

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **85870025.5**

(51) Int. Cl.⁴: **H 05 H 1/32**

(22) Date de dépôt: **13.02.85**

(30) Priorité: **17.02.84 BE 6047929**

(71) Demandeur: **CENTRE DE RECHERCHES METALLURGIQUES CENTRUM VOOR RESEARCH IN DE METALLURGIE** Association sans but lucratif, Vereniging zonder winstoogmerk Rue Montoyer, 47, B-1040 Bruxelles (BE)

(43) Date de publication de la demande: **18.09.85**
Bulletin 85/38

(72) Inventeur: **Ponghis, Nikolas, Gerassimos, 35, Murmure des Grands Arbres, B-4121 Neuville-en-Condroz (BE)**

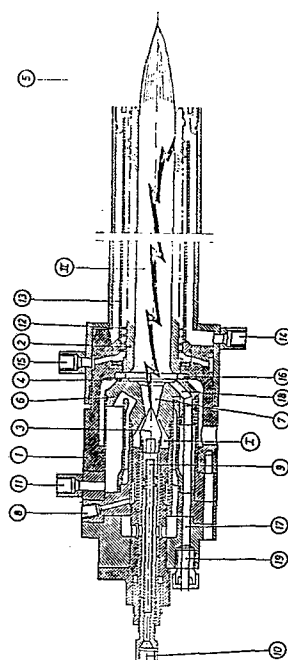
(84) Etats contractants désignés: **DE FR GB IT LU NL SE**

(74) Mandataire: **Lacasse, Lucien Emile, CENTRE DE RECHERCHES METALLURGIQUES** Abbaye du Val-Benoît 11, rue Ernest Solvay, B-4000 Liège (BE)

(54) **Torche à plasma à arc électrique.**

(57) La présente torche à plasma à arc électrique comporte une cathode chaude (3), une électrode intermédiaire (6), dite électrode d'allumage, une anode (2), des moyens (8) d'introduction d'un gaz inerte entre la cathode chaude et l'électrode d'allumage, des moyens (4) d'introduction d'un gaz plasmagène entre l'électrode d'allumage et l'anode, et des moyens pour relier, de façon appropriée, les électrodes (2, 3, 6) à des sources de courant électrique.

Dans une réalisation préférée, la torche à plasma présente au moins un conduit (17) d'alimentation en combustible, qui débouche dans l'espace compris entre l'électrode d'allumage (16) et l'anode (2).



- 1 -

Torche à plasma à arc électrique.

La présente invention concerne une torche à plasma à arc électrique.

Les torches à plasma, aussi appelées chalumeaux ou brûleurs
5 à plasma, sont des appareils bien connus en soi, permettant de produire un jet de gaz à l'état de plasma.

Selon une définition classique, un plasma est un gaz ionisé qui contient au moins 10^{15} corpuscules chargés par mètre cube,
10 et en moyenne, très sensiblement autant d'électrons que d'ions positifs.

La production d'un plasma exige que l'on communique au gaz une importante quantité d'énergie. On dispose à cet effet de
15 différents moyens, parmi lesquels le plus fréquemment utilisé est l'arc électrique.

Dans les torches à plasma à arc électrique, on fait jaillir l'arc entre deux électrodes entre lesquelles circule un gaz.
20 Les particules du gaz sont ionisées par l'énergie élevée de l'arc et le gaz se transforme en un plasma.

La plupart des torches à plasma à arc sont alimentées en courant continu ou, plus exactement, en courant alternatif redressé.

- 5 Les torches à plasma à arc électrique peuvent encore être subdivisées en deux catégories, selon le type de cathode utilisé, c'est-à-dire la cathode chaude et la cathode froide.

On appelle cathode chaude une cathode portée à une température suffisamment élevée pour que, par effet thermo-ionique, elle émette un nombre d'électrons assurant pratiquement le courant d'arc. En raison du niveau élevé de la température nécessaire pour réaliser une émission électronique correspondant à une intensité de courant d'arc suffisante pour atteindre la puissance et la température voulues, à savoir environ 3000°C, le nombre de matériaux utilisables pour fabriquer une telle cathode est très limité. Actuellement, on n'utilise pratiquement que du tungstène ou certains de ses alliages. Il en résulte que les torches à plasma à arc à cathode chaude ne peuvent fonctionner qu'avec des gaz qui sont chimiquement inertes vis-à-vis du tungstène, comme l'hydrogène, l'azote et les gaz rares (argon, xénon, etc...). Outre le prix élevé de ces gaz, cette limitation constitue un sérieux inconvénient pour ce type de torche, lorsque l'on désire utiliser d'autres gaz. Ces cathodes présentent en revanche un taux d'usure extrêmement faible, et par conséquent une durée de vie très longue atteignant plusieurs centaines d'heures.

- 30 Le second type de torche à plasma à arc, à savoir des torches à cathode froide, utilisent une cathode de cuivre, énergiquement refroidie pour l'empêcher d'atteindre la température d'émission thermo-ionique. Dans ce type de torche, on fait souvent appel à des moyens aérodynamiques ou magnétiques ou aux

deux simultanément, pour déplacer à grande vitesse le pied de l'arc sur la cathode, afin de limiter l'érosion de celle-ci. Les torches à cathode froide permettent d'utiliser pratiquement tous les gaz. Néanmoins, la durée de vie de ces cathodes reste limitée à quelques centaines d'heures dans les meilleurs des cas actuellement connus. Ces durées de vie sont nettement inférieures d'une part, à celles des cathodes chaudes, et d'autre part à celles des anodes, qui atteignent couramment un à quelques milliers d'heures.

10

On connaît par le brevet US n° 4,002,466, une torche à plasma utilisable pour la réduction d'oxydes métalliques, en particulier pour la réduction directe de minerais de fer. Cette torche de la technique antérieure comporte une cathode en tungstène et une anode, reliées de façon conventionnelle respectivement aux bornes négative et positive d'une source de courant électrique. Entre la cathode et l'anode est disposée une tuyère, électriquement isolée, destinée notamment à stabiliser l'arc et à empêcher le retour de gaz carboné de l'anode vers la cathode.

La présente invention porte sur une torche à plasma à arc qui réunit les avantages précités des cathodes chaude et froide, sans en présenter les inconvénients, et qui permet de faciliter et d'améliorer la procédure d'établissement de l'arc électrique entre la cathode et l'anode.

30

La torche à plasma à arc électrique qui fait l'objet de la présente invention, est essentiellement caractérisée en ce qu'elle comporte :

- (a) une cathode chaude;
- (b) une électrode intermédiaire, dite électrode d'allumage;
- (c) une anode;
- (d) des moyens d'introduction d'un gaz inerte entre la cathode chaude et l'électrode d'allumage;

35

- (e) des moyens d'introduction d'un gaz plasmagène entre l'électrode d'allumage et l'anode;
- (f) des moyens pour relier la cathode chaude aux pôles négatifs d'une source de courant principale et d'une source
5 de courant d'allumage;
- (g) des moyens pour relier l'électrode d'allumage aux pôles positifs d'une source de courant principale et d'une source de courant d'allumage;
- (h) des moyens pour relier l'anode au pôle positif de la dite
10 source de courant principale.

Selon une variante particulière de l'invention, la torche à plasma comporte deux chambres, séparées par l'électrode d'allumage et mises en communication entre elles par un orifice
15 ménagé dans la dite électrode d'allumage, l'une des deux chambres, dite chambre cathodique, étant équipée de la cathode chaude (a) et des moyens (d) d'introduction d'un gaz inerte, et l'autre chambre, dite chambre anodique, étant constituée en partie par l'anode (c) et étant équipée des moyens (e) d'
20 introduction d'un gaz plasmagène quelconque.

Egalement selon l'invention, les moyens d'introduction de gaz dans au moins une des dites chambres, sont disposés de façon à conférer au gaz un mouvement, de préférence hélicoïdal dans
25 la dite chambre.

Par ailleurs, on sait que de nombreux procédés industriels comportent une injection de matériau carboné qui intervient au titre de combustible ou au titre d'agent réducteur dans
30 des processus très divers. C'est le cas en particulier dans le domaine du haut fourneau, où l'on cherche actuellement à remplacer les injections d'hydrocarbures liquides ou gazeux, trop coûteux, par des injections de matériaux solides, moins chers, tels que du charbon. Ces matériaux solides présentent

cependant l'inconvénient d'une cinétique de réaction très basse, ce qui entraîne des temps de réaction très longs, généralement incompatibles avec la vitesse des processus dans lesquels on les utilise. Pour améliorer cette cinétique de
5 réaction, il est connu depuis longtemps d'utiliser des matériaux présentant une granulométrie de plus en plus fine, obtenue notamment par broyage. Le présent demandeur a franchi récemment une étape supplémentaire dans cette direction en proposant d'injecter, dans un haut fourneau, du carbone à l'
10 état de vapeur, obtenu par sublimation de charbon fin dans une flamme plasma.

Une variante particulièrement intéressante de la présente invention porte sur une torche à plasma permettant précisément
15 la production de carbone gazeux à partir d'un combustible solide.

Conformément à la description qui précède, cette torche à plasma comporte une électrode d'allumage disposée entre une
20 cathode chaude et une anode; elle est en outre caractérisée en ce qu'elle présente au moins un conduit d'alimentation en combustible, qui débouche dans l'espace compris entre l'électrode d'allumage et l'anode, et de préférence immédiatement en amont de la section d'entrée de la chambre anodique.

25 La majeure partie de ce conduit est de préférence parallèle à l'axe longitudinal de la torche à plasma. Cependant, suivant une caractéristique particulière de l'invention, sa sortie est orientée de façon à ce que son axe coupe l'axe longitudinal de
30 l'anode en aval de l'extrémité amont de l'anode. La vitesse avec laquelle le combustible pénètre dans la chambre anodique est ajustée de façon à ce qu'il ne soit pas centrifugé par le gaz plasmagène et qu'il n'obstrue pas les passages d'alimentation de ce dernier. Cette vitesse est réglée en fonction

des débits du combustible et du gaz plasmagène. En aucun cas cependant, la vitesse du combustible ne peut être inférieure à 5 m/s et celle du gaz plasmagène à 50 m/s.

- 5 Dans le cas où la torche à plasma présente plusieurs conduits d'alimentation en combustible, ceux-ci sont avantageusement uniformément répartis autour de l'axe longitudinal de la torche, de façon à assurer une alimentation équilibrée du combustible.

10

Dans un but de comparaison et d'illustration, on va à présent décrire une torche à plasma de la technique antérieure et deux modes de réalisation préférés de torches à plasma conformes à l'invention, en se référant aux figures annexées dans

15 lesquelles :

- la figure 1 représente schématiquement une torche à plasma de la technique antérieure;
 - la figure 2 représente une torche à plasma conforme à la présente invention;
- 20 - la figure 3 représente une torche à plasma comportant un conduit d'alimentation en combustible, conformément à la variante particulière de l'invention.

Il va de soi que ces représentations sont schématiques et ne
25 respectent pas une échelle précise.

Une torche à plasma classique, telle que celle qui est illustrée à la figure 1 comporte une chambre (I) limitée d'une part par une enceinte (1) en matériau isolant et d'autre part par
30 une paroi (2) constituant l'anode, généralement en cuivre. La cathode (3) par exemple en tungstène, est logée dans une paroi de l'enceinte (1), de préférence en face de l'anode (2). Ces deux électrodes (2) et (3) sont reliées respectivement aux pôles positif et négatif d'une source de courant continu ou

redressé. L'enceinte (1) est encore pourvue d'un passage (4) d'introduction du gaz plasmagène et l'anode est percée d'un orifice permettant l'éjection du jet de plasma (5).

- 5 Dans une torche de ce type, la cathode peut être en tungstène, c'est-à-dire "chaude"; elle requiert alors l'emploi d'un gaz chimiquement inerte vis-à-vis de cet élément. Elle peut aussi être "froide", c'est-à-dire en cuivre refroidi, avec les inconvénients rappelés plus haut en ce qui concerne la tenue à
10 l'usure par érosion.

La figure 2 montre une torche à plasma conforme à l'invention, qui ne présente pas ces inconvénients. Cette torche se compose d'une enceinte ouverte (1) en matériau isolant, prolongée
15 par une anode (2) en cuivre.

L'ensemble est divisé en deux chambres (I) et (II) séparées par une électrode d'allumage (6) disposée dans l'enceinte isolante, à une certaine distance de l'extrémité de celle-ci. La
20 chambre (I), dite chambre cathodique, est équipée d'une cathode chaude (3) et pourvue d'un orifice (8) d'introduction d'un gaz chimiquement inerte vis-à-vis du tungstène. La chambre (II) ou chambre anodique, est pourvue d'au moins un passage (4) d'introduction du gaz plasmagène, qui peut être un gaz
25 quelconque. Ce passage (4) est de préférence ménagé dans la partie de la chambre (II) constituée de matériau isolant; il est orienté de façon à conférer au gaz un mouvement hélicoïdal dans la chambre anodique. L'électrode d'allumage est percée d'au moins un canal, de préférence central (7), permettant
30 tant de faire communiquer les deux chambres (I) et (II); ce canal est avantageusement profilé en forme de divergent. La distance entre la cathode (3) et l'électrode d'allumage (6) est réglable et comprise entre 0 et 5 mm, la distance 0 correspondant au contact de la cathode avec l'électrode d'al-

lumage. Le réglage de cette distance est effectué, de préférence, par déplacement de la cathode (3) suivant son axe longitudinal, par exemple au moyen d'un dispositif à vis. L'anode (2) est reliée au pôle positif d'une première source de
5 courant, dite principale; l'électrode d'allumage (6) est reliée simultanément au pôle positif de la source de courant principale et au pôle positif d'une deuxième source de courant, dite d'allumage, de puissance moindre. La puissance de cette source est au minimum de 5 kW et elle est de préférence
10 d'environ 10 kW; sa tension à vide dépend de la nature du gaz cathodique. A titre d'exemple, elle est d'au moins 50 V pour l'argon, 100 V pour l'azote et 200 V pour l'hydrogène.

La cathode (3) est reliée simultanément aux pôles négatifs de
15 ces deux sources de courant, principale et d'allumage. Une troisième source de courant de très faible puissance (au moins 50 W), à haute tension et à haute fréquence, est connectée entre la cathode et l'électrode d'allumage. La tension de cette troisième source est supérieure à la tension dis-
20 ruptive entre la cathode et l'électrode d'allumage (4 kV) et sa fréquence est produite par une décharge oscillante d'un circuit oscillant ou par un transformateur de Tesla.

La torche à plasma de l'invention fonctionne de la façon suivante. On ouvre l'arrivée du gaz cathodique et du gaz plasma-
25 gène. On met en circuit simultanément la deuxième et la troisième source de courant. La mise en circuit de la troisième source de courant rompt la résistance du gaz circulant entre la cathode (3) et l'électrode d'allumage (6), permettant l'é-
30 tablissement d'un courant d'allumage suffisamment élevé (100 - 400 A) entre la cathode et l'électrode d'allumage. Ce courant d'allumage donne naissance à un jet de plasma de faible puissance qui jaillit dans la chambre anodique à travers le canal (7) de l'électrode d'allumage (6). Dès que ce jet de plasma

est établi, on déconnecte la troisième source de courant. On
branche la source de courant principale. Grâce au jet de
plasma précédemment établi, un courant électrique provenant
de cette source principale circule entre la cathode (3) et l'
5 anode (2). On déconnecte alors la source de courant d'allu-
mage, de sorte que seule la source de courant principale res-
te en circuit.

La torche à plasma illustrée par la figure 3 est, dans son
10 principe, conforme au schéma de la figure 2 et les pièces
correspondantes sont désignées par les mêmes repères numéri-
ques. La description relative à la figure 2 est également ap-
plicable à la torche de la figure 3 et il n'est donc pas né-
cessaire de la répéter. Toutefois, la torche de la figure 3
15 présente plusieurs caractéristiques supplémentaires qu'il est
intéressant de préciser.

La cathode chaude (3) présente une tête pointue, de façon à
permettre un allumage aisé de la torche à plasma. La cathode
20 (3) est en outre pourvue d'un conduit de refroidissement (9)
alimenté en eau en (10).

L'électrode d'allumage (6) en cuivre est également refroidie
par eau, par un circuit qui peut être mis en série avec celui
25 de la cathode; l'eau de refroidissement est évacuée par la
sortie (11). L'extrémité aval de l'électrode d'allumage (6)
porte une couronne dans laquelle sont ménagés plusieurs pas-
sages (4) sous la forme de conduits ou de canaux, pour l'in-
troduction du gaz plasmagène. Ces passages (4) sont uniformé-
30 ment répartis dans la couronne, leurs orifices de sortie, dans
la surface intérieure de la couronne, sont disposés très près
l'un de l'autre, et sont de préférence jointifs, de telle fa-
çon que le gaz plasmagène forme un jet continu sur toute la
périphérie intérieure de la couronne. Ces passages (4) sont

en outre orientés de façon sensiblement tangentielle à la surface intérieure de la couronne, de telle façon que le gaz plasmagène sortant soit animé d'un mouvement hélicoïdal dans la chambre anodique (II). Enfin, la vitesse du gaz plasmagène
5 doit être d'au moins 50 m/s à l'entrée de la chambre anodique.

L'anode (2) est pourvue d'un circuit de refroidissement périphérique en spirale, constitué d'ailettes hélicoïdales (12) coiffées d'un tube (13); l'eau de refroidissement arrive en
10 (14) et est évacuée en (15).

Entre l'électrode d'allumage (6) et l'anode (2) est logée une bague (16) en matériau réfractaire, électriquement isolant, qui est centrée sur l'axe longitudinal de la torche. Le ma-
15 tériau constitutif de cette bague est de qualité courante; il est par exemple, constitué d'amiante, de silice, d'alumine ou de nitrure de bore. Cette bague est appliquée sur la face d'extrémité aval de l'électrode d'allumage (6), et, le cas échéant, elle ferme les canaux (4) creusés dans cette face.
20 Par son autre face, la bague (16) prend appui dans un épaulement prévu dans l'enceinte (1) et elle constitue la surface d'appui de la section d'entrée de l'anode (2). Le diamètre intérieur de la bague (16) est au moins égal à celui de l'anode (2), et de préférence égal au diamètre intérieur de l'a-
25 node + 10 mm.

A travers le corps de la torche à plasma est ménagé un conduit (17) d'alimentation en combustible, par exemple en charbon fin transporté par un gaz sous pression. Le tronçon de
30 sortie (18) de ce conduit traverse l'électrode d'allumage (6) et débouche à l'intérieur de la bague (16). L'axe de sortie de ce tronçon (18) coupe l'axe longitudinal de l'anode (2) sous un angle d'environ 45°.

35 En ce qui concerne la production du plasma, cette torche fonctionne de la même manière que celle de la figure 2. On intro-

duit par (8) dans la chambre cathodique (I) un gaz cathodique inerte par rapport au tungstène, par exemple de l'azote, de l'hydrogène, des gaz rares ou un mélange de ces gaz. Le gaz plasmagène est introduit à l'entrée de la chambre anodique (II), par les passages (4) ménagés dans la couronne de l'électrode d'allumage (6).

Le charbon fin est introduit en (19) dans le conduit (17, 18) et il est injecté dans la chambre anodique (II) dans laquelle il passe à l'état de vapeur sous l'effet de la température élevée, supérieure à 3500°C, régnant dans le jet de plasma.

Pour assurer une sublimation rapide et complète du charbon, on utilise de préférence un charbon fin, de la qualité dite "pour chaudières", c'est-à-dire présentant environ 70 % des grains inférieurs à 74 μm .

Le gaz porteur du charbon est de préférence l'air, éventuellement enrichi en azote pour des raisons bien connues de sécurité à l'explosion.

Il convient encore d'éviter que le charbon fin se dépose et s'accumule à la sortie du conduit (18) qui finirait par être obstrué. Le Demandeur a trouvé que ce risque d'obstruction n'existait pas lorsque la vitesse d'injection du charbon était d'au moins 5 m/s.

Dans ces conditions, le charbon injecté ne s'accumule pas et n'obstrue pas la torche, il est quasi complètement sublimé et il se trouve ainsi sous la forme de carbone gazeux qui, injecté par exemple dans un haut fourneau, réagit très rapidement avec les minerais oxydés et avec l'oxygène du vent chaud.

En fonctionnement en régime, c'est-à-dire en dehors de la période d'allumage, la puissance des torches à plasma de l'in-

vention peut être réglée de trois façons différentes.

Un premier moyen consiste à utiliser des gaz cathodiques de nature différente. Ainsi, toutes choses restant égales par
5 ailleurs, le remplacement de l'argon par de l'azote permet d'augmenter la puissance d'environ 20 %.

D'autre part, on peut également agir sur la puissance en faisant varier le courant d'arc par tout moyen électrique appro-
10 prié. Pour une tension constante, la puissance est en effet sensiblement proportionnelle à l'intensité du courant d'arc.

Enfin, il est possible de régler la puissance de la torche en ajustant le débit du gaz introduit dans la chambre anodique.
15 Lorsque le courant d'arc reste constant, la puissance de la torche est sensiblement proportionnelle au débit du gaz anodique.

Dans le cas de la variante de la torche comportant une injection de charbon, il faut tenir compte de la gazéification du
20 carbone et de l'apport supplémentaire correspondant de gaz, qui provoque une modification de la puissance. En outre, l'apport de carbone gazeux entraîne une modification de la composition du gaz, ce qui influence la tension de fonctionnement de la torche. Il en résulte que la puissance ne variera
25 pas nécessairement de la même façon que dans le cas d'une augmentation de débit de gaz à composition constante.

La description qui précède montre que les torches à plasma de
30 l'invention réunissent les avantages des cathodes chaude et froide, à savoir une durée de vie très élevée et la possibilité d'utiliser un gaz plasmagène quelconque, tout en évitant leurs inconvénients respectifs.

Il va de soi que l'invention n'est pas strictement limitée aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits de façon plus détaillée, mais qu'elle s'étend également à toute variante rentrant dans le cadre défini par les revendications

5 ci-après.

Revendications

1. Torche à plasma à arc électrique, alimentée en courant électrique continu ou redressé, caractérisée en ce qu'elle comporte :
- (a) une cathode chaude,
 - 5 (b) une électrode intermédiaire, dite électrode d'allumage;
 - (c) une anode;
 - (d) des moyens d'introduction d'un gaz inerte entre la cathode chaude et l'électrode d'allumage;
 - (e) des moyens d'introduction d'un gaz plasmagène entre l'é-
 - 10 lectrode d'allumage et l'anode;
 - (f) des moyens pour relier la cathode chaude aux pôles négatifs d'une source de courant principale et d'une source de courant d'allumage;
 - (g) des moyens pour relier l'électrode d'allumage aux pôles
 - 15 positifs d'une source de courant principale et d'une source de courant d'allumage;
 - (h) des moyens pour relier l'anode au pôle positif de la dite source de courant principale.
- 20 2. Torche à plasma suivant la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte deux chambres séparées par la dite électrode intermédiaire et mises en communication par au moins un passage ménagé dans la dite électrode intermédiaire, l'une des deux chambres, dite chambre cathodique,
- 25 étant équipée de la dite cathode chaude et des moyens d'introduction d'un gaz inerte, et l'autre chambre, dite chambre anodique, étant constituée en partie par la dite anode et étant équipée des moyens d'introduction d'un gaz plasmagène.

3. Torche à plasma suivant l'une ou l'autre des revendications 1 et 2, caractérisée en ce qu'elle présente au moins un conduit d'alimentation en combustible, qui débouche dans l'espace compris entre l'électrode d'allumage et l'anode, et
5 de préférence immédiatement en amont de la section d'entrée de la chambre anodique.

4. Torche à plasma suivant la revendication 3, caractérisée en ce que le tronçon de sortie du dit conduit d'alimentation
10 est orienté de telle façon que son axe coupe l'axe longitudinal de l'anode en aval de l'extrémité amont de l'anode.

5. Torche à plasma suivant l'une ou l'autre des revendications 3 et 4, caractérisée en ce qu'elle comporte, entre l'
15 électrode d'allumage et l'anode, une bague en matériau réfractaire, électriquement isolant, dont le diamètre intérieur est au moins égal à celui de la chambre anodique (II), et de préférence sensiblement égal au diamètre intérieur de la chambre anodique + 10 mm.

20

6. Torche à plasma suivant l'une ou l'autre des revendications 2 à 5, caractérisée en ce que les moyens d'introduction d'un gaz dans au moins une des dites chambres sont disposés de façon à conférer au gaz un mouvement, de préférence hélicoïdal, dans la dite chambre.

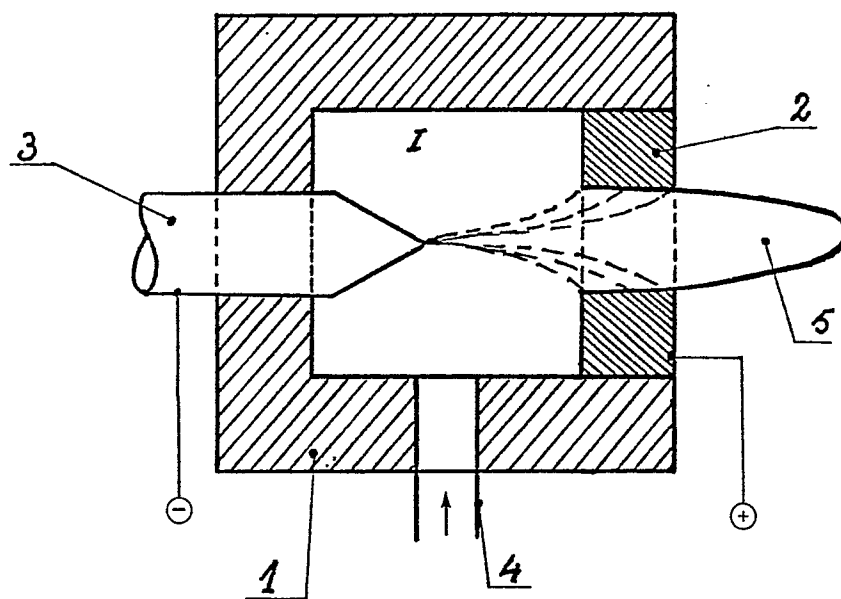
$$\begin{array}{c} -1 \\ | \\ 2 \end{array}$$


Fig. 1

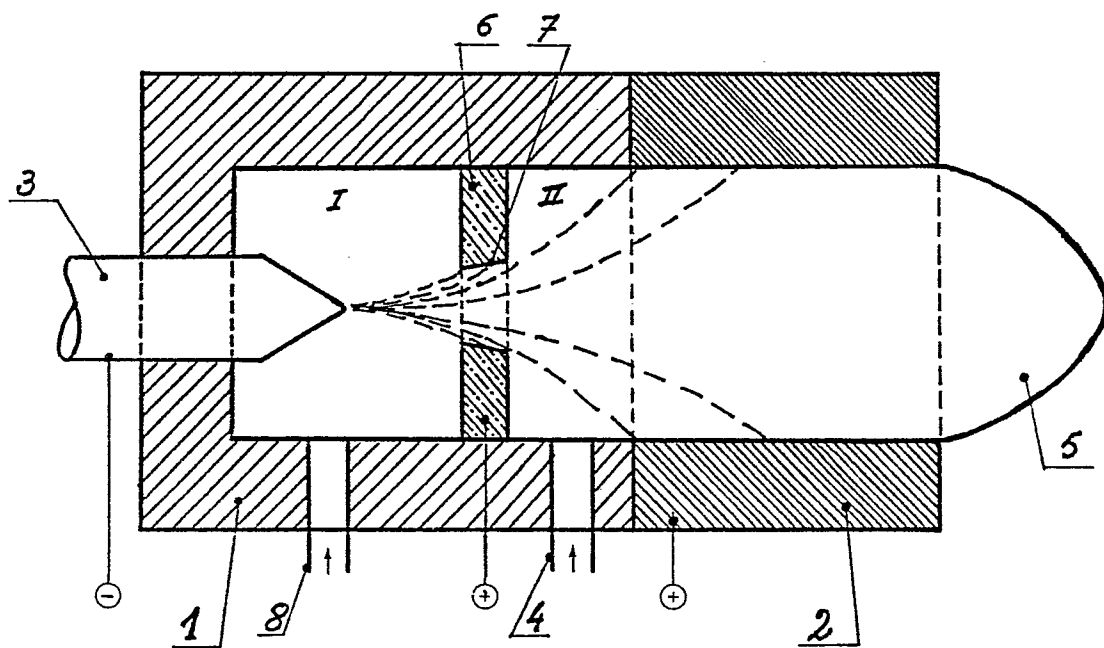


Fig. 2

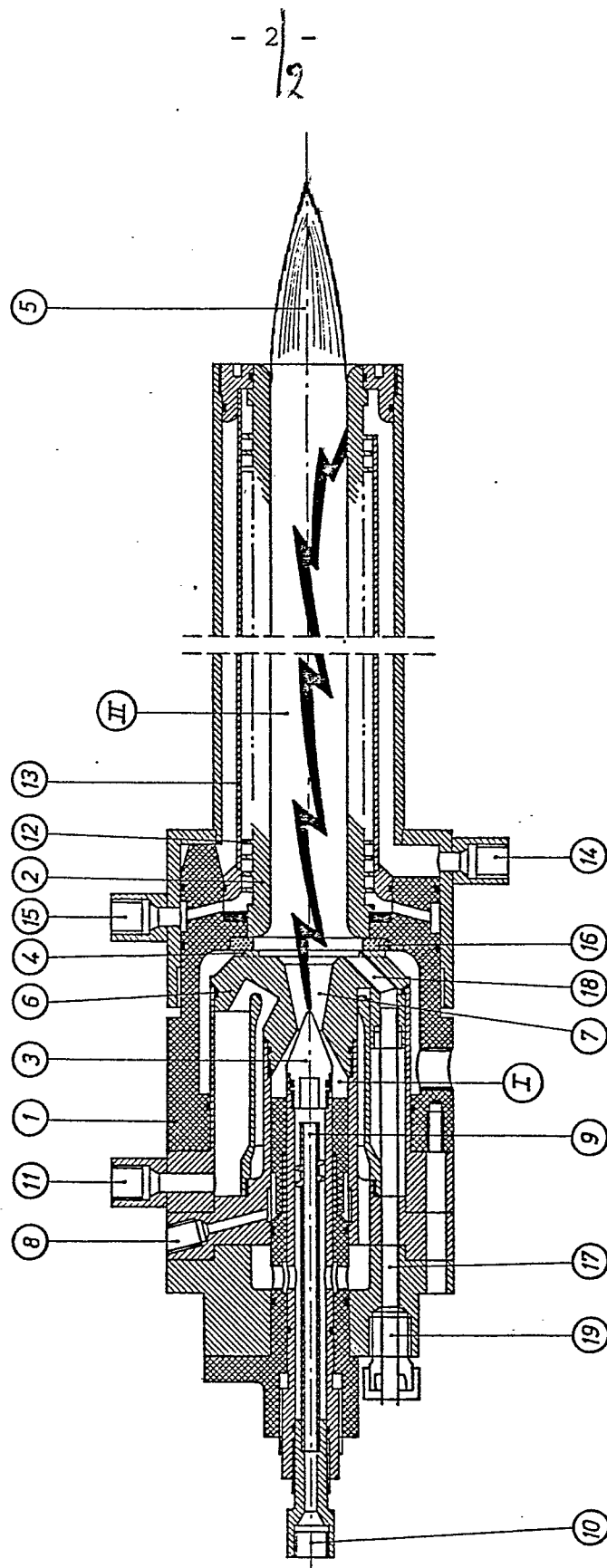


FIG. 3.