

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication: **0 204 052 B1**

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication de fascicule du brevet:
21.08.91

(51) Int. Cl.⁵: **H05H 1/40**

(21) Numéro de dépôt: **85420199.3**

(22) Date de dépôt: **08.11.85**

Le dossier contient des informations techniques
présentées postérieurement au dépôt de la
demande et ne figurant pas dans le présent
fascicule.

(54) **Procédé et système de contrôle de l'érosion des électrodes d'un torche à plasma.**

(30) Priorité: **07.06.85 CA 483451**

(43) Date de publication de la demande:
10.12.86 Bulletin 86/50

(45) Mention de la délivrance du brevet:
21.08.91 Bulletin 91/34

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE

(56) Documents cités:
DE-A- 1 300 182
GB-A- 966 103
US-A- 3 416 021
US-A- 3 521 106

(73) Titulaire: **HYDRO-QUEBEC**
75, Boulevard Dorchester Ouest
Montréal Québec H2Z 1E4(CA)

(72) Inventeur: **Drouet, Michel G.**
1825 du Bocage
St-Bruno Québec, J3V 4M7(CA)

(74) Mandataire: **Maureau, Philippe et al**
Cabinet Germain & Maureau Le Britannia -
Tour C 20, bld Eugène Déruelle
F-69003 Lyon(FR)

EP 0 204 052 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention concerne un procédé et un système de contrôle de l'érosion des électrodes d'une torche à plasma. Plus précisément, l'invention se rapporte à l'utilisation de la torche à plasma dans des conditions où les électrodes de cette dernière ont une vie sensiblement prolongée en augmentant la surface balayée par le pied d'arc.

On sait que l'industrie du fer et de l'acier demande beaucoup d'énergie, cette dernière étant surtout produite par des combustibles, et fait assez peu usage d'électricité. C'est ainsi que dans les usines soit disant intégrées, on préfère utiliser du charbon pour fournir la plus grande partie de l'énergie (chimique et thermique) pour la réduction du minerai de fer à l'état métallique. On utilise aussi le charbon comme source d'énergie pour fabriquer de l'acier en transformant directement le métal dans un four à sole ou dans les fours à oxygène et à coke, ainsi que dans les autres étapes de traitement (four à coke et haut-fourneau à gaz). D'autre part, on sait que dans les usines non intégrées, la fusion et le chauffage doivent utiliser d'autres formes d'énergie.

Pour toutes sortes de raisons, il y aurait intérêt à convertir le plus possible de ces usines à l'électricité, si seulement cela s'avérait rentable. Cependant, aux taux présents de l'électricité, surtout si l'on utilise de l'équipement conventionnel, il n'est pas apparu pratique d'effectuer la conversion. Il reste la torche à plasma qui pourrait se montrer d'utilisation intéressante et pratique surtout dans la production de courant d'air chaud ou de gaz réducteur pour les hauts-fourneaux, le reforming de carburant fossile pour réduction directe, le remplacement des électrodes dans les fours à arc, le préchauffage de la ferraille, la fusion aux gaz inertes, la mise à feu des boulettes, le chauffage des lingots et le préchauffage des poches.

L'utilisation d'arcs électriques pour obtenir des gaz à très haute température date du début du siècle et l'appareil dont on se sert pour produire ces températures est communément nommé torche à plasma. Ces dispositifs sont rapidement passés de simples curiosités de laboratoires à des équipements spécialisés pour la fabrication d'objets uniques. Récemment, les prix croissants et des incertitudes quant à la disponibilité des combustibles à base d'hydrocarbures légers ont mené les experts à considérer l'application des torches à plasma à un plus grand nombre de procédés industriels opérant à hautes températures. Deux raisons principales sont à la base de cette proposition. En premier lieu, ce dispositif permet d'atteindre des températures beaucoup plus élevées, résultant en des taux d'efficacité de chauffage beaucoup plus élevés que ce que l'on peut obtenir par simple combustion. En second lieu, on a découvert que dans plusieurs cas, les rendements obtenus sont plus élevés qu'en opérant de façon conventionnelle.

On sait, d'autre part, que les torches à plasma comportent des électrodes que l'on doit éventuellement remplacer à cause de l'érosion produite au pied de l'arc. Or, si ce remplacement intervient à des fréquences trop rapprochées, l'utilisation de la torche à plasma ne devient plus rentable comme c'est la plupart du temps le cas.

L'invention va être décrite ci-après à l'aide des dessins annexés, lesquels sont donnés à titre illustratif et sans caractère limitatif. Dans les dessins :

- la figure 1 illustre le schéma de principe d'une torche à plasma connue ;
- la figure 2 est une courbe de la tension de l'arc en fonction de la vitesse à courant constant ;
- la figure 3a est un schéma illustrant la trace du pied d'arc à la surface de l'électrode dans une configuration électrodes-bobine de champ ;
- la figure 3b est une courbe illustrant la position de la trace du pied d'arc à la surface de l'électrode en fonction du champ appliqué ;
- la figure 3c est une courbe représentant le tracé des valeurs des forces d'entraînement en fonction de la position de la trace du pied d'arc le long de l'axe de l'électrode ;
- la figure 4 est un schéma d'un montage de torche à plasma selon l'invention, et
- la figure 5 est un graphique illustrant la distribution axiale du champ produit et la position des minima pour deux valeurs du champ produit par une des bobines de la torche illustrée en figure 1.

Plus précisément, la torche à plasma est utilisée pour convertir l'énergie électrique en énergie thermique d'un gaz, en faisant passer le gaz en contact avec un arc électrique maintenu entre deux électrodes. Une torche typique est illustrée sur la figure 1 et comporte

- (a) deux électrodes cylindriques 1,3 reliées à une alimentation électrique 5,7 et entre lesquelles existe un arc électrique 9 ;
- (b) une injection tangentielle 11 des gaz froids créant un vortex 13 et assurant un transfert maximum d'énergie entre l'arc 9 et le gaz 11 ;
- (c) des bobines 17,19 créant un champ magnétique axial pour faire tourner les pieds d'arc 21,23 répartissant ainsi l'érosion inévitable des électrodes et,
- (d) un orifice de sortie 25 du gaz chauffé à très haute température et appelé plasma 27.

La température de ce gaz varie avec la puissance électrique débitée dans l'arc électrique et le débit gazeux, cette température pouvant atteindre de 3000 °C à 10000 °C, le gaz chaud produit est fortement ionisé, c'est donc un plasma d'où le nom de torche à plasma donné à cet appareil.

La puissance électrique des torches disponibles commercialement varie entre quelques kW et une dizaine de MW.

Pour les opérations industrielles, la durée de vie des électrodes est un élément primordial. Les fabricants de torche indiquent des durées variant entre 100 et 1000 heures pour des électrodes refroidies.

Le taux d'érosion des électrodes dépend des conditions d'opération : valeur du courant d'arc, matériaux et température de l'électrode, nature et pression du gaz ambiant, mouvement du pied d'arc. Cependant, le phénomène d'usure est très mal compris.

L'injection tangentielle des gaz froids et la présence d'un champ magnétique axial ont chacune pour effet de créer une rotation du pied d'arc à la surface des électrodes tubulaires. L'arc est entraîné par le gaz en rotation ou poussé par la force $I \times B$ résultant de l'interaction entre le champ magnétique B et le courant d'arc I . Ainsi, la vitesse de l'arc augmente avec la valeur du champ magnétique appliqué transversalement à l'arc.

Par contre, la tension d'arc augmentant avec sa vitesse de déplacement, l'arc cherchera toujours à brûler dans la région où sa vitesse sera minimum, ainsi qu'on le voit sur la figure 2 où B est la valeur du champ magnétique de soufflage, d est la longueur de l'arc, V la tension de l'arc produit et I l'intensité de courant, c'est-à-dire qu'il se placera dans la région où la somme des sollicitations hydrodynamiques et magnétiques est minimale. Ce phénomène est très bien illustré par des résultats obtenus dans une torche à plasma (puissance ≈ 1 MW) comme l'indiquent les figures 3a, 3b et 3c, où A et B sont tels que définis ci-dessus et x représente la position de la trace du pied d'arc : la trace A laissée par le pied d'arc sur la surface interne de l'électrode est circulaire et sa distance par rapport à l'espace interélectrode où le gaz est injecté augmente quand le champ magnétique B est réduit.

En somme, selon la technique présentement utilisée pour augmenter la durée de vie des électrodes, l'arc est habituellement déplacé rapidement sur un cercle à la surface de l'électrode par un champ magnétique constant, répartissant ainsi sur la surface interne de l'électrode cylindrique où l'arc s'attache l'inévitable érosion qui se produit au contact de l'arc avec la surface de l'électrode. Cette amélioration augmente sensiblement la vie de l'électrode qui subit l'érosion, étant donné que le pied d'arc ne reste pas attaché en un seul point mais qu'au contraire le pied d'arc balaie une surface circulaire. Il reste néanmoins que l'électrode est endommagée à ce point, qu'après un certain temps, il faut la changer. Il existe donc un net besoin de pouvoir recourir à une technologie qui augmente encore la vie des torches à plasma, du moins si l'on désire étendre le champ d'application de ces dispositifs.

Selon la présente invention, il est possible de prolonger la vie des électrodes des torches à plasma en augmentant la surface balayée par le pied d'arc.

Un objet de la présente invention concerne un procédé par lequel on provoque à cet effet un déplacement axial de la trajectoire du pied d'arc. Le document allemand DE-B- 1300 182, ainsi que le brevet américain US-A- 3 416 021, décrivent l'utilisation d'un champ magnétique à composante radiale pour réaliser un déplacement axial du pied d'arc.

L'invention concerne un procédé de contrôle de l'érosion des électrodes d'une torche à plasma comportant deux électrodes cylindriques coaxiales, dans laquelle s'établit un arc électrique, lorsque les électrodes sont reliées à une alimentation électrique, des gaz étant injectés tangentiellement entre ces électrodes, un champ magnétique axial engendré par un système à bobine de champ provoquant la rotation du pied d'arc selon une trajectoire circulaire à l'intérieur des électrodes, le système à bobine de champ comportant au moins deux bobines de champ pour chaque électrode. Selon l'invention, la valeur du courant dans au moins une des bobines est modulée continuellement de façon à modifier axialement la position du minimum de la somme des deux champs axiaux engendrés par les deux bobines, entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc sur la surface de l'électrode, en correspondance avec ledit minimum.

De préférence, l'on fait moduler continuellement la valeur du courant dans le système de bobine, de façon à faire déplacer chacun des pieds d'arc sur une surface cylindrique, par exemple selon une trajectoire hélicoïdale.

De préférence, l'on ajuste la modulation de la valeur des courants, afin de synchroniser les déplacements axiaux des pieds d'arc aux deux électrodes pour conserver une longueur d'arc constante et ainsi conserver la tension d'arc à la même valeur.

L'invention concerne aussi une torche à plasma comportant deux électrodes cylindriques coaxiales permettant d'obtenir un arc électrique lorsque les électrodes sont reliées à une alimentation électrique, des moyens d'injection tangentielle de gaz, un système à bobine de champ comportant au moins deux bobines

de champ pour chaque électrode pour provoquer la rotation des pieds d'arc selon une trajectoire circulaire à l'intérieur des électrodes cylindriques. Selon l'invention, des moyens sont prévus pour moduler continuellement la valeur du courant dans une au moins des bobines, de façon à modifier axialement la position du minimum de la somme de deux champs entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc sur la surface cylindrique de l'électrode, en correspondance avec ledit minimum.

Selon une réalisation préférée de l'invention, des moyens sont prévus pour ajuster la modulation de la valeur du courant, afin de synchroniser les déplacements axiaux des pieds d'arc aux deux électrodes pour conserver une longueur d'arc constante et ainsi conserver la tension d'arc à la même valeur.

En se référant à la figure 4, on verra que la torche 29 comporte au moins deux bobines de champs 31 et 33 pour chaque électrode contrairement aux torches commerciales qui n'en comportent qu'une seule. La valeur du courant dans une des bobines (ou les deux) est modulée par tout moyen connu 35 continuellement, de façon à modifier axialement la position du minimum de la somme des deux champs entraînant ainsi un déplacement axial d de la trajectoire radiale a ou b du pied d'arc 37. Le pied d'arc ne décrit plus un cercle, il se déplace sur une surface cylindrique. Les déplacements axiaux des pieds d'arc aux deux électrodes peuvent être synchronisés par tous moyens connus pour conserver une longueur d'arc constante et ainsi conserver la tension d'arc à la même valeur.

Un déplacement axial de la trajectoire du pied d'arc peut également être obtenu dans le cas où chaque électrode de la torche à plasma ne comporte qu'une seule bobine et une injection tourbillonnaire du gaz ; ce déplacement peut, en effet, être obtenu en modulant continuellement le courant dans la bobine. Ce contrôle est néanmoins moins efficace que par l'emploi de deux ou plusieurs bobines.

Le taux d'érosion d'une torche commerciale a été mesuré par plusieurs fabricants ; il est approximativement de $1,5 \times 10^{-9}$ kg par coulomb d'électricité. La quantité de matière érodée après 400 heures de fonctionnement à 1000A d'une torche est donc de :

$$1,5 \times 10^{-9} \times 400 \times 3600 \times 1000 = 2,16 \text{ kg.}$$

Pour une torche de 7 cm de diamètre intérieur d'électrode et de 1 cm d'épaisseur utile au point de vue érosion, la longueur X érodée selon la direction axiale est de (densité pour le cuivre 8,95) :

$$X = \frac{2,16}{8,95} \frac{1}{0,7 \times \pi \times 0,1} = 1,1 \text{ dm} = 11 \text{ cm.}$$

Si toute la surface de l'électrode d'une longueur supérieure à 50 cm est utilisée, il y a une augmentation de la durée de vie d'un facteur de 4,5 (soit 2000 heures).

Revendications

1. Procédé de contrôle de l'érosion des électrodes (1,3) d'une torche à plasma comportant deux électrodes cylindriques coaxiales (1,3), dans laquelle s'établit un arc électrique, lorsque les électrodes (1,3) sont reliées à une alimentation électrique (5,7), des gaz étant injectés tangentiellement entre ces électrodes, un champ magnétique axial engendré par un système à bobine de champ (17,19) provoquant la rotation des pieds d'arc (21,23) selon une trajectoire circulaire à l'intérieur des électrodes (1,3), le système à bobine de champ comportant au moins deux bobines de champ (31,33) pour chaque électrode, caractérisé en ce que la valeur du courant dans au moins une des bobines est modulée continuellement de façon à modifier axialement la position du minimum de la somme des deux champs axiaux engendrés par les deux bobines, entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc (21,23) sur la surface de l'électrode, en correspondance avec ledit minimum.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on fait moduler continuellement la valeur du courant dans le système de bobine (17,19), de façon à faire déplacer chacun des pieds d'arc (21,23) sur une surface cylindrique.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les pieds d'arc (21,23) se déplacent selon une trajectoire hélicoïdale.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'on ajuste la modulation de la valeur des courants, afin de synchroniser les déplacements axiaux des pieds d'arc (21,23) aux deux électrodes (1,3) pour conserver une longueur d'arc constante et ainsi conserver la tension d'arc à la même valeur.
5. Torche à plasma comportant deux électrodes cylindriques coaxiales (1,3) permettant d'obtenir un arc électrique lorsque lesdites électrodes sont reliées à une alimentation électrique (5,7), des moyens (11) d'injection tangentielle de gaz, un système à bobine de champ comportant au moins deux bobines de champ (31,33) pour chaque électrode pour provoquer la rotation des pieds d'arc (21,23) selon une trajectoire circulaire à l'intérieur des électrodes cylindriques, caractérisé en ce que des moyens (35) sont prévus pour moduler continuellement la valeur du courant dans une au moins des bobines, de façon à modifier axialement la position du minimum de la somme des deux champs entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc (21,23) sur la surface cylindrique de l'électrode, en correspondance avec ledit minimum.
6. Torche à plasma selon la revendication 5, caractérisée en ce que lesdits moyens (35) sont agencés pour moduler continuellement la valeur du courant dans le système à bobine, de façon à faire déplacer chacun des pieds d'arc (21,23) sur la surface interne des électrodes (1,3).
7. Torche à plasma selon la revendication 6, caractérisée en ce que le déplacement sur la surface cylindrique s'effectue selon une trajectoire hélicoïdale.
8. Torche à plasma selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisée en ce que des moyens sont prévus pour ajuster la modulation de la valeur du courant, afin de synchroniser les déplacements axiaux des pieds d'arc (21,23) aux deux électrodes (1,3) pour conserver une longueur d'arc constante et ainsi conserver la tension d'arc à la même valeur.

Claims

1. Method for controlling the erosion of the electrodes of a plasma torch comprising two cylindrical coaxial electrodes (1,3), in which an electric arc is produced when the electrodes (1,3) are connected to an electrical supply (5,7), gases are introduced between said electrodes tangentially, an axial magnetic field generated by a system of field coils (17,19) causing the rotation of the extremities of the arc (21,23) along a circular trajectory inside the electrodes (1,3), the system of field coils including at least two field coils (31,33) for each electrode, characterized in that the value of the current in at least one of the coils is continuously modulated so as to axially modify the position of the minimum of the sum of the two axial fields produced by the two coils, thereby causing an axial displacement of the circular trajectory of the extremity of the arc (21,23) on the surface of the electrode, corresponding to said minimum.
2. A method according to claim 1, characterized in that the value of the current in the system of field coils (17,19) is continuously modulated so as to move the extremities of the arc (21,23) on a cylindrical surface.
3. A method according to claim 2, characterized in that the extremities of the arc (21,23) are displaced along a helicoidal trajectory.
4. Method according to any one of claims 1 to 3, characterized in that the modulation of the value of the currents is adjusted so as to synchronize the axial displacements of the extremities of the arc (21,23) at the two electrodes (1,3) to maintain a constant length of the arc and thus keeping the voltage of the arc at the same value.
5. A plasma torch comprising two cylindrical coaxial electrodes (1,3) enabling to obtain an electrical arc when said electrodes are connected to an electrical supply (5,7), means (11) for tangentially introducing gases, a system of field coils including at least two field coils (31,33) for each electrode to cause a rotation of the extremities of the arc (21,23) according to a circular trajectory inside the cylindrical electrodes, characterized in that means (35) are provided for continuously modulating the value of the current in at least one of the coils, so as to axially modify the position of the minimum of the sum of the

two fields thereby producing an axial displacement of the circular trajectory of the extremity of the arc (21,23) on the cylindrical surface of the electrode, corresponding to said minimum.

- 5 6. A plasma torch according to claim 5, characterized in that said means (35) are adapted for continuously modulating the value of the current in the coil system, so as to displace each of the extremities of the arc (21,23) on the internal surface of the electrodes (1,3).
7. A plasma torch according to claim 6, characterized in that the displacement on the cylindrical surface is carried out according to a helicoidal trajectory.
- 10 8. A plasma torch according to any one of claims 5-7, characterized in that means are provided to adjust the modulation of the value of the current so as to synchronize the axial displacements of the extremities of the arc (21,23) to the two electrodes (1,3) so as to keep the length of the arc constant and thus maintaining the voltage of the arc at the same value.

15

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung der Erosion der Elektroden (1, 3) eines zwei koaxiale zylindrische Elektroden (1, 3) enthaltenden Plasmabrenners, bei dem sich ein elektrischer Bogen einstellt, wenn die Elektroden (1, 3) mit einer elektrischen Versorgung (5, 7) verbunden sind, Gase tangential zwischen diese Elektroden injiziert werden, ein durch ein Feldspulensystem (17, 19) erzeugtes axiales Magnetfeld die Drehung der Bogenfüße (21, 23) längs einer kreisförmigen Bahn im Inneren der Elektroden (1, 3) hervorruft und das Feldspulensystem mindestens zwei Feldspulen (31, 33) für jede Elektrode aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert des Stroms in mindestens einer der Spulen kontinuierlich derart moduliert wird, daß axial die Position des Minimums der Summe der beiden axialen von den beiden Spulen erzeugten Felder modifiziert wird, was auf diese Weise eine axiale Verlagerung der kreisförmigen Bahn des Bogenfußes (21, 23) auf der Oberfläche der Elektrode in Übereinstimmung mit dem genannten Minimum nach sich zieht.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man kontinuierlich den Wert des Stromes in dem Spulensystem (17, 19) modulieren läßt, so daß man jeden der Bogenfüße (21, 23) sich auf einer zylindrischen Oberfläche verlagern läßt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bogenfüße (21, 23) sich längs einer schraubenlinienförmigen Bahn verlagern.
- 35 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß man die Modulation des Wertes der Ströme einstellt, um die axialen Verlagerungen der Bogenfüße (21, 23) bei beiden Elektroden (1, 3) zu synchronisieren, um eine konstante Bogenlänge zu bewahren und so die Spannung des Bogens auf dem gleichen Wert zu halten.
- 40 5. Plasmabrenner mit zwei koaxialen zylindrischen Elektroden (1, 3), der einen elektrischen Bogen zu erhalten erlaubt, wenn die Elektroden mit einer elektrischen Versorgung (5, 7) verbunden werden, mit Mitteln (11) zum tangentialen Injizieren von Gas, einem Feldspulensystem mit mindestens zwei Feldspulen (31, 33) für jede Elektrode zur Hervorrufung der Drehung der Bogenfüße (21, 23) längs einer kreisförmigen Bahn im Inneren der zylindrischen Elektroden, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel (35) vorgesehen sind, um kontinuierlich den Wert des Stromes in mindestens einer der Spulen zu modulieren, um so die Position des Minimums der Summe der beiden Felder axial zu verändern, was auf diese Weise eine axiale Verlagerung der kreisförmigen Bahn des Bogenfußes (21, 23) auf der zylindrischen Oberfläche der Elektrode in Übereinstimmung mit dem genannten Minimum nach sich zieht.
- 45 6. Plasmabrenner nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel (35) derart ausgebildet sind, daß sie kontinuierlich den Wert des Stromes in dem Spulensystem modulieren, derart, daß jeder der Bogenfüße (21, 23) auf der inneren Oberfläche der Elektroden (1, 3) verlagert wird.
- 50 7. Plasmabrenner nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verlagerung auf der zylindrischen Oberfläche längs einer schraubenlinienförmigen Bahn geschieht.
- 55

8. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 5 - 7, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorgesehen sind, um die Modulation des Werts des Stromes derart einzustellen, um die axialen Verlagerungen der Bogenfüße (21, 23) bei den beiden Elektroden (1, 3) zu synchronisieren, um so eine kostante Bogenlänge aufrechtzuerhalten und so die Spannung des Bogens auf dem gleichen Wert zu halten.

5

10

15

20

25

30

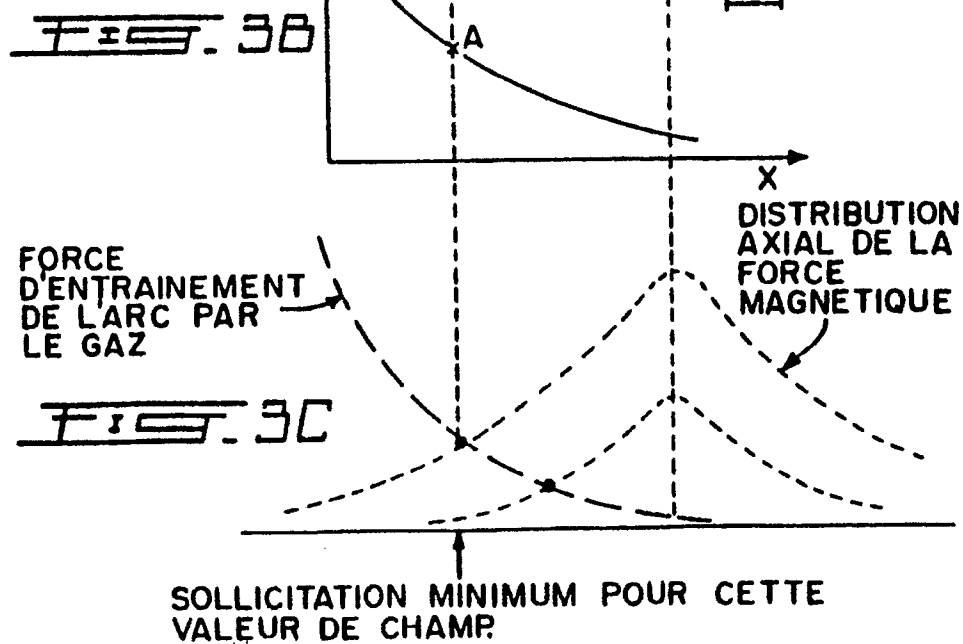
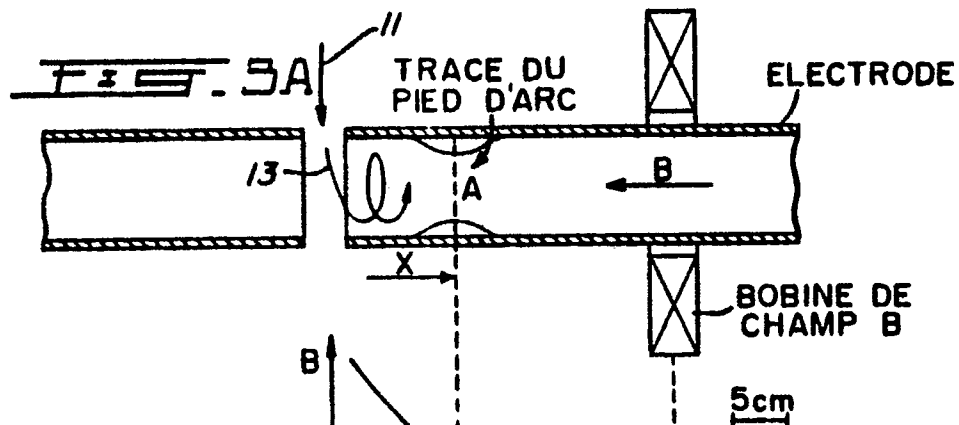
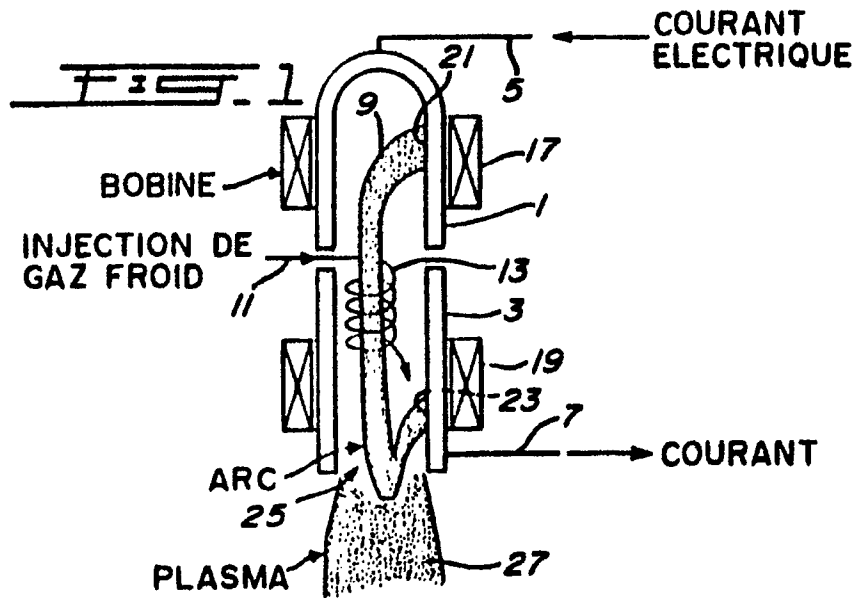
35

40

45

50

55



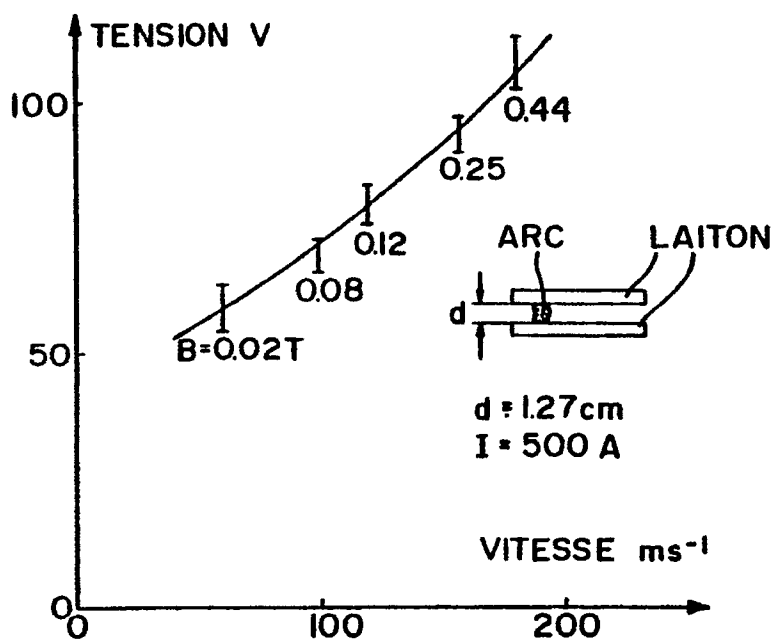


FIG. 2

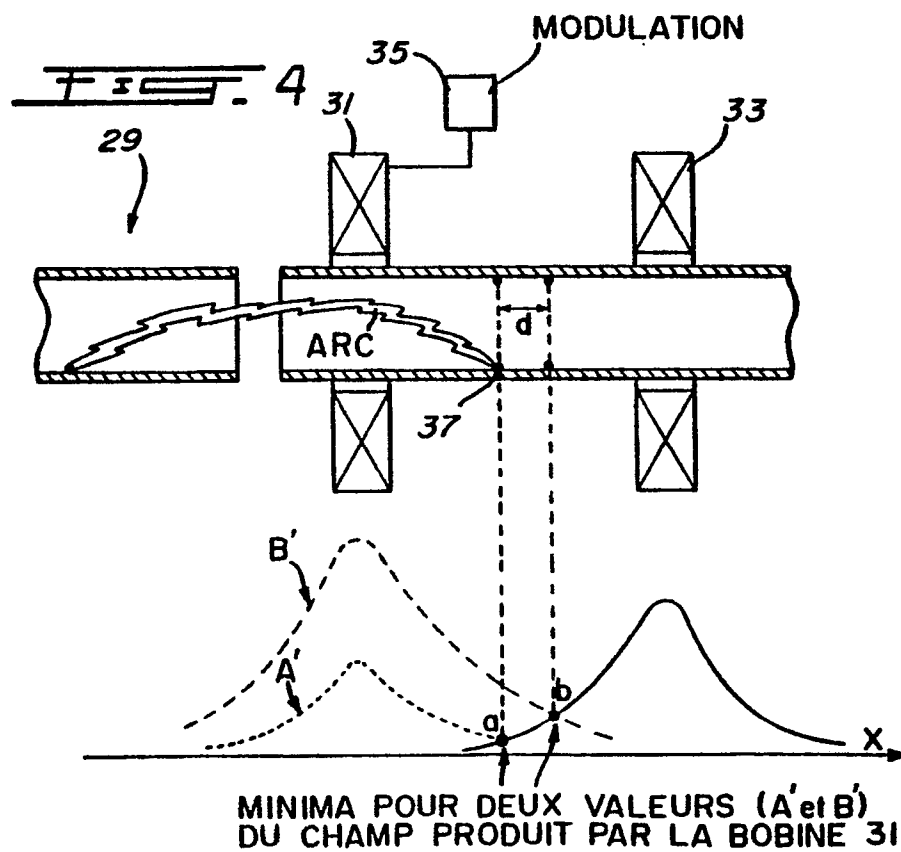


FIG. 5