



(51) Classification internationale des brevets :  
**H05H 1/24** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/IB2009/055571

(22) Date de dépôt international :  
8 décembre 2009 (08.12.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
01932/08 9 décembre 2008 (09.12.2008) CH

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
**ADVANCED MACHINES SÀRL** [CH/CH]; rue Galilée  
2, CH-1400 Yverdon-les-Bains (CH).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :  
**BEGOUNOV, Stanislav** [CH/CH]; Ch. Le Pré Vulliemin  
10B, CH-1400 Cheseaux-Noréaz (CH).  
**GOLOVIATINSKI, Sergey** [UA/CH]; Ch. Des Polonais  
16A, CH-2016 Cortaillod (CH). **TSVETKOVA, Ioulia**  
[CH/CH]; Ch. Le Pré Vulliemin 10B, CH-1400  
Cheseaux-Noréaz (CH).

(74) Mandataire : **GANGUILLET, Cyril**; ABREMA Agence  
Brevets et Marques, Ganguillet, Avenue du Théâtre 16,  
CP 5027, CH-1002 Lausanne (CH).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))

(54) Title : DEVICE AND METHOD FOR GENERATING A PLASMA FLOW

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE GÉNÉRATION D'UN FLUX DE PLASMA

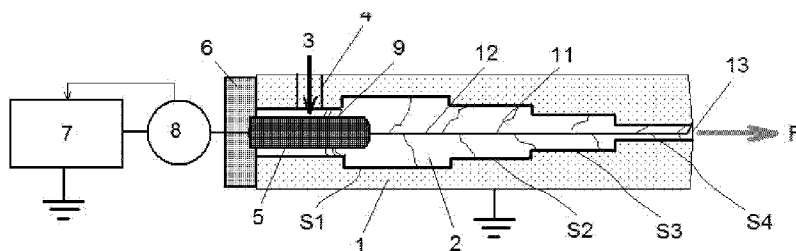


FIG. 1

(57) Abstract : The invention relates to a device (10) generating a plasma flow (F) including a tubular electrically conductive housing (1) forming a central channel (2) crossed by a vortex gas (3), a central electrode (5) coaxially arranged in said channel (2) and an electric power source (7) intended for applying an electric voltage V between the electrode (5) and the housing (1), characterised in that the mean diameter of the channel (2) formed by the housing (1) gradually decreases from an area (9) located substantially level with the free end of the electrode (5) to an end area (13) of said housing (1), said end area (13) being configured such that the minimum electric voltage  $V_{min}(O)$  to be applied in order to generate an electric arc (12) between said electrode (5) and said end area (13) is strictly greater than said voltage V.

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif (10) générateur d'un flux de plasma (F) comprenant un boîtier (1) électriquement conducteur de forme tubulaire formant un canal central (2) traversé par un gaz tourbillonnant (3), une électrode centrale

[Suite sur la page suivante]





---

(5) disposée coaxialement dans ledit canal (2) et une source d'énergie électrique (7) destinée à appliquer une tension électrique  $V$  entre l'électrode (5) et le boîtier (1), caractérisé en ce que le diamètre moyen du canal (2) formé par le boîtier (1) diminue progressivement depuis une zone (9) située sensiblement au niveau de l'extrémité libre de l'électrode (5) jusqu'à une zone d'extrémité (13) dudit boîtier (1), ladite zone d'extrémité (13) étant configurée de telle sorte que la tension électrique minimale  $V_{\min(O)}$  à appliquer pour développer un arc électrique (12) entre ladite électrode (5) et ladite zone d'extrémité (13) soit strictement supérieure à ladite tension  $V$ .

## Dispositif et procédé de génération d'un flux de plasma

### Domaine technique

- 5           La présente invention concerne un dispositif et un procédé de génération d'un flux de plasma possédant une température basse et une puissance relativement importante.

### Etat de la technique

10

- Dans le domaine du traitement des surfaces, il est connu d'utiliser un flux de plasma de manière, notamment, à souder des surfaces ou à découper des surfaces. De telles applications d'un flux de plasma ont notamment été décrites dans le brevet US 3 515 839. Toutefois, dans cet état de la technique, le flux de plasma créé présente une température très élevée. Ce flux de plasma ne convient donc pas au traitement de surfaces sensibles à la chaleur comme le plastique par exemple. Il est également connu d'utiliser un flux de plasma pour traiter des surfaces plastiques de manière à augmenter leur mouillabilité. Une telle application a notamment été décrite dans l'article "Surface Treatment of
- 15           Plastics by Plasmajet", publié au Journal of Adhesion Society of Japan, Volume 6, No. 4, le 2 août 1968. Dans ce document, le flux de plasma est généré en appliquant une tension entre une cathode formée d'une barre en tungstène thorié et une anode formant le corps de la buse plasma. En outre, un flux de gaz argon circule dans l'espace libre séparant l'anode et la cathode de manière
- 20           à développer l'arc électrique formé entre ces deux électrodes jusqu'à une ouverture de sortie de la buse. Toutefois, dans ce document, la température moyenne du jet de plasma est d'environ 5500 °K ce qui est encore trop élevé pour les applications de traitement de surface envisagées par la présente invention.

30

### Divulgation de l'invention

La présente invention vise donc à proposer un dispositif et un procédé

permettant de générer un flux de plasma dont la température est basse tout en ayant une puissance relativement importante.

A cet effet, conformément à l'invention, il est proposé un dispositif générateur d'un flux de plasma comprenant un boîtier électriquement conducteur de forme tubulaire formant un canal central traversé par un gaz tourbillonnant, une électrode centrale disposée coaxialement dans ledit canal et une source d'énergie électrique destinée à appliquer une tension électrique  $V$  entre l'électrode et le boîtier, caractérisé en ce que le diamètre moyen du canal formé par le boîtier diminue progressivement depuis une zone située sensiblement au niveau de l'extrémité libre de l'électrode jusqu'à une zone d'extrémité dudit boîtier, ladite zone d'extrémité étant configurée de telle sorte que la tension électrique minimale  $V_{\min}(0)$  à appliquer pour développer un arc électrique entre ladite électrode et ladite zone d'extrémité soit strictement supérieure à ladite tension  $V$ .

D'autres configurations possibles du dispositif de la présente invention sont également définies dans les revendications 2 à 14.

Ainsi configuré, le dispositif selon l'invention permet de limiter le développement d'un arc électrique à l'intérieur d'un boîtier conducteur à une zone d'extrémité positionnée juste avant l'ouverture du boîtier destinée à délivrer le flux de plasma sur la pièce à traiter. En effet, la zone d'extrémité est configurée de telle sorte à développer un arc électrique avec l'électrode centrale uniquement à partir d'une certaine tension minimale. De ce fait, en appliquant une tension inférieure à ladite tension minimale, l'arc électrique se développe à l'intérieur du canal central du boîtier jusqu'à approcher, voire atteindre, ladite zone d'extrémité, puis se rétracte brusquement en direction de l'électrode centrale. Par la suite, il reprend son développement à l'intérieur du canal en direction de ladite zone d'extrémité jusqu'à ce qu'il se rétracte à nouveau. Cette succession de développement et de rétractation de l'arc électrique génère au final un flux de plasma relativement puissant mais dont la température est suffisamment basse pour permettre son utilisation dans de nombreuses applications de traitement de surface.

L'invention concerne également un procédé de génération d'un flux de plasma tel que défini dans les revendications 15 à 17.

Ainsi configuré, le procédé selon l'invention permet de créer une succession de phases de développement et de phases de rétraction d'un arc électrique à l'intérieur du canal central d'une buse à plasma conventionnelle de manière à générer au final un flux de plasma possédant une faible température et une puissance relativement importante.

#### Brève description des dessins

D'autres avantages et caractéristiques de la présente invention seront mieux compris à la lecture d'un mode particulier de réalisation de l'invention et en référence aux dessins dans lesquels:

- la Figure 1 représente une vue schématique, latérale et en coupe d'un dispositif générateur d'un flux de plasma selon l'invention;
- la Figure 2a représente une vue schématique, latérale et en coupe d'une première variante d'une zone d'extrémité utilisable dans le dispositif représenté à la Figure 1;
- la Figure 2b représente une vue de face de la zone d'extrémité représentée à la Figure 2a;
- la Figure 3a représente une vue schématique, latérale et en coupe d'une deuxième variante d'une zone d'extrémité utilisable dans le dispositif représenté à la Figure 1;
- la Figure 3b représente une vue de dessus de la zone d'extrémité représentée à la Figure 3a;
- la Figure 3c représente une vue de dessus de la zone d'extrémité représentée à la Figure 3a, dans sa position d'utilisation;
- la Figure 4 représente une vue schématique, latérale et en coupe d'une troisième variante d'une zone d'extrémité utilisable dans le dispositif représenté à la Figure 1;

#### Description détaillée d'un mode d'exécution de l'invention

Le dispositif 10, représenté sur la Figure 1, possède un boîtier 1 électriquement conducteur de forme tubulaire, connecté à la terre, comportant

une cavité interne joignant ses deux extrémités, ladite cavité constituant un canal central 2 allongé à l'intérieur duquel circule un gaz tourbillonnant 3. Le gaz 3, par exemple de l'air, est introduit dans le canal central 2 à partir d'une ouverture 4 pratiquée dans la paroi latérale du boîtier 1. Le gaz 3 est amené à

5 tourbillonner au moyen d'un dispositif de tourbillonnement (non représenté) de sorte que le gaz 3 s'écoule à l'intérieur du canal 2 en formant un vortex sensiblement hélicoïdal autour de l'axe longitudinal du canal 2, confondu avec l'axe longitudinal du boîtier 1. A une des extrémités du boîtier 1 est monté un support isolant 6 sur lequel est fixée une électrode centrale 5 en forme de tige,

10 qui pénètre coaxialement dans le canal central 2. Une source de haute tension électrique 7, qui peut fournir selon le cas une tension continue, une tension alternative ou une tension pulsée, est connectée à l'électrode 5 et à la terre. En outre, un dispositif 8 de mesure et de régulation du courant et de la tension électrique connecté entre la source de tension 7 et l'électrode 5 permet de

15 contrôler la tension réelle appliquée entre l'électrode 5 et le boîtier 1. De ce fait, dans la configuration représentée, le boîtier 1, formé d'un métal et connecté lui-même à la terre, sert de contre-électrode de sorte qu'une décharge électrique entre l'électrode 5 et le boîtier 1 peut être provoquée. Cette décharge électrique se produit initialement dans une zone d'ignition 9, laquelle se situe dans

20 l'espace libre entourant l'électrode 5 et délimité par la paroi interne du boîtier 1. La zone d'ignition 9 sera en général positionnée à proximité de l'extrémité libre de l'électrode 5 et en aval de l'ouverture 4 de façon à permettre au gaz 5 de déplacer le long de l'axe du boîtier 1 les micro-arcs électriques 11 formés à chaque décharge. De ce fait, les micro-arcs 11 s'allongent avec le temps sur

25 toute la longueur du canal 2 et, en raison d'une stabilisation par tourbillon du flux de gaz en direction de l'axe du boîtier 1, forment un arc filaire 12 quasi stable joignant l'électrode 5 à une zone d'extrémité 13 du boîtier 1. Cette zone d'extrémité 13 peut s'apparenter par exemple à un canal d'extrémité orienté selon l'axe longitudinal du boîtier 1, ledit canal d'extrémité débouchant sur une

30 extrémité ouverte par laquelle sort le flux de plasma. Elle peut également posséder une forme plus complexe comme nous le verrons plus amplement par la suite en référence aux Figures 2 à 4. Une fois l'arc 12 formé, les micro-arcs 11 se forment entre cet arc 12 et les parois internes du boîtier 1.

La structure de base du dispositif 10 telle que décrite ci-dessus ne permet toutefois pas la génération d'un flux de plasma de faible température. En effet, dans cette structure de base, l'arc électrique 12 se stabilise rapidement. Le flux de plasma est donc généré sans interruption tant qu'une  
5 tension  $V$  est maintenue entre l'électrode 5 et le boîtier 1. Ce mode de fonctionnement induit la formation d'un flux de plasma puissant et particulièrement chaud. En outre, dans cette configuration, le risque est grand que l'arc électrique 12 se forme directement entre l'électrode 5 et l'objet à traiter si ce dernier est métallique. Pour remédier à cela, la Demanderesse a eu l'idée  
10 de limiter le développement de l'arc électrique 12, notamment en provoquant sa rétractation dès qu'il atteint une zone limite à l'intérieur du boîtier 1. Il s'avère que, pour maintenir une puissance suffisante au flux de plasma, il est avantageux de faire coïncider cette zone limite avec la zone d'extrémité 13 mentionnée précédemment.

15 A ce stade, deux solutions peuvent être envisagées pour provoquer une rétractation de l'arc électrique 12.

Une première solution consiste à déterminer d'abord la tension réelle  $V_{\text{max}}$  à partir de laquelle un arc électrique est susceptible de se former entre l'électrode 5 et la zone d'extrémité 13 du boîtier 1. En contrôlant la tension  
20 réelle  $V_r$  au moyen du dispositif 8, il est possible de déterminer à quel moment  $V_r$  atteint la valeur  $V_{\text{max}}$ . Le dispositif 8 est alors capable d'envoyer un signal d'interruption à la source de tension 7 de façon à produire une micro-coupure électrique qui entraîne une rétractation de l'arc 12 jusqu'à la zone d'ignition 9. Par la suite, le rétablissement et le maintien de la tension  $V$  produit à nouveau  
25 l'expansion de l'arc 12 jusqu'à la zone d'extrémité 13 et, par conséquent, à nouveau sa rétraction. En procédant de cette façon, on génère un flux de plasma non équilibré qui se caractérise par une température relativement basse, notamment comprise entre 30 °C et 300 °C.

Une deuxième solution consiste à configurer le dispositif générateur du  
30 flux de plasma de telle sorte qu'une rétraction automatique de l'arc électrique 12 se produise au moment où il atteint ou approche la zone d'extrémité 13. Ce résultat peut notamment être obtenu en utilisant la structure particulière du boîtier 1 représenté sur la Figure 1. Dans cette structure, le boîtier 1 possède

un canal 2 dont la section, ou le diamètre moyen, diminue progressivement depuis la zone d'ignition 9 jusqu'à la zone d'extrémité 13. Cette diminution progressive peut notamment consister à segmenter la paroi interne du boîtier 1 en une série de sections tubulaires successives S1, S2, S3 et S4 de diamètre décroissant et de longueur identique. Or, il a été constaté que cette diminution progressive du diamètre du canal 2 entraîne une augmentation concomitante de la tension de claquage desdites sections S1, S2, S3 et S4, c'est-à-dire de la tension électrique minimale à appliquer pour développer un arc électrique entre l'électrode 5 et lesdites sections tubulaires S1, S2, S3 et S4. De ce fait, en considérant que la section tubulaire S4 correspond à la zone d'extrémité 13 et que la tension de claquage associée à cette section S4 est  $V_{\min}(0)$ , il suffit d'appliquer entre l'électrode 7 et le boîtier 1 une tension  $V$  inférieure à  $V_{\min}(0)$  pour constater que l'arc électrique 12 va se rétracter dès qu'il atteint la zone d'extrémité 13. De façon à maintenir une puissance relativement élevée du flux de plasma, il peut également être avantageux de permettre un développement ininterrompu de l'arc électrique 12 jusqu'à la section S3 située juste avant la zone d'extrémité 13. Pour ce faire, il suffit simplement de choisir la tension  $V$  de manière à ce que  $V$  soit supérieure ou égale à  $V_{\min}(-1)$ ,  $V_{\min}(-1)$  correspondant à la tension de claquage de la section S3.

En référence aux Figures 2a et 2b, il est représenté une variante possible de la zone d'extrémité utilisable dans le dispositif représenté à la Figure 1.

Dans cette variante, la zone d'extrémité 13 définit un canal d'extrémité orienté selon l'axe longitudinal du boîtier 1, ledit canal d'extrémité débouchant sur une extrémité ouverte 14 de forme conique par laquelle sort le flux de plasma. De cette façon, on constate que les micro-arcs 11 sortent du canal d'extrémité 13 en suivant la surface conique de ladite extrémité 14. Cette répartition uniforme des micro-arcs 11 à la surface du cône génère au final un flux de plasma plus large et moins intense qui permet de diminuer encore sa température et permet d'utiliser le dispositif 10 sur un éventail plus large de surfaces. Dans une configuration préférentielle de l'invention, il sera avantageux de configurer l'extrémité ouverte 14 de telle sorte que sa forme conique définisse partiellement une hyperboloïde de révolution et que le rapport



entre le diamètre extérieur du cône et le diamètre de la paroi interne du boîtier 1 au niveau du canal d'extrémité 14 soit compris entre 2 et 20.

En référence aux Figures 3a à 3c, il est représenté une deuxième variante possible de la zone d'extrémité utilisable dans le dispositif représenté à la Figure 1.

Dans cette variante, la zone d'extrémité 13 définit un canal d'extrémité orienté selon l'axe longitudinal du boîtier 1, ledit canal d'extrémité débouchant sur un canal 15 ouvert à ses deux extrémités 16 et formant un angle  $\alpha$  avec l'axe longitudinal du boîtier 1, l'angle  $\alpha$  étant inférieur ou égal à  $90^\circ$ . Dans la configuration représentée, cet angle  $\alpha$  est sensiblement égal à  $90^\circ$ . De cette façon, le flux de plasma F sort du boîtier 1 par deux ouvertures 16 formées sur ses parois latérales et selon une direction transversale à l'axe longitudinal du boîtier 1. Cette configuration permet d'appliquer plus facilement le flux de plasma F à l'intérieur de tubes ou, plus généralement, à l'intérieur d'objets creux. Par ailleurs, comme représenté sur les Figures 3b et 3c, il est également envisageable d'utiliser le dispositif 10 pour traiter des fils 17, ou tout autre objet filiforme tels que des tubes ou des câbles, aptes à être introduits à l'intérieur du canal transversal 15. Ainsi, en passant à travers le canal 15, le fil 17 est en contact avec le flux de plasma F sortant du canal d'extrémité 13. Pour améliorer encore la répartition du flux de plasma F le long de la paroi externe du fil 17, il sera avantageux de décaler l'axe du canal transversal 15 par rapport à l'axe longitudinal du boîtier 1. Cette disposition accroît en effet la propension du flux de plasma F à tourbillonner à l'intérieur du canal transversal 15.

En référence à la Figure 4, il est représenté une troisième variante possible de la zone d'extrémité utilisable dans le dispositif représenté à la Figure 1.

Dans cette variante, la zone d'extrémité 13 définit un canal d'extrémité orienté selon l'axe longitudinal du boîtier 1, ledit canal d'extrémité possédant une pluralité d'ouvertures 18 débouchant sur une pluralité de canaux transversaux 19 orientés de manière sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal du boîtier 1 et dont l'une des extrémités 20 est ouverte. Le flux de plasma F sort donc par chacune desdites extrémités ouvertes 20. Cette

répartition en "peigne" du flux de plasma F permet donc de traiter plus facilement des surfaces larges. Par ailleurs, du fait que le flux de plasma sortant des ouvertures 20 possède une intensité variable selon la position des ouvertures 20 dans le canal d'extrémité 13, il peut être avantageux de pratiquer

5 une ouverture supplémentaire 21 à l'extrémité du canal d'extrémité 13 de façon à laisser sortir partiellement ledit flux de plasma à travers ladite ouverture 21 et ainsi uniformiser l'intensité des flux de plasma sortant des ouvertures 20.

À titre indicatif, divers exemples de réalisation du dispositif de l'invention

10 sont donnés ci-dessous.

#### Exemple 1:

Cet exemple utilise le dispositif de l'invention dans sa configuration représentée sur la Figure 1.

#### 15 Paramètres de fonctionnement:

Source d'énergie	courant continu
Tension électrique appliquée entre l'électrode et le boîtier	3 kV
Gaz porteur	Air
20 Débit du gaz porteur	60 l/min
Pression extérieure	atmosphérique
Diamètre de l'électrode centrale	3 mm
Diamètre du canal central au niveau de la zone d'ignition	4 mm
25 Diamètre de la section S1	8 mm
Diamètre de la section S2	6 mm
Diamètre de la section S3	4 mm
Diamètre de la section S4	2 mm
Longueur de chaque section	35 mm

#### 30 Résultat:

Il se produit une succession de développement-rétractation d'un arc électrique entre l'électrode centrale et la section S4 à la fréquence de 2 kHz.

Exemple 2:

Cet exemple utilise le dispositif de l'invention dans sa configuration représentée sur la Figure 1.

Paramètres de fonctionnement:

5	Source d'énergie	courant continu
	Tension électrique appliquée entre l'électrode et le boîtier	2 kV
	Gaz porteur	N <sub>2</sub> /H <sub>2</sub>
	Débit du gaz porteur	20 l/min
10	Pression extérieure	atmosphérique
	Diamètre de l'électrode centrale	3 mm
	Diamètre du canal central au niveau de la zone d'ignition	4 mm
	Diamètre de la section S1	8 mm
15	Diamètre de la section S2	6 mm
	Diamètre de la section S3	4 mm
	Diamètre de la section S4	2 mm
	Longueur de chaque section	35 mm

Résultat:

- 20 Il se produit une succession de développement-rétractation d'un arc électrique entre l'électrode centrale et la section S4 à la fréquence de 1,5 kHz.

Exemple 3:

Cet exemple utilise le dispositif de l'invention dans sa configuration représentée sur la Figure 2.

Paramètres de fonctionnement:

	Source d'énergie	courant alternatif de fréquence 22 kHz
30	Tension électrique appliquée entre l'électrode et le boîtier	3 kV
	Gaz porteur	Air
	Pression extérieure	atmosphérique
	Débit du gaz porteur	50 l/min

	Diamètre de l'électrode centrale	3 mm
	Diamètre du canal central	
	au niveau de la zone d'ignition	4 mm
	Diamètre de la section S1	8 mm
5	Diamètre de la section S2	6 mm
	Diamètre de la section S3	4 mm
	Diamètre de la section S4	3 mm
	Longueur de chaque section	10 mm
	Diamètre du canal d'extrémité	3 mm
10	Diamètre extérieur du cône	35 mm

Résultat:

Il se produit une succession de développement-rétractation d'un arc électrique entre l'électrode centrale et l'extrémité du cône à la fréquence de 4 kHz.

15 Exemple 4:

Cet exemple utilise le dispositif de l'invention dans sa configuration représentée sur la Figure 3.

Paramètres de fonctionnement:

	Source d'énergie	courant non polaire pulsé
20		de fréquence 40 kHz
	Tension électrique appliquée	
	entre l'électrode et le boîtier	6 kV
	Gaz porteur	Air
	Pression extérieure	atmosphérique
25	Débit du gaz porteur	50 l/min
	Diamètre de l'électrode centrale	3 mm
	Diamètre du canal central	
	au niveau de la zone d'ignition	4 mm
	Diamètre de la section S1	8 mm
30	Diamètre de la section S2	6 mm
	Diamètre de la section S3	5 mm
	Diamètre de la section S4	4 mm
	Longueur de chaque section	15 mm

Diamètre du canal d'extrémité	4 mm
Diamètre du canal transversal	4 mm
Distance entre l'axe longitudinal du boîtier et l'axe du canal transversal	2 mm

5 Résultat:

Il se produit une succession de développement-rétractation d'un arc électrique entre l'électrode centrale et la section S4 à la fréquence de 3 kHz.

Exemple 5:

- 10 Cet exemple utilise le dispositif de l'invention dans sa configuration représentée sur la Figure 4.

Paramètres de fonctionnement:

Source d'énergie	courant non polaire pulsé de fréquence 40 kHz
15 Tension électrique appliquée entre l'électrode et le boîtier	6 kV
Gaz porteur	Air
Pression extérieure	atmosphérique
Débit du gaz porteur	60 l/min
20 Diamètre de l'électrode centrale	3 mm
Diamètre du canal central au niveau de la zone d'ignition	4 mm
Diamètre de la section S1	8 mm
Diamètre de la section S2	6 mm
25 Diamètre de la section S3	5 mm
Diamètre de la section S4	5 mm
Longueur de chaque section	20 mm
Diamètre du canal d'extrémité	5 mm
Longueur canal d'extrémité	150 mm
30 Diamètre des canaux transversaux	1 mm
Distance entre les axes des canaux transversaux	6 mm
Nombre de canaux	20
Diamètre de l'ouverture supplémentaire	1,5 mm

Epaisseur des parois du boîtier

2 mm

Résultat:

- Il se produit une succession de développement-rétractation d'un arc électrique entre l'électrode centrale et le canal d'extrémité à la fréquence de 1 kHz. Cette
- 5 configuration a permis d'obtenir des jets de plasma de densité identique et orientés selon une direction perpendiculaire à l'axe du canal central ce qui permet de traiter des surfaces larges.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif (10) générateur d'un flux de plasma (F) comprenant un boîtier (1) électriquement conducteur de forme tubulaire formant un canal  
5 central (2) traversé par un gaz tourbillonnant (3), une électrode centrale (5) disposée coaxialement dans ledit canal (2) et une source d'énergie électrique (7) destinée à appliquer une tension électrique  $V$  entre l'électrode (5) et le boîtier (1), caractérisé en ce que le diamètre moyen du canal (2) formé par le boîtier (1) diminue progressivement depuis une zone (9) située sensiblement  
10 au niveau de l'extrémité libre de l'électrode (5) jusqu'à une zone d'extrémité (13) dudit boîtier (1), ladite zone d'extrémité (13) étant configurée de telle sorte que la tension électrique minimale  $V_{\min(0)}$  à appliquer pour développer un arc électrique (12) entre ladite électrode (5) et ladite zone d'extrémité (13) soit strictement supérieure à ladite tension  $V$ .
- 15 2. Dispositif (10) selon la revendication 1, caractérisé en ce que la paroi interne du boîtier (1) définit une série de sections tubulaires successives ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ ) de diamètre décroissant, la section tubulaire ( $S_3$ ) située juste avant la zone d'extrémité (13) étant configurée de telle sorte que la tension électrique minimale  $V_{\min(-1)}$  à appliquer pour développer un arc électrique  
20 (12) entre ladite électrode (5) et ladite section tubulaire ( $S_3$ ) soit inférieure ou égale à ladite tension  $V$ .
3. Dispositif (10) selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdites sections tubulaires ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ ) ont la même longueur.
4. Dispositif (10) selon l'une quelconque des revendications  
25 précédentes, caractérisé en ce que ladite zone d'extrémité définit un canal d'extrémité (13) orienté selon l'axe longitudinal du boîtier (1), ledit canal d'extrémité (13) débouchant sur une extrémité ouverte (14) par laquelle sort le flux de plasma (F).
5. Dispositif (10) selon la revendication 4, caractérisé en ce que  
30 ladite extrémité ouverte (14) possède une section de forme conique.
6. Dispositif (10) selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite extrémité ouverte (14) définit partiellement une hyperboloïde de révolution.

7. Dispositif (10) selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que le rapport entre le diamètre extérieur du cône défini par ladite extrémité ouverte (14) et le diamètre de la paroi interne du boîtier (1) au niveau de ladite zone d'extrémité (13) est compris entre 2 et 20.

5 8. Dispositif (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ladite zone d'extrémité définit un canal d'extrémité (13) orienté selon l'axe longitudinal du boîtier (1), ledit canal d'extrémité (13) débouchant sur un canal transversal (15) ouvert à ses deux extrémités (16) et formant un angle  $\alpha$  avec l'axe longitudinal du boîtier (1), l'angle  $\alpha$  étant inférieur  
10 ou égal à 90°.

9. Dispositif (10) selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'angle  $\alpha$  est sensiblement égal à 90°.

10. Dispositif (10) selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que l'axe du canal transversal (15) est décalé par rapport à  
15 l'axe longitudinal du boîtier (1).

11. Dispositif (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ladite zone d'extrémité définit un canal d'extrémité (13) orienté selon l'axe longitudinal du boîtier (1), ledit canal d'extrémité (13) possédant une pluralité d'ouvertures (18) débouchant sur une pluralité de  
20 canaux transversaux (19) orientés de manière sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal du boîtier (1) et dont l'une des extrémités (20) est ouverte.

12. Dispositif (10) selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit canal d'extrémité (13) débouche sur une extrémité ouverte (21) par laquelle sort partiellement le flux de plasma (F).

25 13. Dispositif (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la tension électrique générée par la source d'énergie électrique est choisie dans le groupe constitué par les tensions continues, les tensions pulsées et les tensions alternatives de toute gamme de fréquence.

30 14. Dispositif (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le gaz tourbillonnant (3) est de l'air.

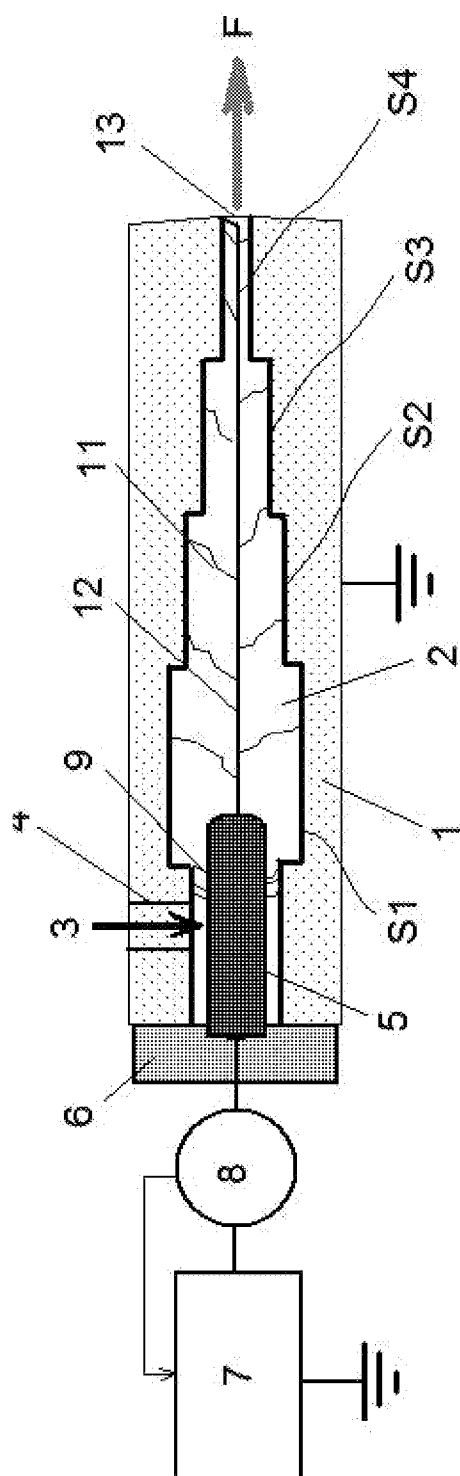


15. Procédé de génération d'un flux de plasma au moyen d'un dispositif générateur d'un flux de plasma tel que défini dans le préambule de la revendication 1, comprenant les étapes suivantes:

- 5 a) application d'une tension électrique  $V$  entre l'électrode (5) et le boîtier (1) de telle sorte à produire un arc électrique (12) entre l'électrode centrale (5) et une zone (9) de la paroi interne du boîtier (1) entourant ladite électrode (5);
- b) maintien de ladite tension électrique  $V$  de manière à développer ledit arc électrique (12) au moyen du gaz tourbillonnant (3) jusqu'à une  
10 zone d'extrémité (13) du canal central (2);
- c) coupure de la tension  $V$  dès que l'arc électrique (12) a atteint ladite zone d'extrémité (13);
- d) reprise des étapes précédentes a), b) et c).

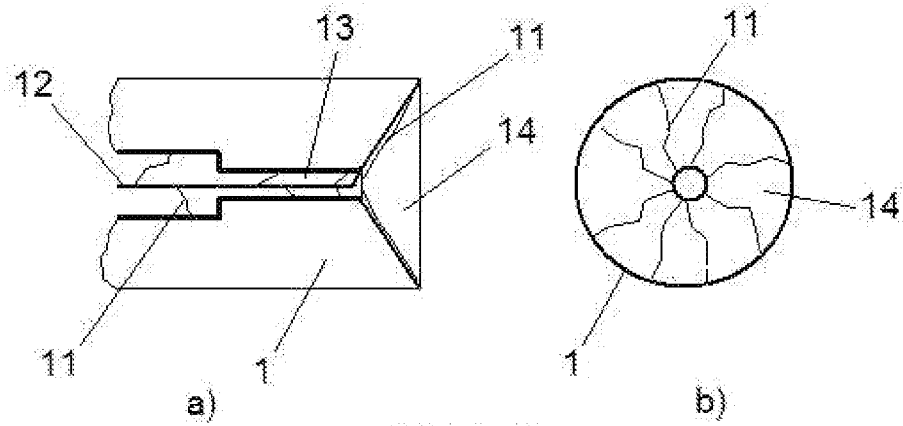
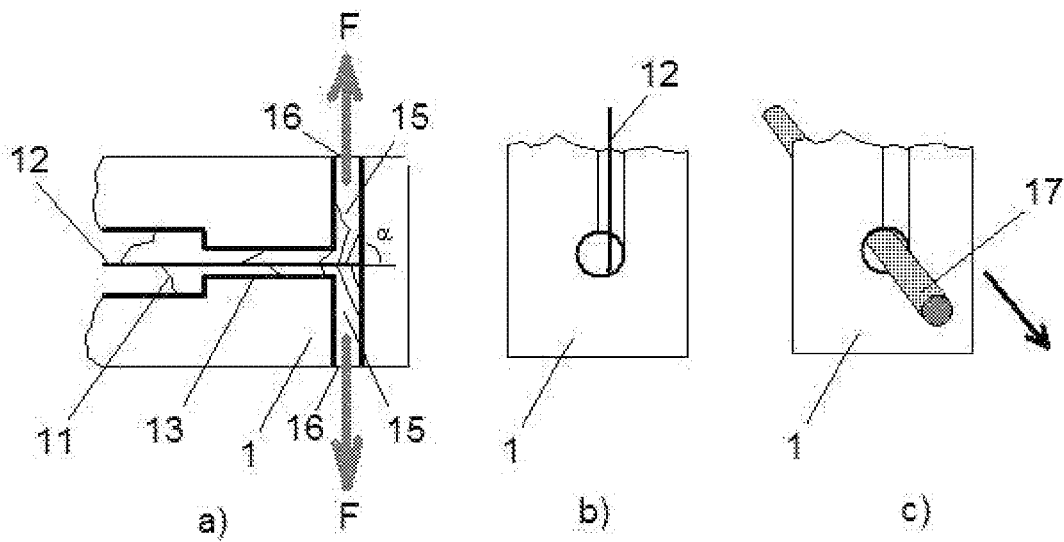
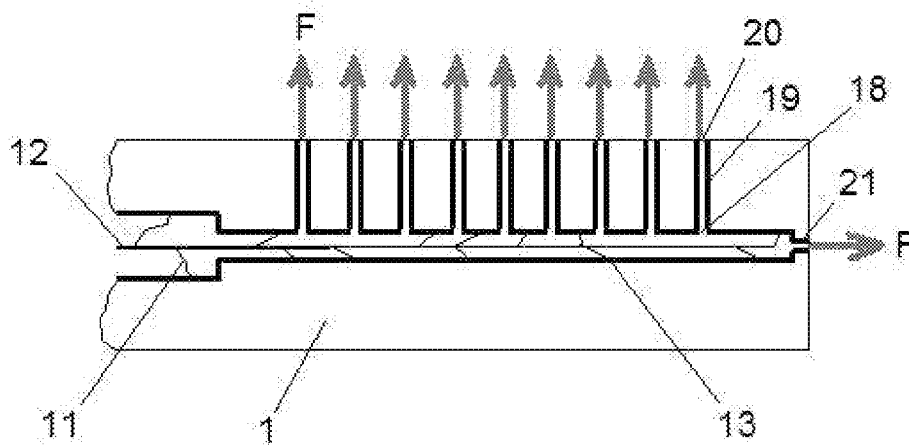
16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'une  
15 mesure de la tension électrique réelle  $V_r$  entre l'électrode (5) et le boîtier (1) est effectuée en continu de telle sorte que, au moment où l'arc électrique (12) atteint ladite zone d'extrémité (13), la tension  $V_r$  est sensiblement égale à une valeur  $V_{cmax}$ .

17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que, à l'étape  
20 c), un moyen d'interruption de la source d'alimentation électrique (7) se déclenche dès que la tension  $V_r$  est sensiblement égale à  $V_{cmax}$ .



**FIG. 1**

2 / 2

FIG. 2FIG. 3FIG. 4