

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 85420199.3

(51) Int. Cl.⁴: **H 05 H 1/40**

(22) Date de dépôt: 08.11.85

(30) Priorité: 07.06.85 CA 483451

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

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

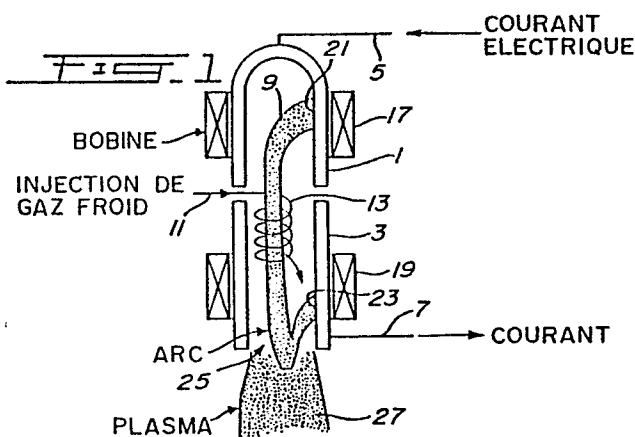
(71) Demandeur: **HYDRO-QUEBEC**
75, Boulevard Dorchester Ouest
Montréal Québec H2Z 1E4(CA)

(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)

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

(57) La présente invention concerne un procédé et un système de contrôle de l'érosion des électrodes (1,3) d'une torche à plasma, dans laquelle s'établit un arc électrique, lorsque les électrodes sont reliées à une alimentation électrique (5,7). Un champ magnétique axial engendré par un système à bobine de champ (17, 19) provoque la rotation des pieds d'arc (21, 23) selon une trajectoire circulaire à l'intérieur des électrodes (1,3). Selon l'invention, l'on fait varier périodiquement la valeur du courant dans le système à bobine de champ (17, 19) utilisé pour faire tourner l'arc, entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc. La torche à plasma selon l'invention est caractérisée en ce que des moyens sont prévus pour faire varier périodiquement la valeur du courant dans le système à bobine de champ utilisé pour faire tourner l'arc entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc (21,23). Dans ces conditions, on augmente sensiblement la vie des électrodes (1,3).



PROCEDE ET SYSTEME DE CONTROLE DE L'EROSION
DES ELECTRODES D'UNE TORCHE A PLASMA

La présente invention concerne un procédé et un système de contrôle de l'érosion des électrodes d'une
5 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.

10 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
15 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,
20 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
25 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
30 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
35 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
5 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'appli-
10 cation 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'effi-
15 cacité 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
20 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.

25 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 ;

30 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 ;

35 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 ;

5 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
10 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 typi-
15 que 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
20 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,

25 (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° à 10000°, le
30 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.

35 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
5 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 élec-
10 trodes 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.

15 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
20 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'in-
25 diquent 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
30 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
35 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'élec-

trode. 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.

5 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
10 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.

15 Un objet de la présente invention concerne un procédé par lequel on provoque un déplacement axial de la trajectoire du pied d'arc.

L'invention concerne un procédé de contrôle de l'érosion des électrodes d'une torche à plasma, dans laquelle s'établit un arc électrique, lorsque les électrodes
20 sont reliées à une alimentation électrique et un champ magnétique axial engendré par un système à bobine de champ, provoque la rotation des pieds d'arc selon une trajectoire circulaire à l'intérieur des électrodes. Selon l'invention, l'on fait varier périodiquement la valeur du courant dans
25 le système à bobine de champ utilisé pour faire tourner l'arc, entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc.

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

Selon une réalisation préférée de l'invention, le système à bobine de champ comporte une, deux ou plusieurs bobines de champ pour chaque électrode.

35 La valeur du ou des courants dans une ou plusieurs des bobines peut être modulée continuellement, de façon à modifier axialement la position du minimum de la résultante des champs entraînant ainsi un déplacement axial de la

trajectoire radiale du pied d'arc. 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 permettant d'obtenir un arc électrique lorsque les électrodes sont reliées à une alimentation électrique, et un système à bobine 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, on prévoit des moyens pour faire varier périodiquement la valeur des courants dans le système à bobine de champ utilisé pour faire tourner l'arc entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc. Par exemple, lesdits moyens sont agencés pour moduler continuellement la valeur des courants dans le système à bobine, de façon à faire déplacer chacun des pieds d'arc sur une surface cylindrique.

Selon une réalisation préférée de l'invention, des moyens sont prévus pour moduler continuellement la valeur du courant dans une des deux bobines, de façon à modifier axialement la position du minimum de la somme de deux champs entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire radiale du pied d'arc.

Selon une autre 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 2 000 heures).

- REVENDICATIONS -

1- Procédé de contrôle de l'érosion des électrodes (1,3) d'une torche à plasma, dans laquelle s'établit un arc électrique, lorsque les électrodes (1,3) sont
5 reliées à une alimentation électrique (5,7), 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), caractérisé en ce que l'on fait varier périodiquement la valeur du courant dans le système à bobine de
10 champ (17,19) utilisé pour faire tourner l'arc, entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc (21,23).

2- Procédé selon la revendication 1, caractérisé
15 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.
20 en ce que les pieds d'arc (21,23) se déplacent selon une trajectoire hélicoïdale.

4- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système à bobine de champ comporte une bobine de champ (17,19) pour chaque électrode respectivement (1,3).
25

5- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système à bobine de champ comporte au moins deux bobines de champ (31,33) pour chaque électrode.

6- Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la valeur du courant dans au moins une des bobines
30 est modulée continuellement, de façon à modifier axialement la position du minimum de la somme des champs entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire radiale du pied d'arc.

7- Procédé selon la revendication 6, caractérisé
35 en ce que 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.

8- Torche à plasma comportant deux électrodes cylindriques (1,3) permettant d'obtenir un arc électrique
5 lorsque lesdites électrodes sont reliées à une alimentation électrique (5,7), un système à bobine de champ (17,19) pour chaque électrode pour provoquer la rotation des pieds d'arc selon une trajectoire circulaire à l'intérieur des électrodes cylindriques, caractérisée en ce que
10 des moyens (35) sont prévus pour faire varier périodiquement la valeur du courant dans le système à bobine de champ utilisé pour faire tourner l'arc entraînant ainsi un déplacement axial de la trajectoire circulaire du pied d'arc.

9- Torche à plasma selon la revendication 8,
15 caractérisée en ce que lesdits moyens sont agencés pour moduler continuellement la valeur du courant dans le système à bobine, de façon à faire déplacer chacun des pieds d'arc sur la surface interne des électrodes.

10- Torche à plasma selon la revendication 9,
20 caractérisée en ce que le déplacement sur la surface cylindrique s'effectue selon une trajectoire hélicoïdale.

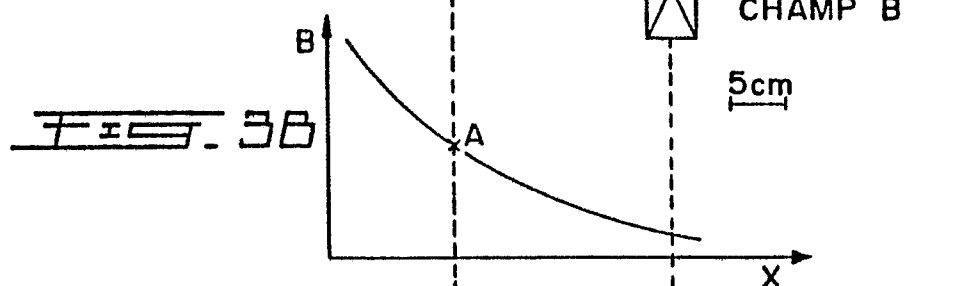
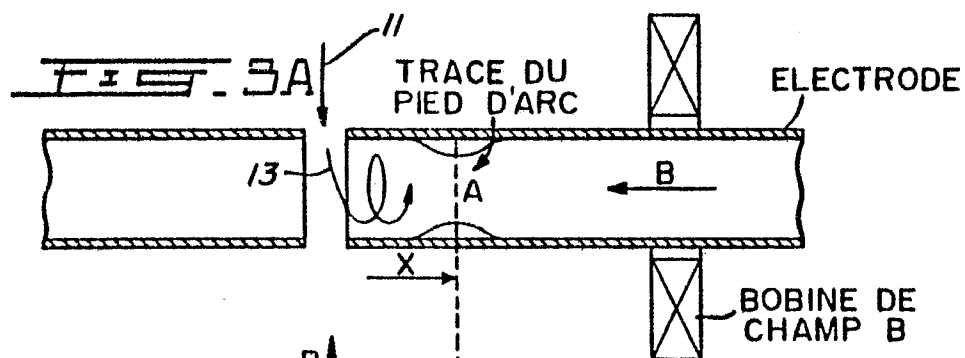
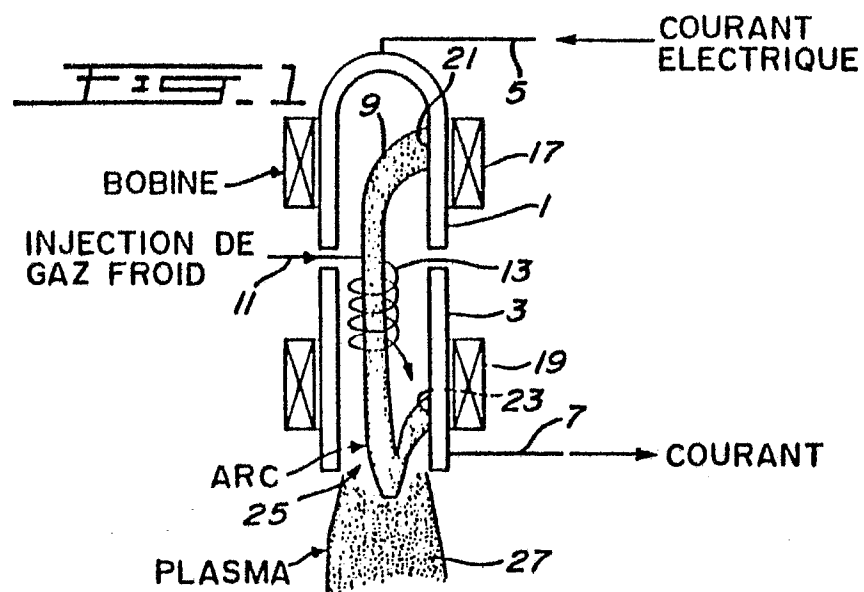
11- Torche à plasma selon la revendication 8, caractérisée en ce que le système à bobine de champ comporte une bobine de champ (17,19) pour chaque électrode,
25 respectivement (1,3).

12- Torche à plasma selon la revendication 11, caractérisée en ce que le système à bobine de champ comporte au moins deux bobines de champ (31,33) pour chaque électrode.

13- Torche à plasma selon la revendication 12,
30 caractérisée en ce que des moyens (35) sont prévus pour moduler continuellement la valeur du courant dans une 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 radiale du pied d'arc.

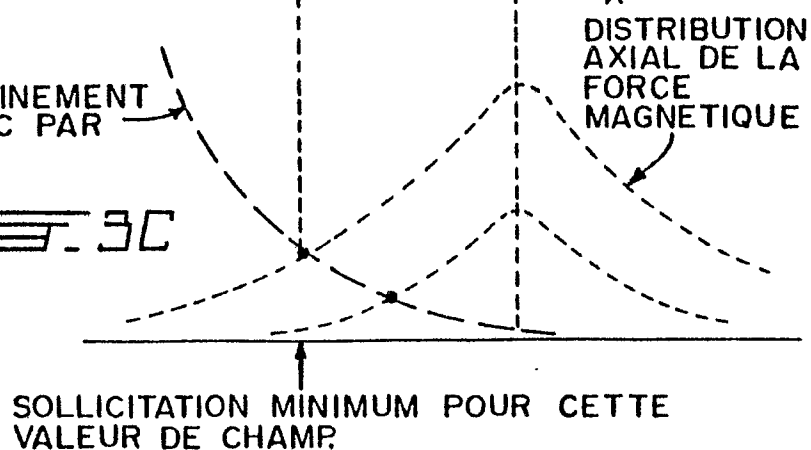
35 14- Torche à plasma selon la revendication 13, caractérisée en ce que des moyens sont prévus pour ajuster la modulation de la valeur du courant, afin de synchroni-

ser 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.



FORCE
D'ENTRAINEMENT
DE L'ARC PAR
LE GAZ

FIG. 3C



0204052

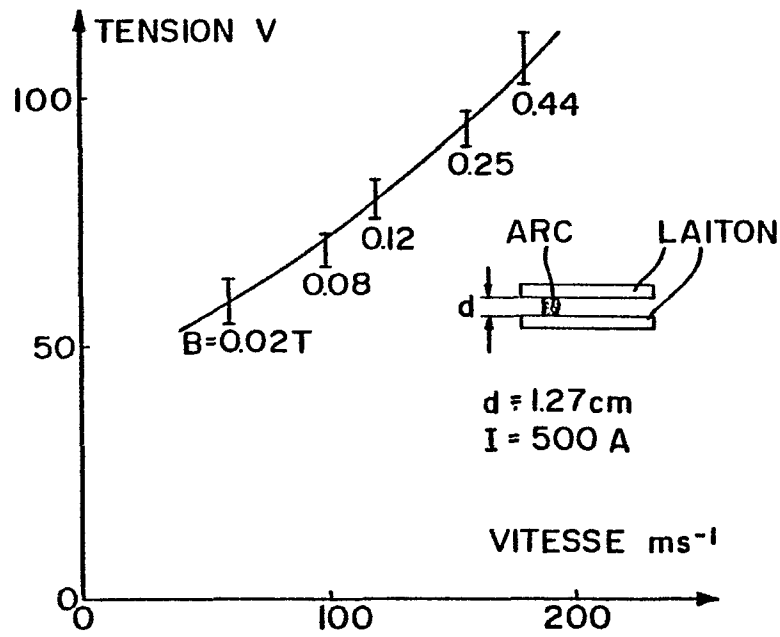


Fig. 2

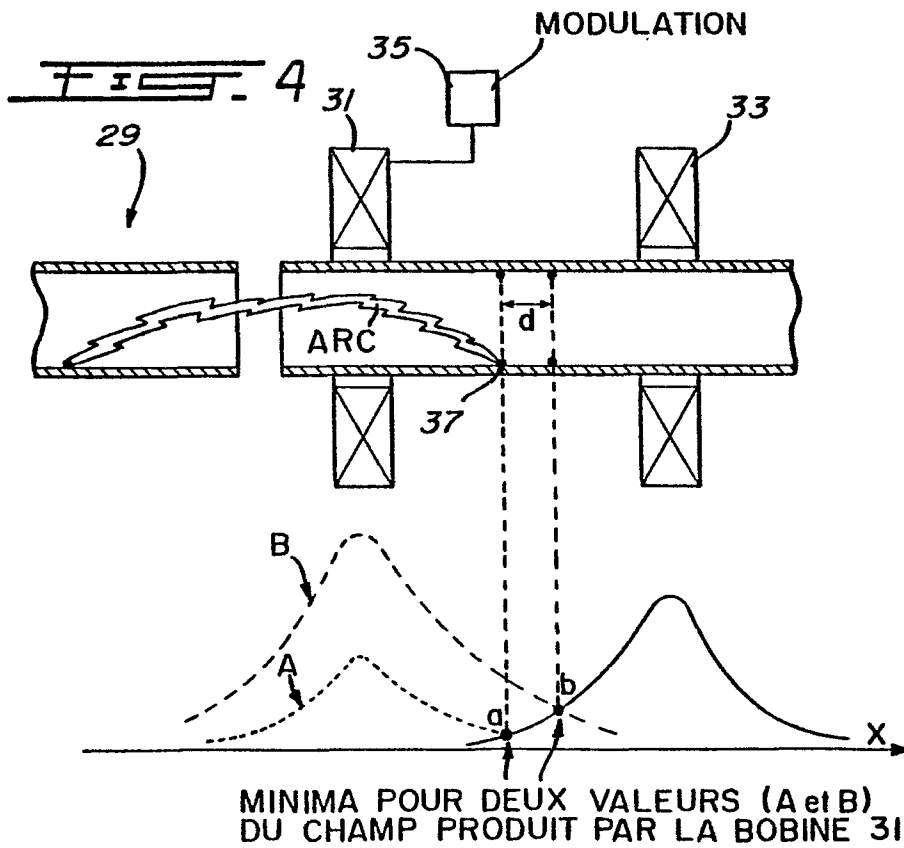


Fig. 5