(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 407 012 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
02.08.2017 Bulletin 2017/31

(21) Numéro de dépôt: **10712528.8**

(22) Date de dépôt: **12.03.2010**

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

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/IB2010/051085

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2010/103497 (16.09.2010 Gazette 2010/37)

(54) **TORCHE À PLASMA AVEC INJECTEUR LATÉRAL**

PLASMABRENNER MIT LATERALINJEKTOR

PLASMA TORCH WITH LATERAL INJECTOR

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **12.03.2009 FR 0901158**

(43) Date de publication de la demande:
18.01.2012 Bulletin 2012/03

(73) Titulaire: **Saint-Gobain Centre De Recherches Et D'etudes Europeen**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
- **ALIMANT, Alain**
  F-84140 Montfavet (FR)
- **BILLIERES, Dominique**
  F-84450 Saint Saturnin Les Avignon (FR)

(74) Mandataire: **Nony**
11 rue Saint-Georges
75009 Paris (FR)

(56) Documents cités:
US-A- 3 313 908
US-A- 3 591 759
US-A- 4 649 257
US-A- 5 214 263
US-A- 5 444 209
US-A- 5 591 356
US-A- 5 736 708

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 407 012 B1

Description

Domaine Technique

[0001] L'invention se rapporte à un générateur de plasma et à une torche à plasma mettant en oeuvre un tel générateur de plasma.

Etat de la technique

[0002] La technique de projection par plasma, en anglais "*plasma spraying*", sert classiquement pour former un revêtement sur un substrat. Elle consiste, de manière générale, à produire un arc électrique, à insuffler un gaz plasmagène à travers cet arc électrique de manière à générer un flux de plasma à très haute température et à grande vitesse, puis à injecter dans ce flux de plasma des particules pour les projeter sur le substrat. Classiquement, les particules fondent, au moins partiellement, dans le plasma et peuvent ainsi adhérer efficacement les unes aux autres et sur le substrat lors de leur refroidissement.

[0003] Cette technique peut ainsi être utilisée pour revêtir la surface d'un substrat métallique, céramique, en cermet, en polymère, en matériau organique ou en matériau composite, en particulier à matrice organique. Cette technique est notamment utilisée pour revêtir des pièces de formes variées, présentant par exemple des géométries planes ou de révolution, notamment cylindriques, ou des géométries complexes, ces pièces pouvant être de taille variable, la seule limite étant l'accessibilité par le jet de particules. L'objectif peut être, par exemple, d'apporter au substrat une fonctionnalité de surface telle que la résistance à l'abrasion, la modification du coefficient de frottement, la barrière thermique ou l'isolation électrique.

[0004] Cette technique peut être également utilisée pour fabriquer des pièces massives, par une technique dite de "plasma formage". Grâce à cette technique, il est ainsi possible d'appliquer un revêtement d'une épaisseur de plusieurs millimètres, voire de plus de 10 mm.

[0005] Des torches à plasma, ou "*plasmatrons*", sont par exemple décrites dans WO 96/18283, US 5,406,046, US 5,332,885, WO 01/05198 ou WO 95/35647 ou US5420391 ou US 3,591,759 ou US 5,444,209.

[0006] Les critères de performance d'une torche à plasma en usage industriel peuvent s'établir comme suit :

- une productivité de projection élevée, la productivité de projection étant définie par la quantité de matière déposée par unité de temps,
- un haut rendement de projection, le rendement de projection étant défini par le rapport, en pourcentage massique, entre la quantité de matière déposée et la quantité de matière injectée dans le flux de plasma,
- une qualité maximale pour le revêtement, et en particulier la possibilité de réaliser un dépôt homogène et reproductible, y compris avec un débit de matière élevé,
- une consommation énergétique minimale,
- un temps de maintenance le plus faible et un intervalle de temps entre deux opérations de maintenance consécutives le plus élevé possible, et
- une pollution par perte de matière de la cathode réduite.

[0007] Un objectif de la présente invention est de fournir une torche à plasma satisfaisant, au moins partiellement, ces critères.

Résumé de l'invention

[0008] A cet effet, l'invention propose un générateur de plasma selon la revendication 1.

[0009] La revendication 10 revendique un premier mode de réalisation.

[0010] La revendication 12 revendique un deuxième mode de réalisation. Le rapport R" est de préférence supérieur à 1,25. Les inventeurs ont constaté qu'un générateur de plasma selon l'invention permet de réaliser un dépôt avec une productivité et un rendement très élevés, avec une consommation électrique et une pollution par la cathode limitées.

[0011] En particulier, l'invention conduit à d'excellentes performances lorsque le gaz plasmagène tourne autour de la cathode, en formant un vortex.

[0012] De préférence, un générateur de plasma selon l'invention peut en outre présenter encore une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- Parmi l'ensemble des orifices d'injection du dispositif d'injection, ledit orifice d'injection est celui ou un de ceux présentant la position axiale la plus en aval.
- La distance axiale x est de préférence inférieure à 25 mm, de préférence inférieure à 18 mm et/ou de préférence

supérieure à 5 mm, une distance x d'environ 13 mm étant particulièrement bien adaptée.

- La distance axiale x' est de préférence inférieure à 30 mm, de préférence inférieure à 25 mm et/ou de préférence supérieure à 9 mm, voire supérieure à 15 mm, une distance x' d'environ 20 mm étant particulièrement bien adaptée.
- La distance radiale y_i est de préférence inférieure à 27 mm, de préférence inférieure à 20 mm voire inférieure à 15 mm et/ou de préférence supérieure à 6 mm, voire supérieure à 10 mm, une distance y d'environ 12 mm étant particulièrement bien adaptée.
- La distance axiale x" séparant la position axiale p_{AC} de la position axiale p_A du point le plus en aval de l'anode est de préférence inférieure à 60 mm, de préférence inférieure à 50 mm et/ou de préférence supérieure à 30 mm, une distance x" d'environ 45 mm étant particulièrement bien adaptée.
- Le rapport R'" entre la distance radiale minimale y_{AC} entre l'anode et la cathode à la position axiale p_{AC} et la plus grande dimension transversale D_C de la cathode dans la chambre d'arc est de préférence inférieur à 1,25, de préférence inférieur à 0,5 et de préférence supérieur à 0,1, de préférence supérieur à 0,2, un rapport R'" d'environ 0,3 étant particulièrement bien adapté.
- Le dispositif d'injection comporte une pluralité d'orifices d'injection, au moins une des conditions, et de préférence toutes les conditions, imposées sur les rapports R, R', R", et sur les distances x, x' x" et y, étant vérifiée quel que soit l'orifice d'injection considéré.
- Le dispositif d'injection est un dispositif d'injection de préférence, comme décrit ci-dessous.
- La cathode comporte, à son extrémité libre, une portion conique, de préférence en forme de pointe ou arrondie. L'angle au sommet δ de cette portion conique est de préférence supérieur à 30°, de préférence supérieur à 40° et/ou inférieur à 75°, de préférence inférieur à 60°. La longueur, selon l'axe de la cathode, de la portion conique est de préférence supérieure à 3 mm et/ou inférieure à 15 mm, de préférence inférieure à 8 mm. Le plus grand diamètre de cette portion conique (au niveau de sa base) est de préférence supérieur à 6 mm, de préférence supérieur à 8 mm et/ou inférieur à 14 mm, de préférence inférieur à 10 mm. De préférence, l'extrémité libre de la portion conique est arrondie, le rayon de courbure de cette extrémité étant de préférence supérieur à 1 mm et/ou inférieur à 4 mm.
- La cathode comprend, de préférence immédiatement en amont de la portion conique, une portion cylindrique. La portion cylindrique présente de préférence une longueur supérieure à 5 mm, de préférence supérieure à 8 mm et/ou inférieure à 50mm, de préférence inférieure à 25 mm, de préférence encore inférieure à 20 mm, de préférence inférieure à 15 mm. La portion cylindrique présente de préférence une section circulaire et un diamètre supérieur à 4 mm, de préférence supérieur à 6 mm, de préférence supérieur à 8 mm et/ou inférieur à 20 mm, de préférence inférieur à 14 mm, de préférence encore inférieur à 10 mm. De préférence la portion cylindrique présente un diamètre sensiblement égal au plus grand diamètre de la portion conique, de manière à s'étendre dans la continuité de cette dernière.
- De préférence, la cathode comporte, de préférence immédiatement en amont de la portion cylindrique, une portion tronconique. De préférence, la portion tronconique, s'étend jusqu'au fond (référence 59 sur la figure 2) de la chambre dans laquelle est généré l'arc électrique. De préférence l'angle au sommet y de cette portion tronconique est supérieur à 10°, de préférence supérieur à 30° et/ou inférieur à 90°, de préférence inférieur à 45°. La longueur de la portion tronconique peut être supérieure à 5 mm et/ou inférieure 15 mm De préférence, le plus grand diamètre de la portion tronconique est supérieur à 6 mm, de préférence supérieur à 10 mm et/ou inférieur à 30 mm, de préférence inférieur à 20 mm, de préférence encore inférieur à 18 mm et/ou le plus petit diamètre de ladite portion tronconique est supérieur à 4 mm, de préférence supérieur à 6 mm, de préférence supérieur à 8 mm et/ou inférieur à 20 mm, de préférence inférieur à 14 mm, de préférence encore inférieur à 10 mm. De préférence, ce plus petit diamètre est égal au diamètre de la portion cylindrique, de manière que la portion tronconique s'étende dans le prolongement de la portion cylindrique.
- Dans un mode de réalisation, la longueur de la portion conique est inférieure à la longueur de la portion cylindrique. Le rapport entre la longueur de la portion conique et la longueur de la portion cylindrique peut en particulier être supérieur à 0,5 et/ou inférieur à 1.
- Dans un mode de réalisation, la longueur de la portion cylindrique est sensiblement identique à la longueur de la portion tronconique.
- De préférence, la cathode comporte une portion cylindrique, de préférence de section circulaire, de préférence prolongée coaxialement, dans la chambre d'arc, par une portion conique. De préférence encore, la cathode comporte, coaxialement, une portion tronconique prolongée par une portion cylindrique, de préférence de section circulaire, de préférence prolongée, dans la chambre d'arc, par une portion conique.
- De préférence, la cathode comporte une portion tronconique et au moins un, de préférence tous les orifices d'injection sont disposés selon un ou plusieurs plans transversaux coupant ladite portion tronconique. Dans un mode de réalisation, tous les orifices d'injection appartiennent à un même plan transversal. Ce plan transversal peut être disposé, par exemple, à une distance de la base de la portion tronconique (correspondant au plus grand diamètre de la portion tronconique) comprise entre 30% et 90%, de préférence entre 40% et 70% de la longueur de la portion tronconique.

- La cathode est une cathode à plasma d'arc soufflé, de préférence une cathode chaude de type tige.
- Dans un mode de réalisation, la cathode est monobloc, c'est à dire constituée en un unique matériau. Dans un autre mode de réalisation, la cathode comporte une tige de tungstène et une partie en cuivre, dans laquelle est insérée la tige de tungstène.
- La chambre comporte une partie cylindrique amont et/ou une partie convergente (vers l'aval) intermédiaire et/ou une partie cylindrique aval. La partie convergente intermédiaire peut être notamment tronconique ou comporter plusieurs parties tronconiques, en particulier deux parties tronconiques, s'étendant coaxialement dans le prolongement les unes des autres (c'est-à-dire sans décrochement à la transition entre ces parties tronconiques). De préférence, l'angle au sommet ψ_1 d'une première partie tronconique en amont d'une deuxième partie tronconique est supérieur à l'angle au sommet ψ_2 de ladite deuxième partie tronconique. L'angle au sommet ψ_1 peut être en particulier compris entre 50 et 70°. L'angle au sommet ψ_2 peut être en particulier compris entre 10 et 20°.
- De préférence, la chambre comporte successivement, et coaxialement depuis l'amont vers l'aval, une partie cylindrique amont, une partie convergente intermédiaire et une partie cylindrique aval. De préférence, la longueur de la partie cylindrique amont est supérieure à 5 mm et/ou inférieure à 40mm, de préférence inférieure à 20 mm. De préférence, la longueur de la partie convergente intermédiaire est supérieure à 10 mm et/ou inférieure à 80mm, de préférence inférieure à 40 mm et de préférence supérieure à 20 mm et/ou inférieure à 30 mm. De préférence, la longueur de la partie cylindrique aval est supérieure à 10 mm et/ou inférieure à 80mm, de préférence inférieure à 40 mm et de préférence supérieure à 20 mm et/ou inférieure à 30 mm.
- De préférence, le diamètre de la partie cylindrique amont est supérieur à 10 mm, de préférence supérieur à 15 mm et/ou inférieur à 70 mm, de préférence inférieur à 40 mm, de préférence inférieur à 30 mm.
- Le plus grand diamètre de la partie convergente intermédiaire (base) est supérieur à 15 mm et/ou inférieur à 40 mm, de préférence inférieur à 25 mm. De préférence, le diamètre de la partie cylindrique amont est supérieur au plus grand diamètre de la partie convergente intermédiaire, de sorte qu'il existe un décrochement entre ces deux parties.
- Le plus petit diamètre de la partie convergente intermédiaire est supérieur à 4 mm, de préférence supérieur à 5 mm et/ou inférieur à 20mm, de préférence inférieur à 12 mm, de préférence inférieur à 9 mm.
- Le diamètre de la partie cylindrique aval est supérieur à 4 mm, de préférence supérieur à 5 mm et/ou inférieur à 20mm, de préférence inférieur à 12 mm, de préférence encore inférieur à 9 mm.
- De préférence encore, le plus petit diamètre de la partie convergente intermédiaire est sensiblement égal au diamètre de la partie cylindrique aval, de sorte que la partie cylindrique aval peut s'étendre dans la continuité de la partie convergente intermédiaire.
- La longueur de la partie cylindrique amont est supérieure à la longueur de la portion tronconique de la cathode.
- De préférence encore, la somme de la longueur de la partie cylindrique amont et de la partie convergente intermédiaire est supérieure à la longueur de la cathode dans la chambre. Dans un mode de réalisation, l'extrémité libre de la cathode s'étend sensiblement à mi-longueur de la partie convergente intermédiaire de la chambre. En particulier elle peut s'étendre à une distance, depuis la base de la partie convergente intermédiaire, comprise entre 30 et 70 %, de préférence entre 40% et 60% de la longueur de la partie convergente intermédiaire.

[0013] L'invention concerne également un dispositif d'injection de gaz plasmagène conformé de manière à créer un vortex autour de la cathode, en particulier autour de la partie aval de la cathode qui s'étend dans la chambre d'arc.

[0014] Le dispositif d'injection peut encore comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- Le dispositif d'injection est disposé en amont de la partie de la cathode s'étendant dans la chambre d'arc. Le dispositif d'injection peut en particulier être disposé à l'extrémité amont de la chambre.
- Le dispositif d'injection comporte au moins un conduit d'injection. De préférence, le dispositif d'injection comporte au moins quatre conduits d'injection, voire au moins 8 conduits d'injection.
- Le diamètre de l'orifice d'injection d'un conduit d'injection est de préférence supérieur à 0,5 mm et/ou inférieur à 5 mm, de préférence d'environ 2 mm.
- Un conduit d'injection est disposé de manière que la projection de l'axe d'injection dans un plan radial passant par le centre de l'orifice d'injection dudit conduit d'injection forme un angle α avec l'axe X supérieur à 10°, supérieur à 20° et inférieur à 70° ou inférieur à 60°.
- Un conduit d'injection est disposé de manière que, dans une position assemblée dans laquelle le dispositif d'injection est intégré dans un générateur de plasma d'axe X, la projection de l'axe d'injection dans un plan transversal passant par le centre de l'orifice d'injection dudit conduit d'injection forme un angle β avec un rayon s'étendant dans ledit plan transversal et passant par l'axe X et par le centre dudit orifice d'injection, l'angle β étant inférieur à 45°, de préférence inférieur à 30° et/ou supérieur à 5°, de préférence supérieur à 10°, voire supérieur à 20°.
- Plusieurs conduits d'injection, de préférence tous les conduits d'injection, présentent des mêmes valeurs pour x et/ou x'et/ou α et/ou β.

- Le dispositif d'injection présente la forme d'une couronne, de préférence s'étendant suivant un plan transversal, l'axe de la couronne étant l'axe X.
- Le dispositif d'injection comporte une pluralité d'orifices d'injection répartis équiangulairement autour de l'axe X.

[0015] L'invention concerne également une torche à plasma comportant :

- un générateur de plasma selon l'invention, et
- des moyens d'injection d'une matière à projeter dans un flux de plasma généré par ledit générateur de plasma.

[0016] Les moyens d'injection de la matière à projeter peuvent déboucher à l'intérieur du générateur de plasma, et en particulier dans la chambre d'arc, ou déboucher à l'extérieur du générateur de plasma, en particulier à l'embouchure de la chambre d'arc.

[0017] Lesdits moyens d'injection de la matière à projeter peuvent être agencés de manière à injecter ladite matière à projeter selon un axe s'étendant dans un plan radial (passant par l'axe X) et formant avec un plan transversal à l'axe X un angle θ, en valeur absolue, inférieur à 40°, inférieur à 30°, inférieur à 20°, un angle inférieur à 15° étant bien adapté. Le conduit d'injection peut être rentrant (angle 9 négatif, comme représenté sur la figure 8) par rapport au flux de plasma, sortant (angle θ angle positif), ou être orienté perpendiculairement par rapport à l'axe X du générateur de plasma (θ = 0, comme représenté sur la figure 1).

Brève description des figures

[0018] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui va suivre et à la lecture du dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 représente, en coupe longitudinale, une torche à plasma dans un mode de réalisation selon de l'invention ;
- la figure 2 représente un détail de la figure 1 ;
- les figures 3a et 3b représentent, en coupe longitudinale et en coupe transversale, (suivant le plan A-A représenté sur la figure 3a), un dispositif d'injection de gaz plasmagène mis en oeuvre dans la torche à plasma de la figure 1 ;
- la figure 7a représente en coupe longitudinale un dispositif d'injection de gaz plasmagène mis en oeuvre dans la variante de la torche à plasma selon la figure 6 et les figures 7b et 7c représentent ce dispositif en coupe transversale suivant les plans A-A et B-B représentés sur la figure 7a, respectivement ;
- les figures 4, 5, 6 et 8 représentent, en coupe longitudinale, des variantes de torches à plasma selon l'invention ;
- la figure 9 représente une cathode dans un mode de réalisation préféré ;
- la figure 10 représente une anode dans un mode de réalisation préféré.

[0019] Dans les différentes figures, des références identiques sont utilisées pour désigner des organes identiques ou analogues.

[0020] La description détaillée et le dessin sont fournis à des fins illustratives et non limitatives.

Définitions

[0021] Dans la présente description, les qualificatifs « amont » et « aval » sont utilisés en référence au sens d'écoulement du flux de gaz plasmagène.

[0022] Un « plan transversal » est un plan perpendiculaire à l'axe X.

[0023] Un « plan radial » est un plan contenant l'axe X.

[0024] Par « position axiale », on désigne une position selon l'axe X. Autrement dit, la position axiale d'un point est donnée par sa projection normale sur l'axe X.

[0025] La position axiale p_{AC} de rapprochement radial maximal de l'anode et de la cathode est définie comme la position, sur l'axe X, du plan transversal dans lequel la distance entre l'anode et la cathode est minimale. Cette distance radiale (c'est-à-dire mesurée dans un plan transversal) est appelée « distance radiale minimale » et notée y_{AC} comme représenté sur la figure 2. Si la distance entre l'anode et la cathode est minimale dans plusieurs plans transversaux, la position p_{AC} désigne la position du plan le plus en amont.

[0026] La « chambre » est le volume qui s'étend depuis l'ouverture de sortie par laquelle le plasma sort dudit générateur de plasma vers l'intérieur du générateur de plasma. La chambre est constituée, en amont, d'une « chambre de détente » dans laquelle le gaz plasmagène est injecté, et d'une « chambre d'arc » dans laquelle l'arc électrique est généré. On considère que le plan transversal à la position p_{AC} délimite la frontière entre la chambre de détente et la chambre d'arc.

[0027] La plus grande dimension transversale De de la cathode dans la chambre d'arc est mesurée en ne tenant compte que de la partie de la cathode qui s'étend dans la chambre d'arc. Lorsque, comme dans le mode de réalisation

préféré de l'invention, la cathode comporte, s'étendant dans la chambre d'arc, une portion cylindrique de section circulaire, se terminant par une portion conique formant une pointe, cette dimension transversale correspond au diamètre de la portion cylindrique de la cathode.

[0028] Par "comportant un", on entend, "comportant au moins un", sauf indication contraire.

Description détaillée

[0029] On se reporte à présent à la figure 1.

[0030] Une torche à plasma 10 comporte classiquement un générateur de plasma 20 et des moyens d'injection 21 d'une matière à projeter dans le flux de plasma produit par le générateur de plasma 20.

[0031] Le générateur de plasma 20 comporte une cathode 22 s'étendant selon un axe X et une anode 24 agencés de manière à pouvoir générer, dans une chambre 26, un arc électrique E sous l'effet d'une tension électrique produite au moyen d'un générateur électrique 28. Le générateur de plasma 20 comporte également un dispositif d'injection 30 afin d'injecter un gaz plasmagène G dans la chambre 26.

[0032] Le générateur de plasma peut également comporter une chambre de mise en pression ou d'uniformisation de pression du gaz plasmagène, non représentée, en amont du dispositif d'injection 30.

[0033] Le générateur de plasma 20 comporte enfin un corps 34 permettant de solidariser les autres organes.

[0034] Le corps 34 accueille un support de cathode 36 sur lequel est fixée la cathode 22, un support d'anode 38 sur lequel est fixée l'anode 24 et un corps isolant électriquement 40 interposé entre l'ensemble constitué du support de cathode 36 et de la cathode 22 d'une part et l'ensemble constitué du support d'anode 38 et de l'anode 24 d'autre part, de manière à les isoler électriquement l'un de l'autre.

[0035] Le corps 34 est en général formé de deux coques 34' et 34" qui sont serrées autour des supports d'anode de cathode et du dispositif d'injection comme représenté sur la figure 1. De préférence le corps 34 est monobloc. En particulier, dans un mode de réalisation, le dispositif d'injection constitue avec le support d'anode un corps monobloc, comme représenté par exemple sur la figure 8. Avantageusement, un corps monobloc permet d'améliorer le centrage des pièces par rapport à l'axe de la torche et rend plus facile le montage et le démontage de la torche.

[0036] Le corps isolant électriquement 40 est de préférence constitué d'un matériau résistant au rayonnement du plasma. La nature des moyens utilisés pour l'isolation électrique peut être également adaptée en fonction de la température locale. Par exemple, comme représenté sur la figure 8, une pièce isolante 41 de résistance thermique réduite peut être disposée dans la région qui n'est pas directement exposée au plasma.

[0037] Les supports de cathode 36 et d'anode 38 sont respectivement au même potentiel électrique que la cathode 22 et l'anode 24. Cependant, la cathode 22 et l'anode 24 sont classiquement des pièces d'usure constituées de cuivre et de tungstène alors que les corps de cathode 36 et d'anode 38 sont classiquement en alliage de cuivre.

[0038] Les bornes + et - du générateur électrique 28 sont connectées directement ou indirectement respectivement à l'anode 24 et à la cathode 22. Le générateur électrique 28 est classiquement adapté pour pouvoir créer entre l'anode et la cathode une tension supérieure à 40V et/ou inférieure à 120V.

[0039] La figure 2 montre que la cathode 22, en forme de tige d'axe X, comporte successivement, coaxialement, depuis l'amont vers l'aval, une portion tronconique 45, de diamètre décroissant, une portion cylindrique 46 de section transversale circulaire et une portion conique 48 de sommet arrondi.

[0040] Dans un mode de réalisation, la portion cylindrique présente un diamètre supérieur à 5 mm, supérieur à 6 mm et/ou inférieur à 11 mm, inférieur à 10 mm, un diamètre d'environ 8 mm étant bien adapté.

[0041] Le diamètre de la portion cylindrique 46, noté De, est appelé "diamètre de la cathode", et est de préférence d'environ 8 mm. La position axiale de l'extrémité aval 50 de la cathode 22 est notée ci-après pc.

[0042] La cathode 22 peut être constituée de tungstène, éventuellement dopé avec un dopant permettant d'abaisser le potentiel d'extraction du métal constituant la cathode par rapport à celui du tungstène. Le tungstène peut notamment être dopé par un oxyde de thorium et/ou de lanthane et/ou de cérium et/ou d'yttrium. Ceci permet avantageusement d'augmenter la densité de courant au point de fusion du métal ou de diminuer la température de fonctionnement de quelques centaines de degré °C par rapport à l'emploi d'une cathode en tungstène pur.

[0043] La cathode peut être d'une même matière ou non. Par exemple sur la figure 8, la cathode 22 comporte une tige 22" en tungstène, dopé ou non, et une partie en cuivre 22', pour la fixation au support de cathode.

[0044] L'anode 24 présente la forme d'un manchon d'axe X, dont la surface intérieure 54 comporte successivement, depuis l'amont vers l'aval, une portion tronconique 56 et une portion cylindrique 58, de section circulaire.

[0045] Comme la cathode, l'anode peut être d'une même matière ou non.

[0046] Afin de réduire l'érosion de l'anode par le pied d'arc de la colonne plasma, au moins une partie de la surface intérieure 54 de l'anode, et en particulier en aval de la zone d'amorçage de l'arc (située sur la portion tronconique 56), est réalisée en un métal réfractaire et conducteur, préférentiellement en tungstène.

[0047] La surface intérieure de la portion cylindrique 58 de l'anode peut être également protégée par un revêtement ou une chemise 57, par exemple en tungstène, comme représenté sur la figure 8.

[0048] La position axiale de l'anode 24 est telle qu'une partie de la portion cylindrique 46 et la portion conique 48 de la cathode 22 sont disposées en regard de la portion tronconique 56, c'est-à-dire dans le volume de la chambre 26 délimité radialement par la portion tronconique 56.

[0049] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 1, la position axiale p_{AC} se situe sensiblement au niveau de la jonction entre la portion cylindrique 46 et la portion conique 48 de la cathode 22.

[0050] La chambre 26 comporte successivement, depuis l'amont vers l'aval, une chambre de détente 26' s'étendant axialement depuis le fond 59 de la chambre 26, jusqu'à la position p_{AC}, puis une chambre d'arc 26" s'étendant axialement depuis la position p_{AC} jusqu'à la position p_A d'une ouverture de sortie 60, délimitée par l'extrémité aval de l'anode et par laquelle le plasma sort du générateur de plasma.

[0051] De préférence, le diamètre de l'ouverture de sortie 60 est supérieur à 4 mm, de préférence supérieur à 5 mm et/ou inférieur à 15 mm, de préférence inférieur à 9 mm.

[0052] La chambre 26 peut déboucher par l'ouverture de sortie 60 par l'intermédiaire d'une tuyère s'étendant de préférence selon l'axe X et dont le diamètre peut varier suivant la position de la section transversale considérée, comme représenté par exemple sur la figure 4 ou être constant, comme représenté sur la figure 1.

[0053] Le dispositif d'injection 30, représenté plus en détail sur les figures 3a et 3b, est conformé et disposé de manière à pouvoir créer un flux de gaz tournant autour de la portion cylindrique 46, voire autour de la portion conique 48, de la cathode 22. De préférence, le dispositif d'injection 30 présente la forme d'une couronne d'axe X.

[0054] La paroi latérale 70 de cette couronne est percée de huit conduits d'injection 72, sensiblement rectilignes. Chaque conduit d'injection 72 débouche vers l'intérieur de la couronne par un orifice d'injection 74. Le centre d'un orifice d'injection 74 définit la position axiale p_i et la distance radiale y_i de cet orifice d'injection.

[0055] La section transversale d'un conduit d'injection 72 est sensiblement cylindrique et présente un diamètre D compris entre 0,5 mm et 5 mm.

[0056] La distance radiale y_i entre l'axe X et le centre de l'un quelconque des orifices d'injection est constante. Elle est de préférence supérieure à 10 mm et/ou inférieure à 20 mm, une distance radiale y_i d'environ 12 mm étant bien adaptée.

[0057] Les orifices d'injection 74 sont répartis dans un même plan transversal P (selon la coupe A-A). Ils présentent tous le même diamètre D, la même position axiale $p(=p_i)$ et la même distance radiale, $y(=y_i)$.

[0058] Un conduit d'injection 72 débouche vers l'axe de la couronne, suivant un axe d'injection I_i. Dans un plan radial passant par le centre de l'orifice d'injection 74, la projection de l'axe d'injection I_i forme, avec l'axe X, un angle α de 45°, comme représenté sur la figure 3a.

[0059] Dans un plan de projection transversal, passant par le centre de l'orifice d'injection 74, l'axe d'injection I_i forme, avec un rayon passant par l'axe X et le centre dudit orifice d'injection 74, un angle β de 25°, comme représenté sur la figure 3b.

[0060] Le dispositif d'injection 30 est disposé dans la chambre de détente 26'.

[0061] On note x la distance axiale entre la position axiale p_{AC} de rapprochement radial maximal de la cathode 22 et de l'anode 24 et la position p des orifices d'injection du plan P, le plus en aval. On note R le rapport entre x et le diamètre D_C de la portion cylindrique 46 de la cathode 22 ($R = p_{AC}/D_C$). Dans le mode de réalisation de la figure 1 ou de la figure 2, x est d'environ 15 mm et le rapport R est d'environ 1,88.

[0062] On note x' la distance axiale séparant la position axiale p_C de l'extrémité aval 50 de la cathode 22 et la position p. On note R' le rapport entre x' et le diamètre D_C de la cathode 22 ($R' = x'/D_C$). Dans le mode de réalisation de la figure 1 ou de la figure 2, x' est égal à environ 20 mm et le rapport R' est de 2,5.

[0063] Enfin, on note le rapport R" le rapport entre la distance radiale y entre l'axe X et les conduits d'injection 72 et le diamètre D_C de la cathode 22 ($R" = y/D_C$). Dans le mode de réalisation de la figure 1 ou de la figure 2, y est égal à environ 13 mm et le rapport R" est égal à environ 1,63.

[0064] Sans être liés par une théorie, les inventeurs ont constaté que lorsqu'au moins un des rapports R, R' et R" est conforme à l'invention, les performances de la torche à plasma sont particulièrement remarquables, notamment lorsque le gaz plasmagène est injecté en amont de la cathode, et en particulier injecté de manière à pouvoir tourner autour de la cathode. L'utilisation d'un dispositif d'injection selon l'invention s'est avérée particulièrement avantageuse à cet effet. Selon l'invention, le gaz plasmagène est injecté très proche de l'extrémité aval de la cathode. Le jet de gaz plasmagène est faiblement amorti sur cette courte distance et le gaz plasmagène est également moins réchauffé au moment où il atteint l'arc. Il conserve donc une viscosité élevée facilitant l'entraînement et l'allongement de l'arc et permettant ainsi d'augmenter la puissance du générateur de plasma. De plus, la rotation du gaz autour de la cathode permet également, avantageusement, de limiter l'usure des électrodes.

[0065] Le gaz plasmagène G dont l'écoulement est représenté sur la figure 2 par la flèche F, est de préférence un gaz choisi parmi de l'argon et/ou de l'hydrogène et/ou de l'hélium et/ou l'azote.

[0066] Le générateur de plasma 20 comporte également des moyens de refroidissement aptes à refroidir l'anode 24 et/ou la cathode 22 et/ou le support de cathode 36 et/ou le support d'anode 38. En particulier, ces moyens de refroidissement peuvent comprendre des moyens pour faire circuler un fluide frigorigène, par exemple de l'eau, de préférence

avec un régime turbulent, le nombre de Reynolds définissant le régime turbulent de ce fluide pouvant être de préférence supérieur à 3000, de préférence encore supérieur à 10000.

[0067] Une chambre de refroidissement 76, d'axe X, peut notamment être ménagée dans le support d'anode 38 de manière à autoriser une circulation du liquide frigorigène à proximité de l'anode 24.

[0068] Les moyens de refroidissement peuvent être également communs au corps 34, à l'anode et à la cathode, comme représenté sur la figure 8.

[0069] La torche à plasma 10 comporte, outre le générateur de plasma 20, des moyens d'injection 21 disposés, dans le mode de réalisation représenté, de manière à injecter de la matière particulaire à projeter à proximité de l'ouverture de sortie 60 de la chambre 26. Tous les moyens d'injection classiquement utilisés, à l'intérieur ou à l'extérieur de la chambre d'arc 26", peuvent être envisagés. Ainsi, les moyens d'injection de la matière particulaire à projeter ne sont pas nécessairement extérieurs au générateur de plasma, mais peuvent y être intégrés, comme représenté sur la figure 5.

[0070] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 1, les moyens d'injection 21 sont disposés de manière qu'au moins une partie de la matière à projeter soit injectée vers l'axe X selon un axe formant avec un plan transversal P' un angle θ d'environ 0°. Sur la figure 8, l'angle θ est d'environ 15°.

[0071] La figure 9 représente une variante pour la cathode 22.

[0072] La cathode 22 comporte une tige 22" en tungstène et une partie en cuivre 22', dans laquelle est insérée la tige 22" en tungstène.

[0073] On distingue une partie amont 22a et une partie aval 22b de la cathode, destinées à s'étendre hors de la chambre 26 et dans la chambre 26, respectivement (voir par exemple la figure 2). Dans la suite de la description, seule la partie aval 22b est décrite.

[0074] L'extrémité libre de la partie aval 22b constitue une portion conique 82 en forme de pointe arrondie. Le rayon de courbure de cette extrémité est supérieur à 1 mm et inférieur à 4 mm. L'angle au sommet δ de cette portion conique est d'environ 45°. La longueur L_{82}, selon l'axe de la cathode, de la portion conique 82 est supérieure à 3 mm et inférieure à 8 mm. Le plus grand diamètre D_{82} de cette portion conique (au niveau de sa base) est supérieur à 6 mm et inférieur à 10 mm.

[0075] La cathode 22 comprend, immédiatement en amont de la portion conique 82, une portion cylindrique 84 de section circulaire, présentant un diamètre égal à D_{82}. La portion cylindrique 84 présente une longueur L_{84} supérieure à 5 mm et inférieure à 15 mm.

[0076] La cathode comporte encore, immédiatement en amont de la portion cylindrique 84, une portion tronconique 86. L'angle au sommet γ de cette portion tronconique 86 est supérieur à 30° et inférieur à 45°. La longueur L_{86} de la portion tronconique 86 est supérieure à 5 mm et inférieure 15 mm. Le plus grand diamètre D_{86} de la portion tronconique 86 est supérieur à 6 mm et/ou inférieur à 18 mm. Le plus petit diamètre de ladite portion tronconique 86 est sensiblement égal à D_{82}, de manière que la portion tronconique 86 s'étende dans le prolongement de la portion cylindrique 84.

[0077] De préférence, la cathode est conformée de manière qu'en service, au moins un, de préférence tous les orifices d'injection soient disposés selon un plan transversal Pi coupant ladite portion tronconique 86. Dans un mode de réalisation, est disposé à une distance « z » de la base de la portion tronconique 86 comprise entre 30% et 90% de la longueur L_{86} de la portion tronconique 86.

[0078] La figure 10 représente une variante pour l'anode 24. Cette anode comporte une première partie 24a en cuivre ou en alliage de cuivre et une deuxième partie 24b en tungstène ou en alliage de tungstène. La deuxième partie 24b est insérée dans la première partie 24a de manière à définir avec elle une partie aval de la chambre 26, s'étendant en aval d'une partie cylindrique amont 26a, représentée en traits interrompus, et définie par le dispositif d'injection 30.

[0079] La deuxième partie 24b est en particulier destinée à définir la chambre d'arc.

[0080] La partie aval de la chambre 26 comporte successivement, depuis l'amont vers l'aval, une partie convergente (vers l'aval) intermédiaire 26b et une partie cylindrique aval 26c.

[0081] La partie convergente intermédiaire 26b comporte des première et deuxième parties tronconiques, 26b' et 26b", s'étendant coaxialement dans le prolongement l'une de l'autre. L'angle au sommet ψ_1 de la première partie tronconique 26b' en amont d'une deuxième partie tronconique, compris entre 50 et 70°, est supérieur à l'angle au sommet ψ_2 de ladite deuxième partie tronconique 26b", compris entre 10 et 20°.

[0082] La longueur L_{26a} de la partie cylindrique amont 26a est comprise entre 5 et 20 mm.

[0083] La longueur L_{26b} de la partie convergente intermédiaire 26b est d'environ 24 mm.

[0084] La longueur $L_{26b'}$ de la première partie tronconique 26b' est comprise entre 2 et 10 mm, par exemple d'environ 5 mm.

[0085] La longueur L_{26c} de la partie cylindrique aval 26c est comprise entre 20 et 30 mm.

[0086] Le diamètre D_{26a} de la partie cylindrique amont 26a est supérieur à 10 mm et inférieur à 30 mm.

[0087] Le plus grand diamètre D_{26b} de la partie convergente intermédiaire 26b (base) est d'environ 18 mm.

[0088] Le diamètre D_{26a} de la partie cylindrique amont est supérieur au plus grand diamètre D_{26b} de la partie convergente intermédiaire, de sorte qu'il existe un décrochement 80 entre ces deux parties.

[0089] Le plus petit diamètre d_{26b} de la partie convergente intermédiaire 26b est supérieur à 4 mm et inférieur à 9 mm.

[0090] Le diamètre de la partie cylindrique aval 26c est égal à d_{26b}.

[0091] De préférence, la longueur L_{26a} de la partie cylindrique amont 26a est supérieure à la longueur L_{86} de la portion tronconique 86 de la cathode 24. De préférence encore, la somme (L_{26a} + L_{26b}) de la longueur de la partie cylindrique amont 26a et de la partie convergente intermédiaire 26b est supérieure à la longueur L_{22b} de la cathode 22 dans la chambre 26. Lorsque la cathode 22 est mise en position de service dans la chambre 26 définie par l'anode 22, l'extrémité libre de la cathode s'étend de préférence sensiblement à mi-longueur de la partie convergente intermédiaire de la chambre.

[0092] Le fonctionnement d'une torche à plasma selon l'invention est similaire à celui des torches à plasma selon la technique antérieure. Une tension électrique est créée au moyen du générateur électrique 28 entre la cathode 22 et l'anode 24 de manière à créer un arc électrique E. Du gaz plasmagène G est alors injecté avec un débit typiquement supérieur à 30 l/min et inférieur à 100 l/min, à une température supérieure à 0°C et inférieure à 50°C, et à une pression absolue inférieure à 10 bars au moyen du dispositif d'injection 30 en amont de l'extrémité aval 50 de la cathode 22. Le flux de gaz plasmagène G tourne autour de la cathode 22 en progressant dans la chambre 26 vers l'ouverture de sortie 60. En traversant l'arc électrique E, le gaz plasmagène G se transforme en plasma à très haute température, typiquement à une température supérieure à 8000 K, voire supérieure à 10000 K. Le flux de plasma sort de la chambre 26, sensiblement selon l'axe X, à une vitesse typiquement supérieure à 400 m/s et inférieure à 800 m/s.

[0093] Simultanément, de la matière à projeter, sous forme particulaire, est injectée dans le flux de plasma au moyen des moyens d'injection 21.

[0094] La matière à projeter peut en particulier être une poudre inorganique, métallique et/ou céramique et/ou de cermet, voire une poudre organique, ou éventuellement un liquide tel qu'une suspension ou une solution de la matière à projeter.

[0095] Cette matière est alors entraînée par le flux de plasma et réchauffée, voire fondue par la chaleur du plasma. Lorsque la torche à plasma 10 est orientée vers un substrat, la matière est ainsi projetée contre ce substrat. En refroidissant, elle se solidifie et adhère au substrat.

Exemples

[0096] Les exemples suivants sont fournis à des fins illustratives et ne limitent pas la portée de l'invention.

[0097] Deux torches à plasma T1 et T2, similaires à celle représentée sur la figure 8, ont été comparées à deux torches commerciales disponibles sur le marché, une torche classique de type « F4 » et une torche tri-cathode de dernière génération. Pour les deux torches à plasma de la technique antérieure, les conditions d'utilisation (paramètres électriques, composition de gaz plasmagène , débit d'injection de poudre, distance de tir) correspondent aux conditions nominales préconisées par le fabricant ou à des conditions considérées comme meilleures encore. Les conditions d'utilisation des torches à plasma T1 et T2 ont été choisis de manière à obtenir les meilleures performances possibles.

[0098] Le tableau 1 suivant résume les caractéristiques techniques des torches à plasma testées ainsi que les conditions du test. Les deux torches à plasma commerciales comportent des orifices d'injection de gaz plasmagène débouchant sur le fond de la chambre. Les paramètres dimensionnels définissant le dispositif d'injection du gaz plasmagène selon l'invention ne s'appliquent donc pas à ces deux torches à plasma.

Tableau 1

Torche à plasma	T1	T2	Torche classique de type «F4»	Torche tri-cathode de dernière génération
Position du dispositif d'injection du gaz plasmagène par rapport à la cathode	latérale	latérale	depuis l'arrière	depuis l'arrière

(suite)

Torche à plasma		T1	T2	Torche classique de type «F4»	Torche tri-cathode de dernière génération
Dispositif d'injection du gaz plasmagène	Angle α	45°	45°	Non applicable	Non applicable
	Angle β	25°	0°		
	$x(=p_{AC}-p_i)$	13 mm	13 mm		
	$R(=x/D_C)$	1,6	1,6		
	$x'(=p_C-p_i)$	20 mm	20 mm		
	$R'(=x'/D_C)$	2,5	2,5		
	y	12,5 mm	12,5 mm		
	$R''(=y/D_C)$	1,75	1,75		
Chambre d'arc	Diamètre cathode (D_C)	8 mm	8 mm		
	$R'''(=y_{AC}/D_C)$	0,3	0,3		
	$x''(=p_A-p_{AC})$	43,5 mm	43,5 mm		
	Diamètre ouverture de sortie (canal cylindrique)	6,5 mm	6,5 mm		9 mm
Générateur électrique	Courant électrique (A)	750	700	630	530
	Tension électrique (V)	72	66	68,5	103
	Puissance électrique (kW)	54	46,2	43	55
Gaz plasmagène	Argon (l/min)	50	40	38	30
	Hydrogène (l/min)	16	12	13	0
	Hélium (l/min)	0	0	0	35
Projection de la poudre	Gaz porteur	Ar	Ar	Ar	Ar
	Débit gaz porteur (l/min)	3 x 4 $\pm$ 1	1 x 4,5 $\pm$ 1	3,2	3 x 3,5
	Débit d'injection poudre (g/min)	120	45	40	100
	Distance de tir (distance ouverture de sortie-substrat) (mm)	140	120	110	90
	Diamètre orifice d'injection de la poudre à projeter	2 mm.	2 mm	1,5 mm	1,8 mm
	Distance entre les moyens d'injection de la poudre et l'axe de la torche	9 mm	9 mm	6 mm	6,5 mm
	Angle d'injection par rapport l'axe de la torche	90°	90°	90°	90°
	Composition poudre projetée	Oxyde de chrome		Oxyde de chrome	
	Granulométrie poudre projetée	17-45 μm		17-45 μm	

(suite)

Torche à plasma		T1	T2	Torche classique de type «F4»	Torche tri-cathode de dernière génération
Résultats	Rendement de projection (%)	52	45	40	50
	Productivité (g/min)	62,4	20	16	50
	Consommation énergétique par kg déposé (kWh)	14,4	38,5	44,8	18,3

[0099] Comme cela apparait clairement à présent, une torche à plasma selon l'invention permet d'atteindre un rendement et une productivité particulièrement élevés, pour une consommation énergétique réduite.

[0100] La comparaison des performances des torches à plasma T1 et T2 montre que la torche à plasma T1 permet d'obtenir, à rendement de projection (52%) proche, voire plus élevé (rendement de projection de T2 : 45%), une productivité (supérieure à 62%) plus de trois fois supérieure à celle de la torche à plasma T2 pour laquelle l'angle β est nul (20% environ).

[0101] Des mesures d'usure ont montré que, à puissance équivalente, l'usure des électrodes d'une torche à plasma selon l'invention, en particulier avec les angles α et β tels que décrits ci-dessus, est inférieure à celle des torches classiques, et en particulier à celle des électrodes de la torche à plasma F4. Avantageusement, la contamination en cuivre et/ou en tungstène de la couche déposée en est réduite.

[0102] Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits et représentés.

[0103] En particulier, une torche à plasma selon l'invention peut être de tout type connu, en particulier du type « à plasma d'arc soufflé » ou « à cathode chaude », notamment « à cathode chaude de type tige ».

[0104] Le nombre et la forme des anodes et cathodes ne sont pas limités à ceux décrits et représentés.

[0105] Dans un mode de réalisation, le générateur de plasma comporte plusieurs anodes et/ou plusieurs cathodes, et en particulier au moins trois cathodes. De préférence cependant, le générateur de plasma comporte une seule cathode et/ou une seule anode. Avantageusement, le générateur de plasma est plus facile à piloter.

[0106] La forme de la chambre n'est pas non plus limitative.

[0107] Le dispositif d'injection peut également être différent de celui représenté sur la figure 1. Par exemple, il peut comporter une unique couronne ou plusieurs couronnes.

[0108] Le nombre de conduits d'injection n'est pas limitatif. Leur section n'est pas nécessairement circulaire, et pourrait être, par exemple oblongue ou polygonale, en particulier rectangulaire.

[0109] L'agencement des conduits d'injection pourrait être également différent de celui représenté sur la figure 1. Les conduits d'injection pourraient par exemple s'étendre suivant une hélice ou, de manière générale, être disposés de manière que les orifices d'injection ne soient pas tous dans un même plan transversal. Ils pourraient notamment s'étendre selon deux (comme représenté sur la figure 6), trois, quatre ou plus plans transversaux.

[0110] Dans le dispositif d'injection représenté sur la figure 6 et détaillé dans les figures 7a, 7b et 7c, vingt orifices d'injection 74 sont répartis dans des premier et deuxième plans transversaux, P_1 et P_2.

[0111] Huit orifices d'injection 74_1, équiangulairement répartis autour de l'axe X, s'étendent dans le premier plan transversal P_1. Ils présentent tous un même diamètre D_1 et la même distance radiale, y_1. La projection d'un axe d'injection I_1 d'un orifice d'injection 74_1 dans un plan transversal forme un angle β_1 avec un rayon s'étendant dans ledit plan transversal et passant par l'axe X et par le centre dudit orifice d'injection.

[0112] Les douze autres orifices d'injection 74_2 équiangulairement répartis, s'étendent dans le deuxième plan transversal P_2, en aval de P_1, et présentent un même diamètre D_2, plus grand que D_1, et une même distance radiale y_2, égale à y_1. La projection d'un axe d'injection I_2 d'un orifice d'injection 74_2 dans un plan transversal forme un angle β_2 avec un rayon s'étendant dans ledit plan transversal et passant par l'axe X et par le centre dudit orifice d'injection. L'angle β_2 est inférieur à l'angle β_1.

[0113] De préférence, le rapport de la section cumulée S1 des orifices 74_1 et de la section cumulée S2 des orifices 74_2 (= S1/S2) est compris entre 0,25 et 4,0. On appelle « section cumulée » la somme des aires de toutes les sections transversales d'un ensemble d'orifices.

[0114] Dans un mode de réalisation y_1 pourrait être différent de y_2. Les orifices appartenant à un même plan transversal pourraient également présenter des distances radiales y_i différentes les unes des autres.

[0115] Les orifices d'injection pourraient également être regroupés par groupe de deux, trois ou plus. Ainsi, dans un mode de réalisation, le dispositif d'injection peut comporter quatre couples de trous, lesdits couples étant de préférence répartis équiangulairement.

[0116] Lorsque les orifices d'injection sont disposés dans plusieurs plans transversaux, les orifices d'injection d'un premier plan peuvent être alignés selon la direction de l'axe X ou décalés avec ceux d'un deuxième plan, par exemple décalés angulairement d'un angle constant.

[0117] Dans le dispositif d'injection représenté sur la figure 6 et détaillé dans les figures 7a, 7b et 7c, vingt orifices d'injection 74 sont répartis dans des premier et deuxième plans transversaux, P_1 et P_2.

[0118] Huit orifices d'injection 74_1, équiangulairement répartis autour de l'axe X, s'étendent dans le premier plan transversal P_1. Ils présentent tous un même diamètre D_1 et la même distance radiale, y_1. La projection d'un axe d'injection I_1 d'un orifice d'injection 74_1 dans un plan transversal forme un angle β_1 avec un rayon s'étendant dans ledit plan transversal et passant par l'axe X et par le centre dudit orifice d'injection.

[0119] Les douze autres orifices d'injection 74_2 équiangulairement répartis, s'étendent dans le deuxième plan transversal P_2, en aval de P_1, et présentent un même diamètre D_2, plus grand que D_1, et une même distance radiale y_2, égale à y_1. La projection d'un axe d'injection I_2 d'un orifice d'injection 74_2 dans un plan transversal forme un angle β_2 avec un rayon s'étendant dans ledit plan transversal et passant par l'axe X et par le centre dudit orifice d'injection. L'angle β_2 est inférieur à l'angle β_1.

[0120] De préférence, le rapport de la section cumulée S1 des orifices 74_1 et de la section cumulée S2 des orifices 74_2 (= S1/S2) est compris entre 0,25 et 4,0. On appelle « section cumulée » la somme des aires de toutes les sections transversales d'un ensemble d'orifices.

[0121] Dans un mode de réalisation y_1 pourrait être différent de y_2. Les orifices appartenant à un même plan transversal pourraient également présenter des distances radiales y_i différentes les unes des autres.

[0122] Les orifices d'injection pourraient également être regroupés par groupe de deux, trois ou plus. Ainsi, dans un mode de réalisation, le dispositif d'injection peut comporter quatre couples de trous, lesdits couples étant de préférence répartis équiangulairement.

[0123] Lorsque les orifices d'injection sont disposés dans plusieurs plans transversaux, les orifices d'injection d'un premier plan peuvent être alignés selon la direction de l'axe X ou décalés avec ceux d'un deuxième plan, par exemple décalés angulairement d'un angle constant.

Revendications

1. Torche à plasma comportant :

- un générateur de plasma comportant :

  - une cathode (22) s'étendant selon un axe X et une anode (24), la cathode et l'anode étant disposées de manière à pouvoir générer, dans une chambre (26), un arc électrique entre l'anode et la cathode sous l'effet d'une tension électrique ; et
  - un dispositif d'injection (30) d'un gaz plasmagène comportant un conduit d'injection (72) débouchant, suivant un axe d'injection (I_i), par un orifice d'injection (74) dans la chambre,

- des moyens d'injection d'une matière à projeter dans un flux de plasma généré par ledit générateur de plasma,

la torche à plasma étant **caractérisée en ce que**

- le rapport R" entre :

  - la distance radiale (y_i) dudit orifice d'injection, définie comme la distance minimale entre l'axe X et le centre dudit orifice d'injection,
  - la plus grande dimension transversale (D_C) de la cathode dans la région de la chambre en aval de la position p_{AC}, p_{AC} désignant la position axiale de rapprochement radial maximal de l'anode et de la cathode,

est inférieur à 2,5, et

- la projection de l'axe d'injection (I_i) dans un plan transversal passant par le centre de l'orifice d'injection dudit conduit d'injection forme un angle β inférieur à 45° et supérieur à 5° avec un rayon s'étendant dans ledit plan transversal et passant par l'axe X et par le centre dudit orifice d'injection

la chambre (26) comportant successivement, depuis l'amont vers l'aval, une chambre de détente (26') s'étendant axialement depuis le fond (59) de la chambre (26), jusqu'à la position p_{AC}, puis une chambre d'arc (26") s'étendant axialement depuis la position p_{AC} jusqu'à la position p_A d'une ouverture de sortie (60), délimitée par l'extrémité aval de l'anode et par laquelle le plasma sort du générateur de plasma,

la position axiale désignant une position selon l'axe X.

2. Torche à plasma selon la revendication précédente, dans laquelle la projection de l'axe d'injection (l_i) dans un plan radial passant par le centre de l'orifice d'injection dudit conduit d'injection (72) forme un angle α avec l'axe X supérieur à 10° et inférieur à 70°.

3. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle

- l'angle α est supérieur à 20° et inférieur à 60° et/ou
- l'angle β est inférieur à 30°.

4. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle, parmi l'ensemble des orifices d'injection dudit dispositif d'injection, ledit orifice d'injection est celui ou un de ceux présentant la position axiale (p_i) la plus en aval.

5. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la distance radiale (y_i) dudit orifice d'injection est inférieure à 27 mm et supérieure à 6 mm.

6. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le dispositif d'injection (30) est disposé en amont de la position p_{AC}.

7. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la cathode comporte une portion tronconique (86) et le ou tous les orifice(s) d'injection est ou sont disposé(s) selon un ou plusieurs plans transversaux (Pi) coupant ladite portion tronconique.

8. Torche à plasma selon la revendication immédiatement précédente, dans laquelle le ou lesdits plans transversaux sont disposés, à une distance de la base de ladite portion tronconique (86) comprise entre 30% et 90%, de la longueur de ladite portion tronconique.

9. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la distance axiale x" séparant la position axiale p_{AC} de la position axiale (P_A) du point le plus en aval de l'anode est supérieure à 30 mm et/ou est inférieure à 60 mm.

10. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le rapport R entre :

- la distance axiale x entre la position axiale p_{AC} et la position axiale (p_i) dudit orifice d'injection, et
- la plus grande dimension transversale (D_C) de la cathode dans la région de la chambre en aval de la position p_{AC}

est inférieur à 3,2.

11. Torche à plasma selon la revendication précédente, dans laquelle la distance axiale x est supérieure à 5 mm et inférieure à 25 mm.

12. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le rapport R' entre :

- la distance axiale x' séparant la position axiale p_C de l'extrémité aval de la cathode et la position axiale (p_i) dudit orifice d'injection, et
- la plus grande dimension transversale (D_C) de la cathode dans la région de la chambre en aval de la position p_{AC},

est inférieur à 3,5.

13. Torche à plasma selon la revendication précédente, dans laquelle la distance axiale x' est supérieure à 9 mm et inférieure à 30 mm.

14. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le rapport R"' entre la distance radiale minimale y_{AC} entre l'anode et la cathode à la position p_{AC} et la plus grande dimension transversale (D_C) de la cathode dans la région de la chambre en aval de la position p_{AC} est inférieur à 1,25.

15. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le dispositif d'injection comporte une pluralité d'orifices d'injection, au moins une des conditions sur les rapports R, R', et R", et sur les distances x, x' x" et la distance radiale y_i, étant vérifiée quel que soit l'orifice d'injection considéré.

16. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la cathode (22), en forme de tige d'axe X, comporte successivement, coaxialement, depuis l'amont vers l'aval, une portion tronconique (45), de diamètre décroissant, une portion cylindrique (46) de section transversale circulaire et une portion conique (48) de sommet arrondi.

Patentansprüche

1. Plasmabrenner, umfassend:

- einen Plasmagenerator, umfassend:
- eine Kathode (22), die sich entlang einer Achse X erstreckt, und eine Anode (24), wobei die Kathode und die Anode derart angeordnet sind, um in einer Kammer (26) unter der Einwirkung einer elektrischen Spannung einen Lichtbogen zwischen der Anode und der Kathode erzeugen zu können, und
- eine Vorrichtung zum Einspritzen (30) eines plasmagenen Gases, die eine Einspritzleitung (72) aufweist, die entlang einer Einspritzachse (l_i) durch eine Einspritzöffnung (74) in die Kammer mündet,
- Mittel zum Einspritzen eines zu projizierenden Materials in einen Plasmastrom, der von dem Plasmagenerator erzeugt wird,

wobei der Plasmabrenner **dadurch gekennzeichnet ist, dass**

- das Verhältnis R" zwischen:

  - dem radialen Abstand (y_i) der Einspritzöffnung, der als der Mindestabstand zwischen der Achse X und der Mitte der Einspritzöffnung definiert ist,
  - der größten Querabmessung (D_c) der Kathode in dem Bereich der Kammer nachgelagert nach der Position p_{AC}, wobei p_{AC} die Axialposition der maximalen radialen Annäherung der Anode und der Kathode bezeichnet,

  geringer als 2,5 ist, und
- die Projektion der Einspritzachse (l_i) in eine Querebene, die durch die Mitte der Einspritzöffnung der Einspritzleitung verläuft, einen Winkel β, der kleiner als 45° und größer als 5° ist, mit einem Radius bildet, der sich in der Querebene erstreckt und durch die Achse X und durch die Mitte der Einspritzöffnung verläuft,

wobei die Kammer (26) von stromaufwärts nach stromabwärts nacheinander eine Entspannungskammer (26'), die sich axial von dem Boden (59) der Kammer (26) bis zu der Position p_{AC} erstreckt, und dann eine Bogenkammer (26") aufweist, die sich axial von der Position p_{AC} bis zu der Position p_A einer Austrittsöffnung (60) erstreckt, die durch das nachgelagerte Ende der Anode begrenzt ist und durch die das Plasma von dem Plasmagenerator austritt, wobei die Axialposition eine Position entlang der Achse X bezeichnet.

2. Plasmabrenner nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Projektion der Einspritzachse (l_i) in eine radiale Ebene, die durch die Mitte der Einspritzöffnung der Einspritzleitung (72) verläuft, einen Winkel α mit der Achse X bildet, der größer als 10° und kleiner als 70° ist.

3. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

- der Winkel α größer als 20° und kleiner als 60° ist und/oder
- der Winkel β kleiner als 30° ist.

4. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei unter der Gesamtheit der Einspritzöffnungen der Vorrichtung zum Einspritzen die Einspritzöffnung jene oder eine von jenen ist, die die am weitesten nachgelagerte Axialposition (p_i) aufweist oder aufweisen.

5. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der radiale Abstand (y_i) der Einspritzöffnung

kleiner als 27 mm und größer als 6 mm ist.

6. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung zum Einspritzen (30) vorgelagert vor der Position p_{AC} angeordnet ist.

7. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kathode einen kegelstumpfförmigen Abschnitt (86) aufweist und die oder alle Einspritzöffnungen in einer oder mehreren Querebenen (P_i) angeordnet ist oder sind, die den kegelstumpfförmigen Abschnitt schneiden.

8. Plasmabrenner nach dem unverzüglich vorhergehenden Anspruch, wobei die Querebene oder Querebenen in einem Abstand von der Basis des kegelstumpfförmigen Abschnitts (86) angeordnet ist oder sind, der zwischen 30 % und 90 % der Länge des kegelstumpfförmigen Abschnitts beträgt.

9. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Axialabstand x", der die Axialposition p_{AC} von der Axialposition (P_A) des am weitesten nachgelagerten Punktes der Anode trennt, größer als 30 mm und/oder kleiner als 60 mm ist.

10. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis R zwischen:

- dem axialen Abstand x zwischen der Axialposition p_{AC} und der Axialposition (p_i) der Einspritzöffnung und
- der größten Querabmessung (D_c) der Kathode in dem Bereich der Kammer nachgelagert nach der Position p_{AC}

kleiner als 3,2 ist.

11. Plasmabrenner nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der axiale Abstand x größer als 5 mm und kleiner als 25 mm ist.

12. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis R' zwischen:

- dem axialen Abstand x', der die Axialposition p_c von dem nachgelagerten Ende der Kathode und die Axialposition (p_i) der Einspritzöffnung trennt, und
- der größten Querabmessung (D_c) der Kathode in dem Bereich der Kammer nachgelagert nach der Position p_{AC}

kleiner als 3,5 ist.

13. Plasmabrenner nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der axiale Abstand x' größer als 9 mm und kleiner als 30 mm ist.

14. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis R"' zwischen dem minimalen radialen Abstand y_{AC} zwischen der Anode und der Kathode an der Position p_{AC} und der größten Querabmessung (D_c) der Kathode in dem Bereich der Kammer nachgelagert nach der Position p_{AC} kleiner als 1,25 ist.

15. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung zum Einspritzen mehrere Einspritzöffnungen aufweist, wobei mindestens eine der Bedingungen für die Verhältnisse R, R' und R" und für die Abstände x, x', x" und den radialen Abstand y_i erfüllt wird, unabhängig von der betrachteten Einspritzöffnung.

16. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kathode (22) in Form eines Stabes mit Achse X nacheinander koaxial von stromaufwärts nach stromabwärts einen kegelstumpfförmigen Abschnitt (45) mit abnehmendem Durchmesser, einen zylindrischen Abschnitt (46) mit kreisförmigem Querschnitt und einen konischen Abschnitt (48) mit abgerundeter Spitze aufweist.

Claims

1. A plasma torch comprising:

- a plasma generator having:

- a cathode (22) extending along an axis X and an anode (24), the cathode and the anode being provided so as to be able to generate, in a chamber (26), an electric arc between the anode and the cathode when voltage is applied; and
- an injection device (30) for injecting a plasmagen gas comprising an injection duct (72) opening, along an injection axis (Ii), via an injection orifice (74) into the chamber,

- means for injecting a material to be sprayed into a plasma flux generated by said plasma generator;

the plasma torch being **characterized in that**

- the ratio R" between:

  - the radial distance (y_i) of said injection orifice, defined as a minimum distance between the axis X and a center of said injection orifice; and
  - the largest transverse dimension (D_C) of the cathode in a region of the chamber downstream of an axial position p_{AC}, p_{AC} denoting the axial position of minimum radial distance between the anode and cathode,

  is smaller than 2.5, and
- a projection of the injection axis (I_i) in a transverse plane passing through the center of the injection orifice of said injection duct defines an angle β smaller than 45° and greater than 5° with a radius extending in said transverse plane and passing through the axis X and through the center of said injection orifice,

the chamber (26) comprising successively, from upstream to downstream, an expansion chamber (26') extending axially from the back (59) of the chamber (26) as far as the position p_{AC}, then an arc chamber (26") extending axially from the position p_{AC} as far as the position p_A of an outlet aperture (60), bounded by the downstream end of the anode and through which the plasma exits from the plasma generator,
the axial position designating a position along the axis X.

2. The plasma torch according to the preceding claim, in which the projection of the injection axis (I_i) in a radial plane passing through the center of the injection orifice of said injection duct (72) makes an angle α with the axis X greater than 10° and smaller than 70°.

3. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which:

- the angle α is larger than 20° and smaller than 60°; and/or
- the angle β is smaller than 30°.

4. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which, among a set of injection orifices of said injection device, said injection orifice is that or one of those having a furthest downstream axial position (p_i).

5. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which a radial distance (y_i) of said injection orifice is less than 27 mm and greater than 6 mm.

6. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which the injection (30) device is provided upstream of the position p_{AC}.

7. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which the cathode comprises a frustoconical portion (86) and the one or all injection orifices is or are provided in one or several transverse planes (Pi) cutting said frustoconical portion.

8. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which said transverse plane or planes are provided, at a distance from the base of said frustoconical portion (86) between 30% and 90%, of the length of said frustoconical portion

9. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which the axial distance x" separating the axial position p_{AC} from an axial position (P_A) of the furthest downstream point of the anode is greater than 30 mm and/or is less than 60 mm.

10. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which the ratio R between:

- the axial distance x between the axial position p_{AC} and the axial position (p_i) of said injection orifice; and
- a largest transverse dimension (D_C) of the cathode in a region of the chamber downstream of the axial position p_{AC},

is smaller than 3.2.

11. The plasma torch according to the preceding claim, in which the axial distance x is greater than 5 mm and less than 25 mm.

12. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which the ratio R' between:

- an axial distance x' separating an axial position pC of a downstream end of the cathode and an axial position (pi) of said injection orifice; and
- the largest transverse dimension (DC) of the cathode in the region of the chamber downstream of the axial position pAC,

is smaller than 3.5.

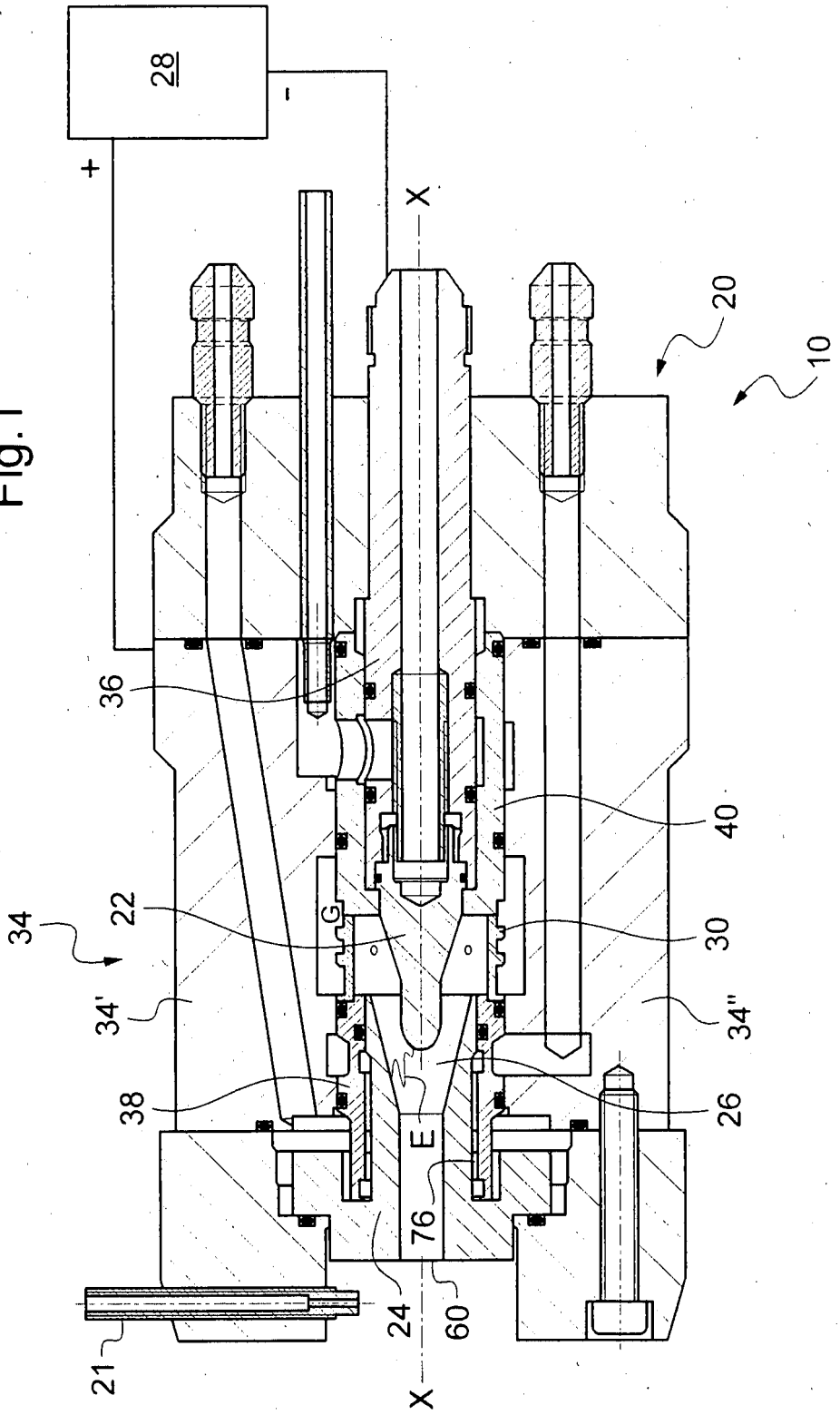
13. The plasma torch according to the preceding claim, in which the axial distance x' is greater than 9 mm and less than 30 mm.

14. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which a ratio R"' between a minimum radial distance y_{AC} between the anode and the cathode in the axial position p_{AC} and the largest transverse dimension (D_C) of the cathode in the region of the chamber downstream of the axial position p_{AC} is smaller than 1.25.

15. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which the injection device comprises a plurality of injection orifices, at least one of conditions on ratios R, R', and R", and on distances x, x', x" and the radial distance y_i, being true whichever injection orifice is considered.

16. The plasma torch according to anyone of the preceding claims, in which the cathode (22), in the form of a rod of axis X, comprises in succession, coaxially, from upstream to downstream, a frustoconical portion (45), of decreasing diameter, a cylindrical portion (46) of circular cross section and a conical portion (48) having a rounded apex.

Fig.1



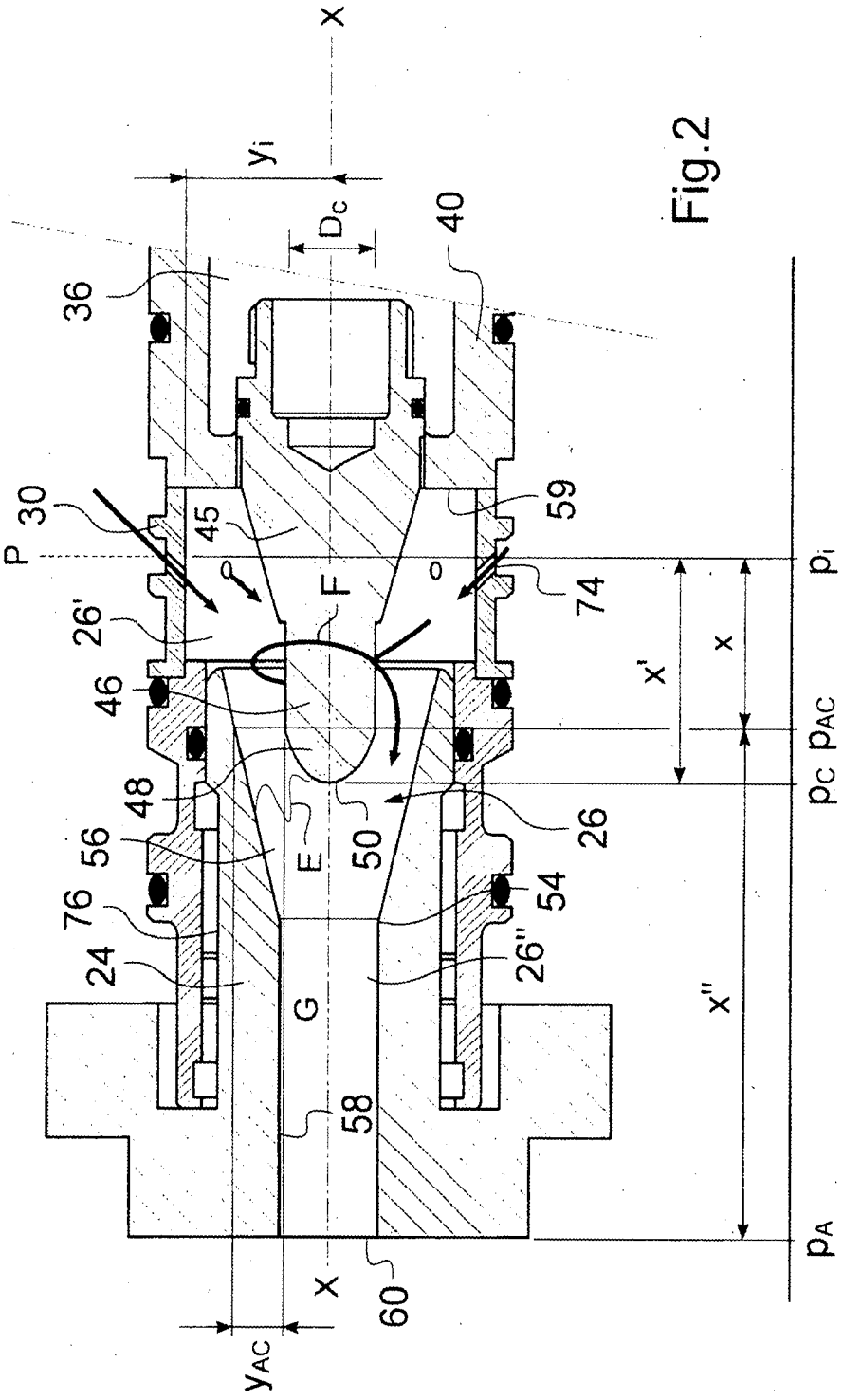

X
y_i
D_C
40
36
30
P
45
59
74
26'
F
46
48
56
50
26
E
54
76
24
26''
G
58
60
X
y_{AC}
x'
x
x''
p_i
p_C p_{AC}
p_A

Fig.2

Fig.3b

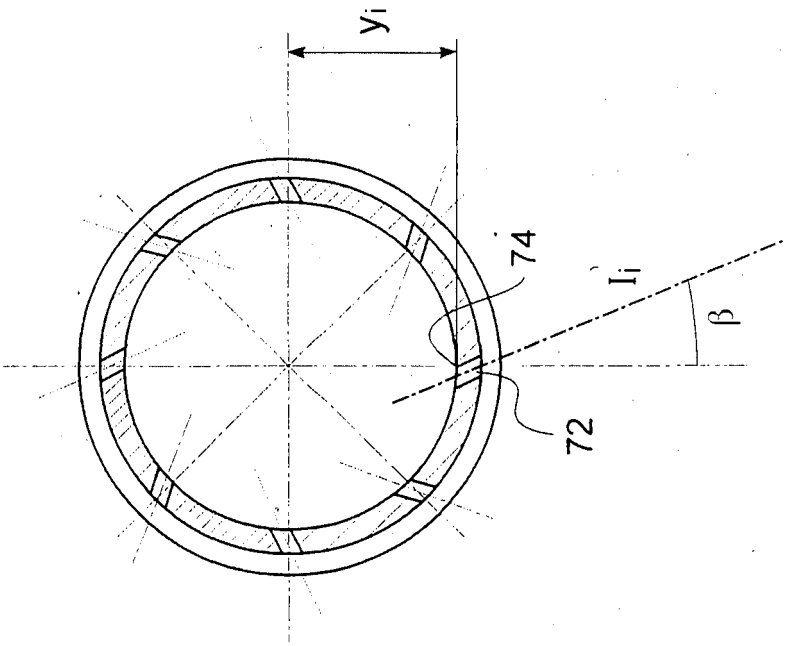


Fig.3a

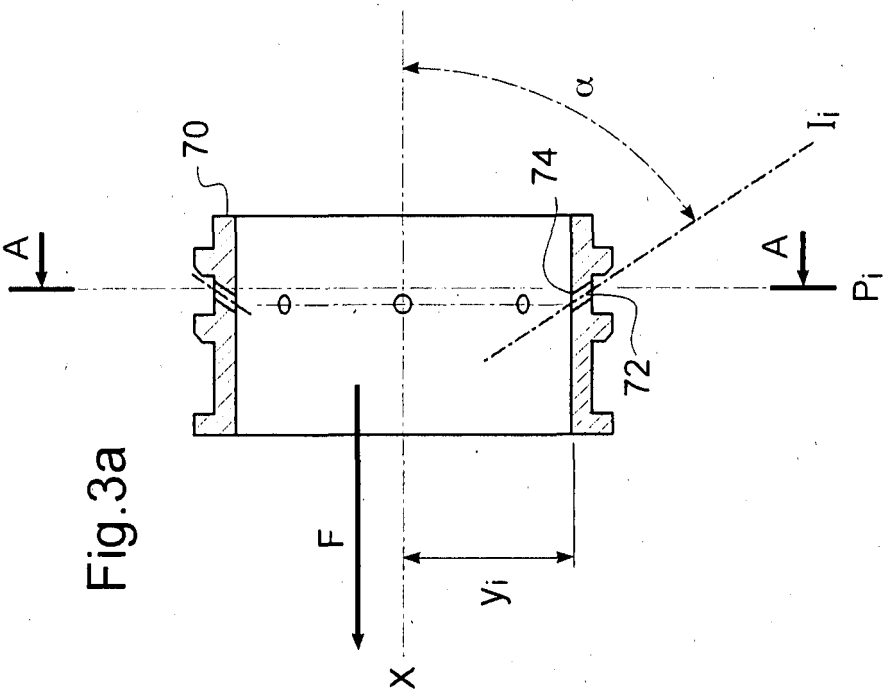


Fig.4

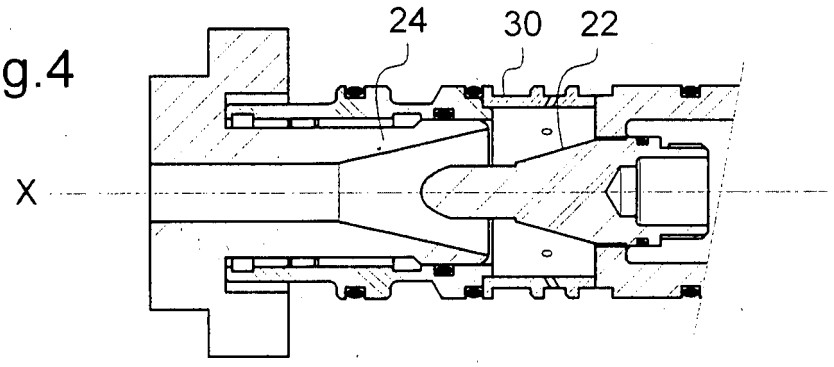


Fig.5

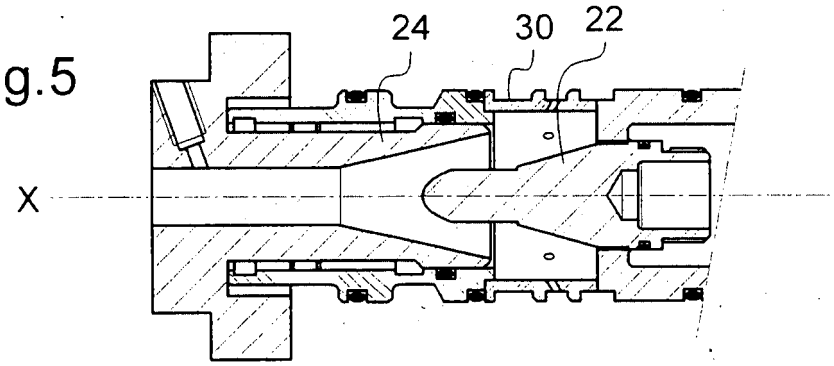


Fig.6

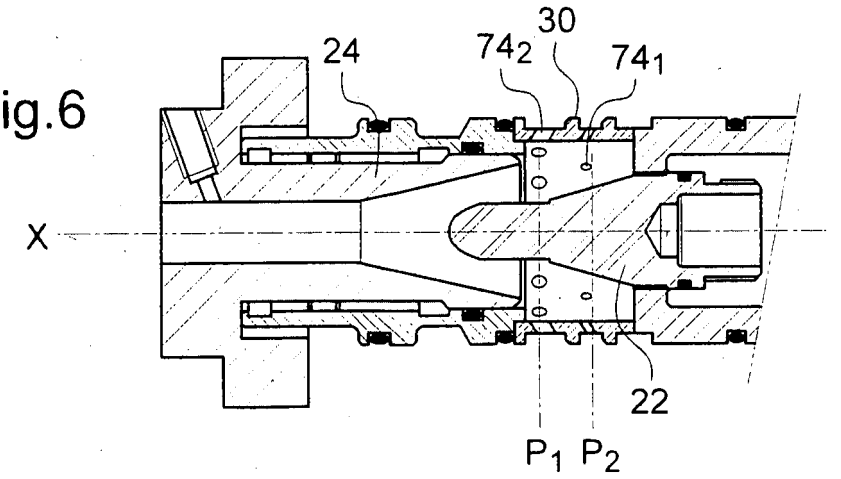


Fig.7c

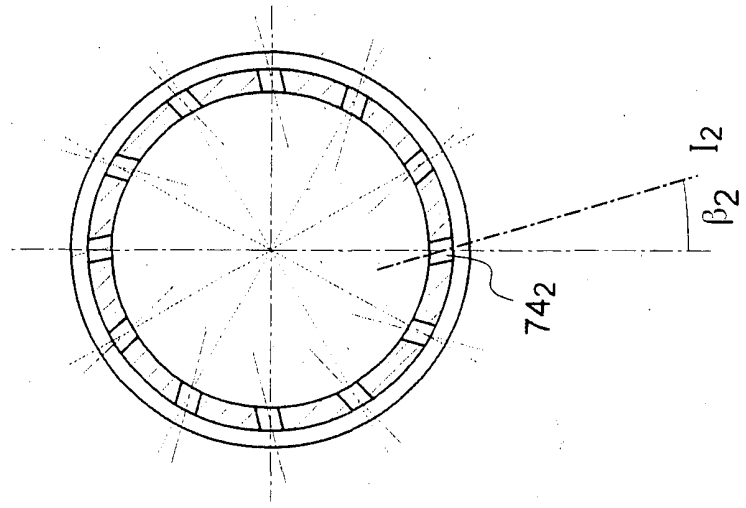


Fig.7b

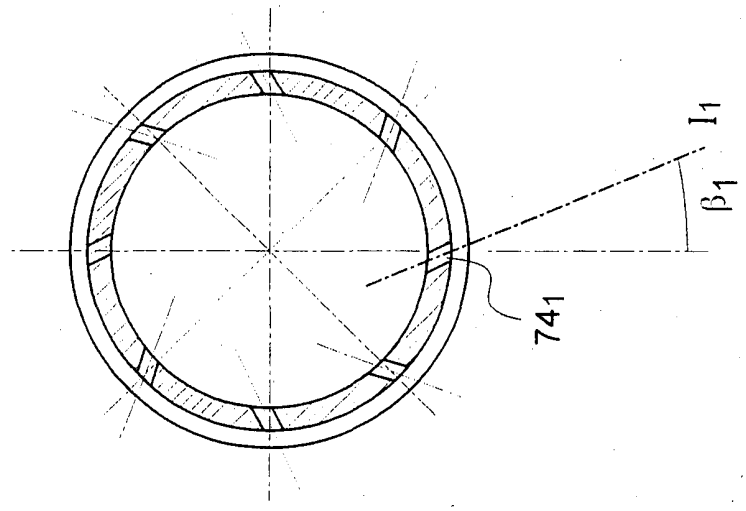


Fig.7a

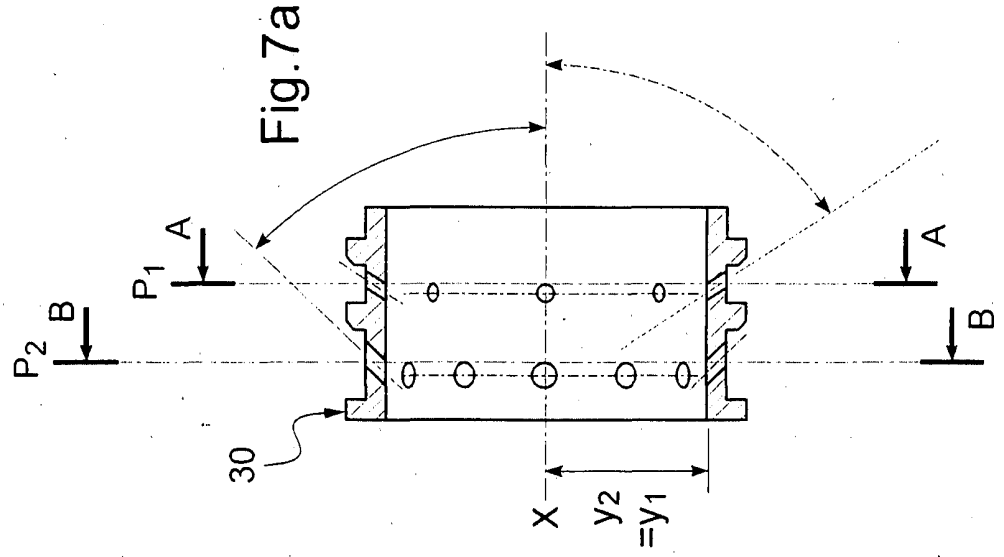


Fig.8

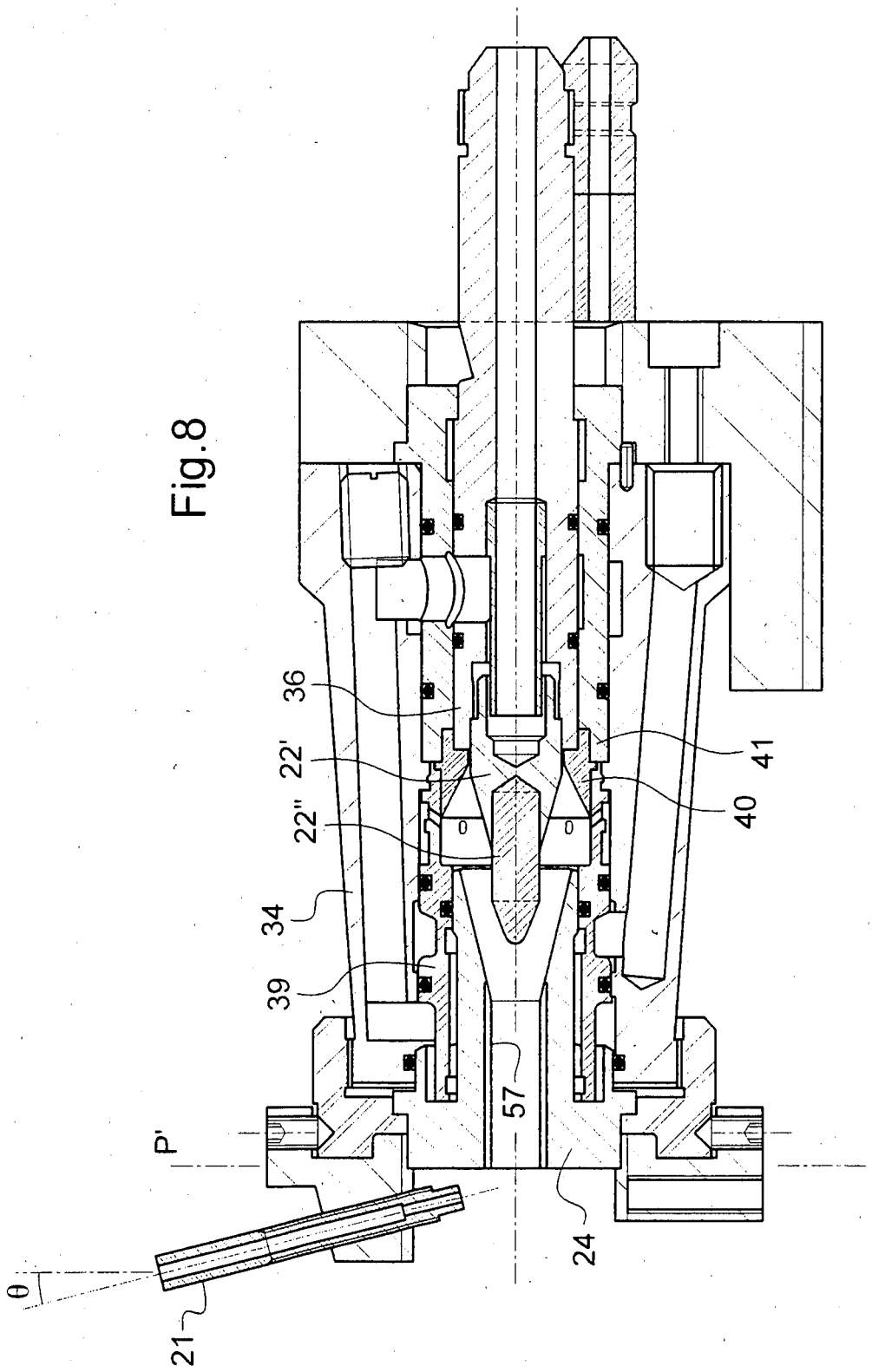
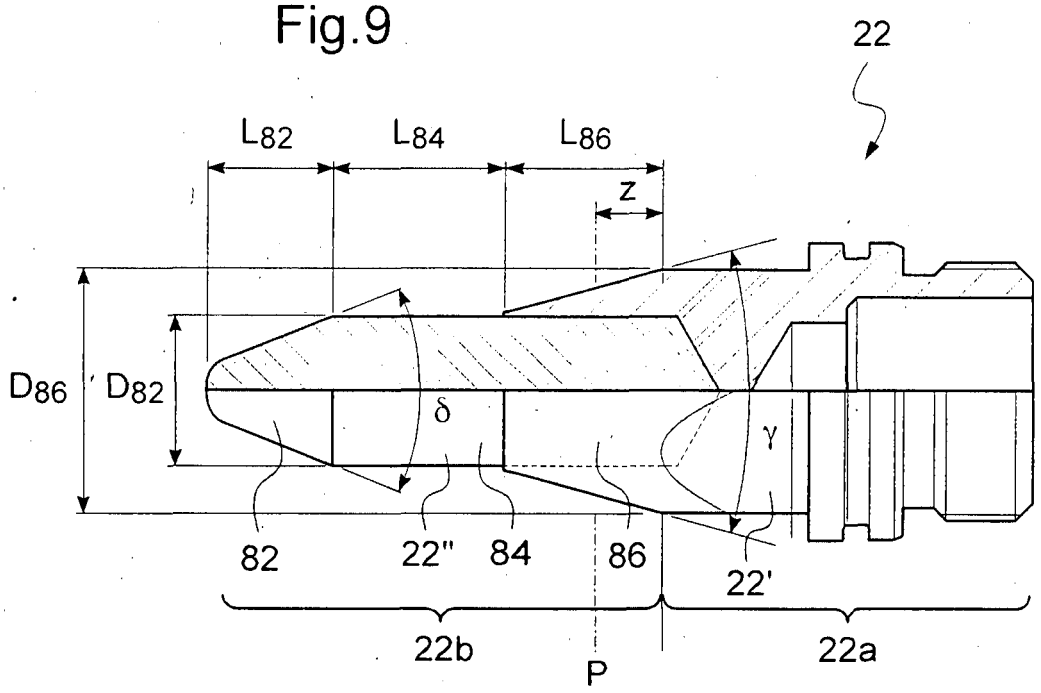


Fig.9


22
L82
L84
L86
z
D86
D82
δ
γ
82
22"
84
86
22'
22b
P
22a

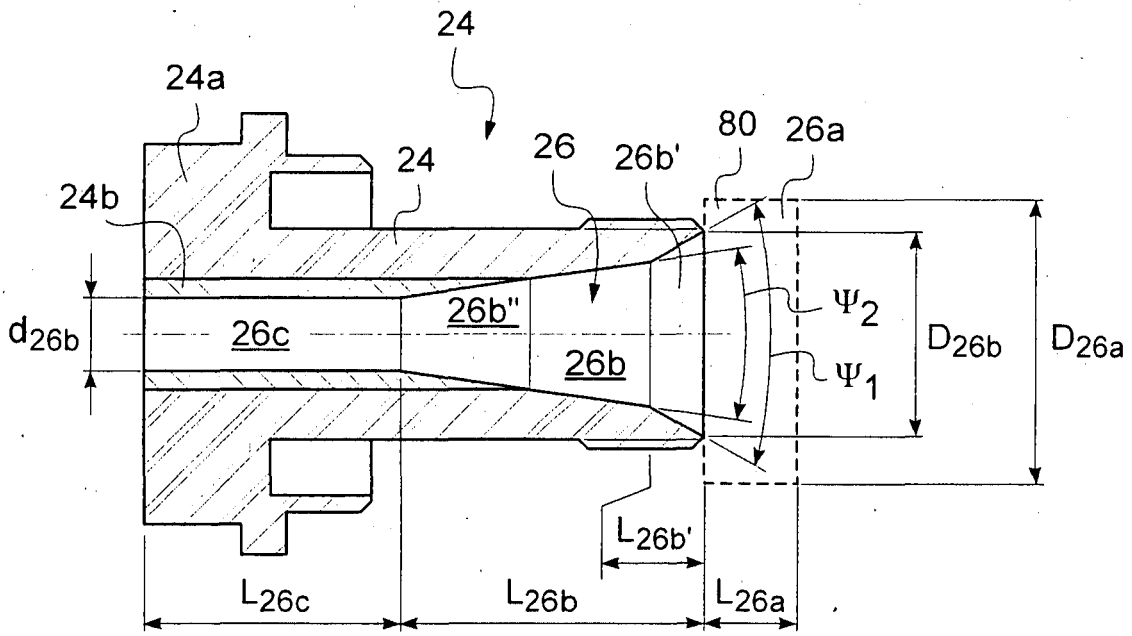

24
24a
24
26
26b'
80
26a
24b
d26b
26c
26b"
26b
Ψ2
Ψ1
D26b
D26a
L26b'
L26c
L26b
L26a

Fig.10

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 9618283 A **[0005]**
- US 5406046 A **[0005]**
- US 5332885 A **[0005]**
- WO 0105198 A **[0005]**
- WO 9535647 A **[0005]**
- US 5420391 A **[0005]**
- US 3591759 A **[0005]**
- US 5444209 A **[0005]**