0019] Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe auch durch einen oben genannten Plasmabrenner, wobei die Zuleitung für das Prozessgas in zumindest einem spiralförmigen Gaskanal zwischen Kathode und Düse mündet, sodass der Lichtbogen in der als Düse ausgebildeten Anode um das freie Ende der Kathode rotiert. Bezüglich der dadurch verbundenen Vorteile, insbesondere die Erhöhung der Standzeit des Plasmabrenners, wird auf die obige Beschreibung des Verfahrens zur Bearbeitung von Oberflächen von Werkstücken verwiesen. Wie bereits oben erwähnt, kann durch diese relativ einfache und kostengünstige konstruktive Maßnahme der Verschleiß, insbesondere der Düse des Plasmabrenners, aber auch einer Spannhülse für die Kathode und einer Isolierhülse zwischen Kathode und Anode wesentlich reduziert und die Standzeit wesentlich erhöht werden. Der zumindest eine spiralförmige Gaskanal kann auf der Kathode, einer Spannhülse für die Kathode, auf einer Isolierhülse zwischen Kathode und Anode und bzw. oder auf der Innenseite der Anode angeordnet sein.

[0020] Gemäß einem Merkmal der Erfindung ist die Kathode in einer zumindest teilweise aus elektrisch leitfähigem Material, bevorzugt Metall, gebildeten Spannhülse angeordnet und der zumindest eine spiralförmige Gaskanal am Mantel der Spannhülse integriert. Dies stellt eine besonders einfache und kostengünstige Realisierungsmöglichkeit für den zumindest einen spiralförmigen Gaskanal dar. Insbesondere eine Anordnung zumindest eines spiralförmigen Gaskanals an der Außenseite der Spannhülse, welche zumindest teilweise aus

Metall, wie zum Beispiel Messing oder Kupfer gebildet ist, ist besonders einfach und kostengünstig herstellbar.

[0021] Um die Spannhülse mit dem zumindest einen spiralförmigen Gaskanal am Mantel kann eine zylindrische Isolierhülse aus dielektrischem Material, insbesondere aus Keramik, angeordnet sein. Der zumindest eine spiralförmige Gaskanal kann auch oder zusätzlich in dieser Isolierhülse angeordnet sein. Die Anordnung des zumindest einen spiralförmigen Gaskanals auf der keramischen Isolierhülse ist gegenüber einer Anordnung an der Spannhülse der Kathode oder der Kathode selbst aufwändiger, kann aber für bestimmte Anwendungen Vorteile bringen.

[0022] Die Öffnung der Düse kann nach außen unsteifig verjüngend ausgebildet sein, vorzugsweise einen kegelförmigen Abschnitt und eine vorzugsweise zylindrische Mündung aufweisen, wobei innerhalb des verjüngend ausgebildeten Übergangs, insbesondere dem Übergang des kegelförmigen Abschnitts zur zylindrischen Mündung, eine ringförmige Kante gebildet ist, entlang welcher Kante der Lichtbogen rotiert. Die ringförmige Kante in der Öffnung der Düse unterstützt die Stabilität des Lichtbogens und dessen Rotation. Als weitere Ausführung kann statt der ringförmigen Kante eine definierte Fläche ausgeführt werden.

[0023] Wenn der zumindest eine spiralförmige Gaskanal im Wesentlichen bis zur ringförmigen Kante der Öffnung der Düse angeordnet ist, können optimale Ergebnisse in Bezug auf die Rotation des Lichtbogens während des Betriebs des Plasmabrenners erzielt werden.

[0024] Das Ende des zumindest einen spiralförmigen Gaskanals ist vorzugsweise zwischen 0 mm und 15 mm von der ringförmigen Kante der Düse beabstandet. Derartige Abmessungen haben sich als besonders geeignet herausgestellt.

[0025] Um die Düse kann ein vorzugsweise ringförmiger Kühlkanal angeordnet sein. Die Plasmadüse ist höchsten Temperaturen ausgesetzt, weshalb es notwendig ist diese optimal zu kühlen. Als Kühlmedium eignet sich insbesondere Kühlwasser mit allfälligen Zusätzen. Durch eine bessere Kühlung kann die Lebensdauer der Düse, aber auch anderer Komponenten des Plasmabrenners noch weiter erhöht werden.

[0026] Eine verbesserte Kühlwirkung kann dadurch erzielt werden, dass der Kühlkanal Verengungen aufweist, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmediums, insbesondere der Kühlflüssigkeit an den Verengungen erhöht wird. Durch derartige spezielle Veränderungen des Kühlquerschnitts im Plasmabrenner wird eine Erhöhung der Kühlwasserströmung im Bereich höchster Temperatureinwirkung erreicht, welche zu einem beschleunigten Abtransport der Wärme im Bereich der Düse führt.

[0027] Die Verengungen werden beispielsweise durch Begrenzungen des Kühlkanals auf einer Seite durch eine zylindrische Kontur und auf der anderen Seite durch eine mehreckige, insbesondere sechseckige Kontur gebildet. Dies stellt eine besonders einfache Realisierungsmög-

lichkeit für einen ringförmigen Kühlkanal mit darin angeordneten Verengungen dar.

[0028] Der zumindest eine Kühlkanal ist bevorzugter Weise im Wesentlichen bis zur ringförmigen Kante der Öffnung der Düse angeordnet. Dadurch wird insbesondere am vorderen Ende des Plasmabrenners die entstandene Wärme optimal abgeführt.

[0029] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung können ein bis sechs, bevorzugt zwei bis fünf spiralförmige Gaskanäle im Plasmabrenner angeordnet sein.

[0030] Die Höhe des Bereichs des zumindest einen spiralförmigen Gaskanals beträgt vorzugsweise zwischen 3 mm und 50 mm, bevorzugt zwischen 10 mm und 30 mm.

[0031] Der zumindest eine spiralförmige Gaskanal kann eine Steigung zwischen 5° und 80°, bevorzugt zwischen 10° und 60°, aufweisen. Dabei muss die Steigung des zumindest einen Gaskanals nicht zwingend konstant sein, sondern kann über den Verlauf auch Änderungen aufweisen.

[0032] Der zumindest eine spiralförmige Gaskanal kann einen Querschnitt zwischen 0,5 mm² und 5 mm², bevorzugt zwischen 0,5 mm² und 2 mm², aufweisen.

[0033] Die Tiefe des zumindest einen spiralförmigen Gaskanals kann zwischen 0,25 mm und 2 mm, bevorzugt zwischen 0,3 mm und 1 mm, betragen.

[0034] Schließlich kann der zumindest eine spiralförmige Gaskanal eine Breite zwischen 0,5 mm und 4 mm, bevorzugt zwischen 2 mm und 3 mm, aufweisen.

[0035] Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigen:

- Fig. 1 den schematischen Aufbau eines Plasmabrenners zur Erzeugung eines Plasmastrahls zur Behandlung der Oberfläche von Werkstücken;
- Fig. 2 ein Schnittbild eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners;
- Fig. 3 eine Ausbildung einer Spannhülse für die Kathode mit einem spiralförmigen Gaskanal;
- Fig. 4 das Detail IV des Gaskanals in der Spannhülse aus Fig. 3 in vergrößerter Darstellung;
- Fig. 5 eine Isolierhülse mit daran angeordneten spiralförmigen Gaskanal;
- Fig. 6 eine Variante einer Isolierhülse eines Plasmabrenners mit daran angeordnetem spiralförmigen Gaskanal;
- Fig. 7 eine Kathode mit einem an der Außenseite angeordneten spiralförmigen Gaskanal;
- Fig. 8 ein schematisches Schnittbild durch den Plasmabrenner gemäß Fig. 2 entlang der Schnittlinie VIII-VIII; und
- Fig. 9 einen zeitlichen Verlauf eines pulsartigen Gleichstromes zur Erzeugung des Lichtbogens.

[0036] In Fig. 1 ist der schematische Aufbau eines Plasmabrenners 1 zur Erzeugung eines Plasmastrahls P unter Atmosphärendruck zur Behandlung der Oberflä-

che O von Werkstücken W dargestellt. Der Plasmabrenner 1 weist eine Kathode 2 mit einem freien Ende 2' und eine als Düse 4 mit einer Öffnung 5 ausgebildete Anode 3 auf. Die Kathode 2 und die Anode 3 sind mit einer Stromquelle 7 zum Anlegen eines Stromes I verbunden. Durch das Anlegen eines geeigneten Stromes I, wie eines Gleichstromes I_{DC} , oder eines mit einer bestimmten Pulsfrequenz f_p gepulsten Gleichstromes I_{DC} mit einer ausreichenden Stromstärke bzw. Amplitude wird zwischen dem freien Ende 2' der Kathode 2 und der Anode 3 ein Lichtbogen L gezündet, beispielsweise mit einer Hochfrequenz-Zündung. Über eine Zuleitung 8 wird ein plasmafähiges Prozessgas G, beispielsweise Argon oder auch Druckluft, in die Düse 4 eingeströmt, wo durch die Anregung mit dem nichtübertragenen Lichtbogen L ein Plasmastrahl P erzeugt wird, der durch die Öffnung 5 der Düse 4 auf die Oberfläche O des zu behandelnden Werkstücks W gerichtet wird. Durch die auftretenden hohen Temperaturen, insbesondere im Bereich der Öffnung 5 der Düse 4 kommt es zu einer starken Beanspruchung der Düse 4, weshalb deren Lebensdauer sehr begrenzt ist.

[0037] Fig. 2 zeigt ein Schnittbild eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners 1. Der Plasmabrenner 1 weist eine Kathode 2 mit einem freien Ende 2' auf, welche in einer Spannhülse 9 eingespannt ist. Um die Spannhülse 9 ist eine Isolierhülse 10 aus isolierendem Material, insbesondere Keramik, angeordnet. Erfindungsgemäß mündet die Zuleitung 8 für das Prozessgas G in zumindest einem spiralförmigen Gaskanal 6 zwischen Kathode 2 und Düse 4, sodass der Lichtbogen L in der als Düse 4 ausgebildeten Anode 3 um das freie Ende 2' der Kathode 2 rotiert. Der Lichtbogen L rotiert beispielsweise mit einer Rotationsgeschwindigkeit v_r zwischen 500 U/min und 3000000 U/min, bevorzugt zwischen 100000 U/min und 300000 U/min. Der zumindest eine spiralförmige Gaskanal 6 kann an der Außenfläche der Kathode 2, Innen- oder Außenfläche der Spannhülse 9, an der Innen- oder Außenfläche der Isolierhülse 10 und bzw. oder an der Innenseite der Anode 3 angeordnet sein. Vorzugsweise ist der zumindest eine spiralförmige Gaskanal 6 an der Außenseite der Spannhülse 9 angeordnet, da dies am einfachsten und kostengünstigsten herzustellen ist. Die Spannhülse 9 ist zumindest teilweise aus elektrisch leitfähigem Material, bevorzugt Metall, wie zum Beispiel Messing, gebildet. Es können auch mehrere Gaskanäle 6 an verschiedenen Komponenten des Plasmabrenners 1 oder zueinander versetzt angeordnet sein.

[0038] Wenn die Öffnung 5 der Düse 4 nach außen un stetig verjüngend ausgebildet ist, vorzugsweise einen kegelförmigen Abschnitt 11 und eine vorzugsweise zylindrische Mündung 12 aufweist, und innerhalb des verjüngend ausgebildeten Übergangs, insbesondere dem Übergang des kegelförmigen Abschnitts 11 zur zylindrischen Mündung 12, eine ringförmige Kante 13 gebildet ist, wird der Lichtbogen L zwischen dem freien Ende 2' der Kathode 2 und dieser ringförmigen Kante 13 brennen

und entlang dieser ringförmigen Kante 13 rotieren. Der zumindest eine spiralförmige Gaskanal 6 reicht vorzugsweise bis zur ringförmigen Kante 13 der Öffnung 5 der Düse 4.

[0039] Um die Düse 4 des Plasmabrenners 1 kann ein ringförmiger Kühlkanal 14 angeordnet sein, durch welchen ein geeignetes Kühlmedium, insbesondere Kühlwasser mit entsprechenden Zusätzen, geströmt werden. Der zumindest eine Kühlkanal 14 reicht vorzugsweise im Wesentlichen bis zur ringförmigen Kante 13 der Öffnung 5 der Düse 4, um die gerade dort auftretende Wärme optimal abführen zu können (siehe schematisches Schnittbild gemäß Fig. 8 durch den Plasmabrenner 1 entlang der Schnittlinie VIII - VIII).

[0040] Aus Fig. 3 geht eine mögliche Ausbildung einer Spannhülse 9 für die Kathode 2 mit einem spiralförmigen Gaskanal 6 hervor. Es können auch mehrere, beispielsweise zwei bis fünf spiralförmige Gaskanäle 6 versetzt angeordnet sein. Die Höhe h_K des Bereichs des zumindest einen spiralförmigen Gaskanals 6 kann zwischen 3 mm und 50 mm, bevorzugt zwischen 10 mm und 30 mm, betragen. Die Steigung α_K kann zwischen 5° und 80° , bevorzugt zwischen 10° und 60° , betragen. Diese Steigung α_K muss nicht zwingend über die Höhe h_K konstant sein, sondern kann auch bestimmte Änderungen entlang der Höhe h_K besitzen, welche sich auf die Strömung des Prozessgases G und somit auf die Rotation des Lichtbogens L auswirken können. Weiters ist in Fig. 3 die Isolierhülse 10 dargestellt, die entlang der Pfeile über die Spannhülse 9 geschoben wird und die Isolierung zur Düse 4 bewirkt.

[0041] Fig. 4 zeigt das Detail IV des spiralförmigen Gaskanals 6 in der Spannhülse 9 aus Fig. 3 in vergrößerter Darstellung. Dementsprechend weist der Gaskanal 6 eine Tiefe t_K auf, die zwischen 0,25 mm und 2 mm, bevorzugt zwischen 0,3 mm und 1 mm betragen kann. Die Breite b_K des spiralförmigen Gaskanals 6 kann zwischen 0,5 mm und 4 mm, bevorzugt zwischen 2 mm und 3 mm, betragen. Der Querschnitt A_K des zumindest einen Gaskanals 6 liegt im Bereich von $0,5 \text{ mm}^2$ und 5 mm^2 , bevorzugt zwischen $0,5 \text{ mm}^2$ und 2 mm^2 .

[0042] In Fig. 5 ist eine Isolierhülse 10 mit daran angeordneten spiralförmigen Gaskanal 6 dargestellt. Die zwischen Kathode 2 oder Spannhülse 9 und Anode 3 angeordnete Isolierhülse 10 ist aus isolierendem Material, insbesondere Keramik, hergestellt. An der Außenseite der Isolierhülse 10 ist zumindest ein spiralförmiger Gaskanal 6 angeordnet. Theoretisch könnte der Gaskanal 6 auch an der Innenseite der Isolierhülse 10 angeordnet sein, was jedoch herstellungstechnisch aufwändiger ist.

[0043] In Fig. 6 wird eine Variante einer Isolierhülse 10 eines Plasmabrenners 1 mit daran angeordnetem spiralförmigen Gaskanal 6 dargestellt. Die Isolierhülse 10 setzt sich aus zwei Teilen zusammen und ist am oberen Ende und innen aus einem elektrisch isolierenden Material und im unteren Abschnitt außen zumindest teilweise aus elektrisch leitfähigem Material, beispielsweise Kupfer

oder Messing, hergestellt. An der Außenseite dieses Teils der Isolierhülse 10 aus elektrisch leitfähigem Material ist der zumindest eine spiralförmige Gaskanal 6 angeordnet.

[0044] In Fig. 7 ist eine Kathode 2 mit einem zugespitzten freien Ende 2' dargestellt, an dessen Außenseite der spiralförmige Gaskanal 6 ausgebildet ist. Die Kathode 2 besteht aus elektrisch leitfähigem Material, beispielsweise Wolfram, Kupfer oder Messing. Weiters ist in Fig. 7 die Spannhülse 9 dargestellt, die entlang der Pfeile über die Kathode 2 geschoben wird.

[0045] Fig. 8 zeigt ein schematisches Schnittbild durch den Plasmabrenner 1 gemäß Fig. 2 entlang der Schnittlinie VIII-VIII. Zur Erzielung einer Kühlung des Plasmabrenners 1 ist um die Düse 4 ein ringförmiger Kühlkanal 14 angeordnet, durch welchen ein geeignetes Kühlmedium, insbesondere Kühlwasser mit entsprechenden Zusätzen, geleitet wird. Zur Verbesserung der Kühlwirkung weist der ringförmige Kühlkanal 14 vorzugsweise Verengungen 15 auf. Diese Verengungen 15 können einfach durch eine Begrenzung des Kühlkanals 14 auf einer Seite durch eine zylindrische Kontur 16 und auf der anderen Seite durch eine mehreckige, insbesondere sechseckige Kontur 17 gebildet werden. Durch derartige spezielle Verengungen 15 des Kühlkanals 14 im Plasmabrenner 1 wird eine Erhöhung der Kühlwasserströmung im Bereich höchster Temperatureinwirkung erreicht, welche zu einem beschleunigten Abtransport der Wärme im Bereich der Düse 4 des Plasmabrenners 1 führt.

[0046] Schließlich zeigt Fig. 9 einen möglichen zeitlichen Verlauf eines pulsformigen Stromes I zur Erzeugung des Lichtbogens L. Idealerweise wird der Lichtbogen durch einen gepulsten Gleichstrom I_{DC} erzeugt, wobei die Pulsfrequenz f_p entsprechend gewählt wird. Am besten eignen sich rechteckige Pulsformen mit abgeschliffenen bzw. abgerundeten Ecken, da dadurch die Geräusche bei der Erzeugung des Plasmastrahls P minimiert werden können.

[0047] Die vorliegende Erfindung erhöht die Lebensdauer der Verschleißteile des Plasmabrenners 1, insbesondere der Düse 4 durch das Erzwingen einer Rotation des Lichtbogens L zwischen dem freien Ende 2' der Kathode und der Öffnung 5 der Anode 3 wesentlich. Dadurch können Oberflächen O von Werkstücken W länger ohne Unterbrechung bearbeitet werden. Die konstruktiven Maßnahmen zum Vorsehen des zumindest einen spiralförmigen Gaskanals 6 sind relativ einfach und kostengünstig umsetzbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Behandlung der Oberfläche (O) von Werkstücken (W) mit Hilfe eines Plasmastrahls (P) unter Atmosphärendruck, wobei zwischen einem freien Ende (2') einer Kathode (2) eines Plasmabrenners (1) und einer als Düse (4) mit einer Öffnung (5) ausgebildeten Anode (3) durch Anlegen eines Stro-

mes (I) ein Lichtbogen (L) zwischen dem freien Ende (2') der Kathode (2) und der Anode (3) erzeugt wird, und in die Düse (4) ein Prozessgas (G) eingeströmt wird, und durch Anregung des Prozessgases (G) durch den Lichtbogen (L) der Plasmastrahl (P) gebildet wird, welcher über die zu bearbeitende Oberfläche (O) des Werkstücks (W) geführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Prozessgas (G) über zumindest einen spiralförmigen Gaskanal (6) in die Düse (4) geströmt wird, und dadurch der Lichtbogen (L) in der als Düse (4) ausgebildeten Anode (3) um das freie Ende (2') der Kathode (2) rotiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lichtbogen (L) durch Gleichstrom (I_{DC}) mit einer Stromstärke zwischen 10 und 500 A, bevorzugt zwischen 35 und 200 A, erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lichtbogen (L) durch Anlegen eines gepulsten Stromes (I), vorzugsweise mit einer Pulsfrequenz (f_p) zwischen 1 Hz und 40 kHz, erzeugt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lichtbogen (L) durch rechteckige oder sinusförmige Strompulse (I) oder Strompulse (I) mit verschliffenen Kanten erzeugt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Prozessgas (G) Argon in die Düse (4) eingeströmt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Prozessgas (G) mit einem Durchfluss zwischen 5 l/min und 30 l/min, bevorzugt zwischen 7 l/min und 20 l/min, in die Düse (4) eingeströmt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lichtbogen (L) mit einer Rotationsgeschwindigkeit (v_r) zwischen 500 U/min und 3000000 U/min, bevorzugt zwischen 100000 U/min und 300000 U/min, rotiert.

8. Plasmabrenner (1) zur Erzeugung eines Plasmastrahls (P) unter Atmosphärendruck zur Bearbeitung der Oberfläche (O) von Werkstücken (W), mit einer Kathode (2) mit einem freien Ende (2') und einer als Düse (4) mit einer Öffnung (5) ausgebildeten Anode (3), welche mit einer Stromquelle (7) zum Anlegen eines Stromes (I) zur Bildung eines Lichtbogens (L) zwischen dem freien Ende (2') der Kathode (2) und der Anode (3) verbunden sind, und mit einer Zuleitung (8) zur Einströmung eines Prozessgases (G) in die Düse (4), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zuleitung (8) für das Prozessgas (G) in zumindest

einem spiralförmigen Gaskanal (6) zwischen Kathode (2) und Düse (4) mündet, sodass der Lichtbogen (L) in der als Düse (4) ausgebildeten Anode (3) um das freie Ende (2') der Kathode (2) rotiert.

5

9. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kathode (2) in einer zumindest teilweise aus elektrisch leitfähigem Material, bevorzugt Metall, gebildeten Spannhülse (9) angeordnet ist und der zumindest eine spiralförmige Gaskanal (6) am Mantel der Spannhülse (9) integriert ist. 10

10. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** um die Spannhülse (9) mit dem zumindest einen spiralförmigen Gaskanal (6) am Mantel eine zylindrische Isolierhülse (10) aus dielektrischem Material, insbesondere aus Keramik, angeordnet ist. 15

11. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnung (5) der Düse (4) nach außen un stetig verjüngend ausgebildet ist, vorzugsweise einen kegelförmigen Abschnitt (11) und eine vorzugsweise zylindrische Mündung (12) aufweist, wobei innerhalb des verjüngend ausgebildeten Übergangs, insbesondere dem Übergang des kegelförmigen Abschnitts (11) zur zylindrischen Mündung (12), eine ringförmige Kante (13) gebildet ist, entlang welcher Kante (13) der Lichtbogen (L) rotiert. 20
25
30

12. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine spiralförmige Gaskanal (6) im Wesentlichen bis zur ringförmigen Kante (13) der Öffnung (5) der Düse (4) angeordnet ist. 35

13. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** um die Düse (4) ein ringförmiger Kühlkanal (14) angeordnet ist, wobei der ringförmige Kühlkanal (14) vorzugsweise Verengungen (15) aufweist. 40

14. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verengungen (15) durch Begrenzung des Kühlkanals (14) auf einer Seite durch eine zylindrische Kontur (16) und auf der anderen Seite durch eine mehreckige, insbesondere sechseckige Kontur (17) gebildet werden. 45
50

15. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Kühlkanal (14) im Wesentlichen bis zur ringförmigen Kante (13) der Öffnung (5) der Düse (4) angeordnet ist. 55

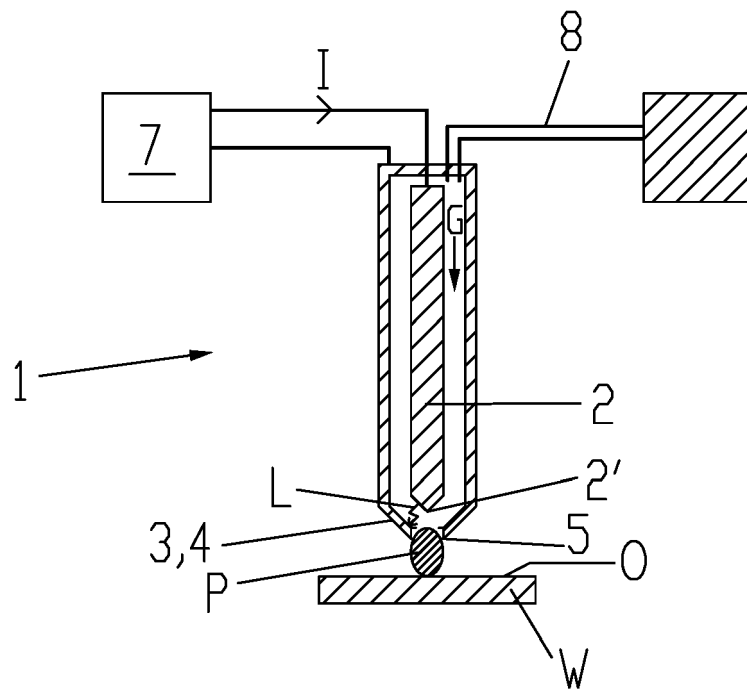


FIG. 1

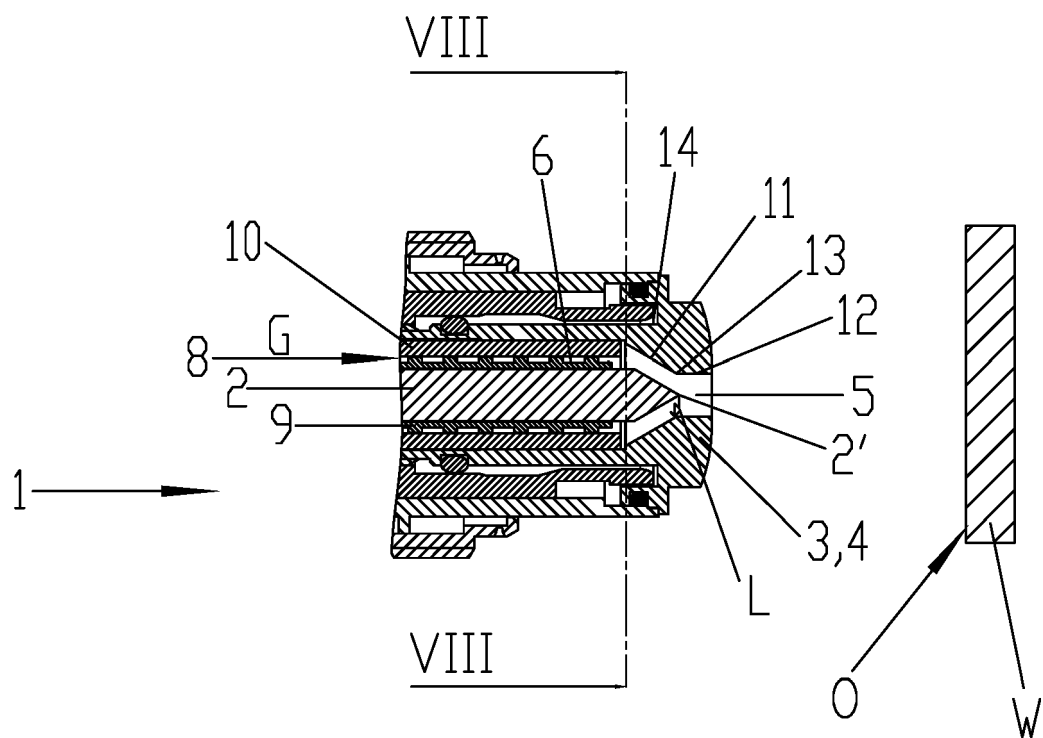


FIG. 2

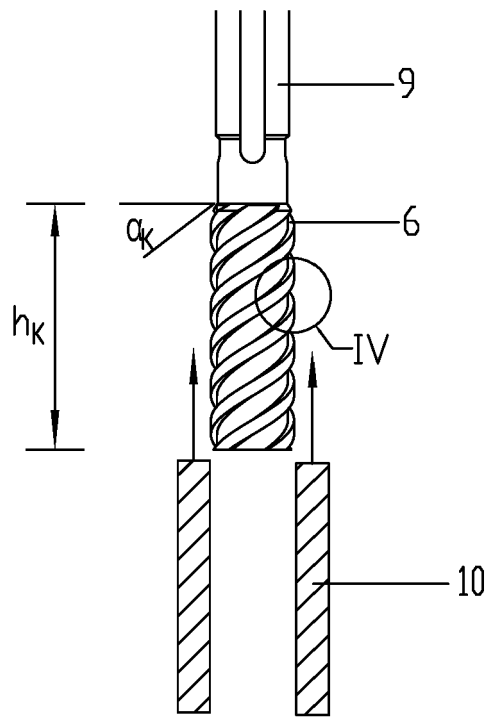


FIG. 3

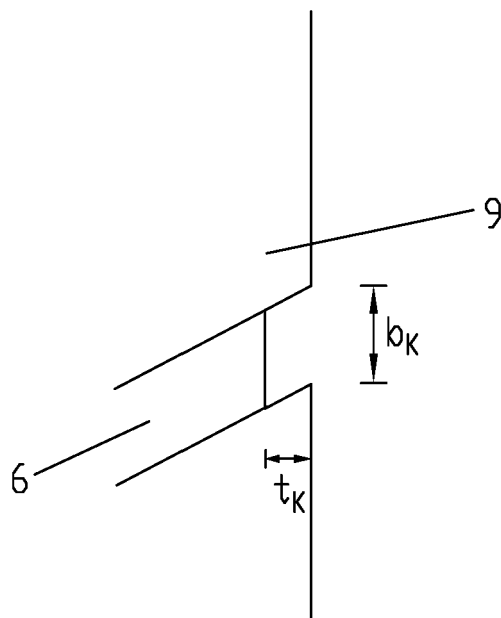


FIG. 4

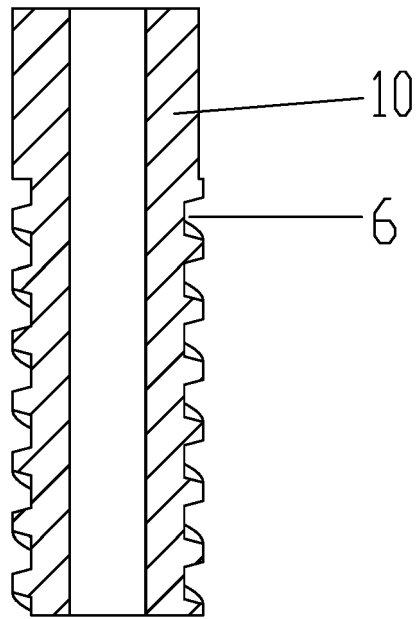


FIG. 5

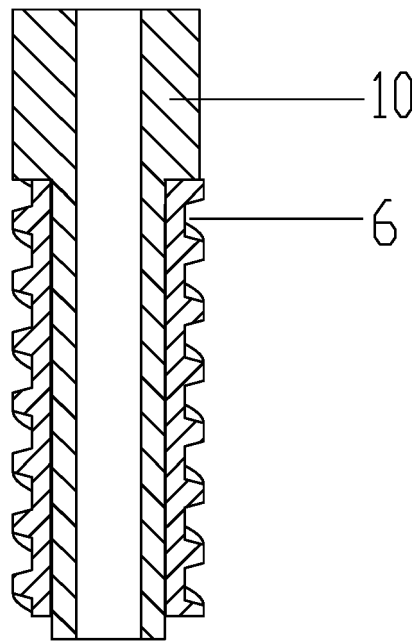


FIG. 6

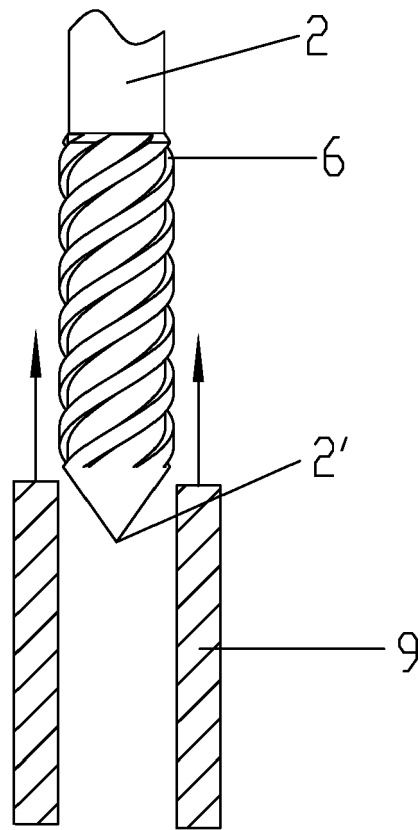


FIG. 7

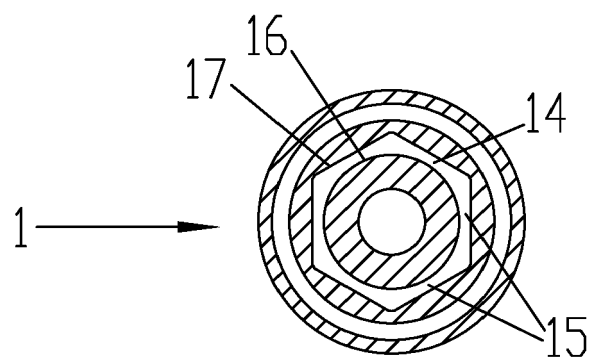


FIG. 8

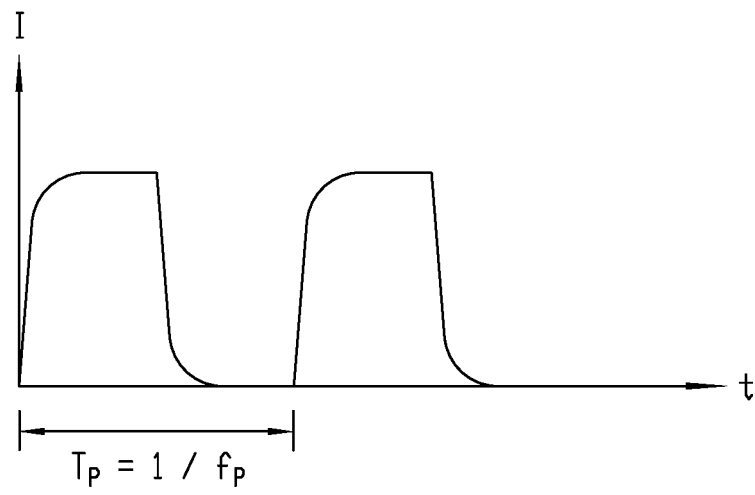


FIG. 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 18 0192

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	FR 1 350 055 A (CENTRE NAT RECH SCIENT) 24. Januar 1964 (1964-01-24)	1-6,8, 11-13,15	INV. H05H1/34
Y	* Zusammenfassung; Abbildungen 1-10 *	7,9,10	
A	* Seite 1, Spalte 1, Absatz 3 *	14	
	* Seite 1, Spalte 2 *		

X	US 4 782 210 A (NELSON DAVID J [US] ET AL) 1. November 1988 (1988-11-01)	1,3,8	
	* Zusammenfassung; Abbildungen 1,2A *		
	* Spalte 3, Zeilen 23-24 *		

X	WO 2017/194635 A1 (PATEL ANIL [GB]; PATEL DIPAM [GB]) 16. November 2017 (2017-11-16)	1,8	
Y	* Seite 5, Zeile 15 - Seite 7, Zeile 7; Abbildungen 1A-1E *	7	

X	GB 2 534 890 A (EDWARDS LTD [GB]) 10. August 2016 (2016-08-10)	1,8	
Y	* Seite 11, Zeilen 4-26; Abbildungen 1,2 *	9,10	

X	US 3 171 010 A (POTTER CHARLES C) 23. Februar 1965 (1965-02-23)	1,8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
	* Abbildung 5 *		H05H

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 10. Dezember 2019	Prüfer Crescenti, Massimo
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 03.82 (P04C03)

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

EP 19 18 0192

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.

10-12-2019

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 1350055 A	24-01-1964	KEINE	
US 4782210 A	01-11-1988	KEINE	
WO 2017194635 A1	16-11-2017	GB 2550176 A WO 2017194635 A1	15-11-2017 16-11-2017
GB 2534890 A	10-08-2016	GB 2534890 A KR 20170003513 U WO 2016124887 A1	10-08-2016 12-10-2017 11-08-2016
US 3171010 A	23-02-1965	KEINE	

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

- EP 986939 B1 [0007]