

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫ Date de dépôt : 20.06.91.

③ Priorité : 12.07.90 US 552711.

④ Date de la mise à disposition du public de la demande : 17.01.92 Bulletin 92/03.

⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Le rapport de recherche n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦ Demandeur(s) : Société dite: OLIN CORPORATION
— US.

⑦ Inventeur(s) : Simon Mark A. et Butler George W.

⑦ Titulaire(s) :

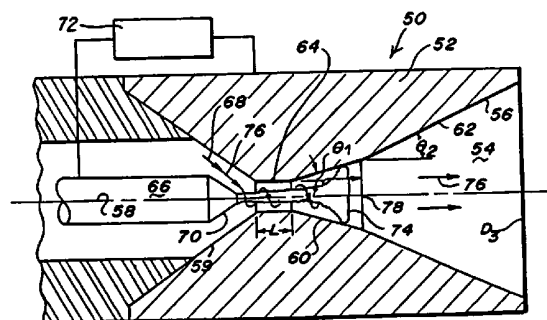
⑦ Mandataire : Cabinet Beau de Loménie.

⑤ Propulseur à réaction et à arc électrique et anode pour un tel propulseur.

⑦ L'invention concerne un propulseur à réaction et à arc électrique.

Elle se rapporte à un propulseur comprenant un corps anodique (52) qui, après une partie cylindrique de rétrécissement (64), comprend une première partie divergente (60) de recombinaison et une seconde partie divergente (62) de détente. Ces deux régions se raccordent à une transition correspondant à un angle de divergence compris entre 5 et 15°, le rapport des diamètres de la transition à la partie de rétrécissement étant compris entre environ 1,5 et 4,0.

Application à l'augmentation du rendement des propulseurs à réaction et à arc électrique.



La présente invention concerne de façon générale des dispositifs électrothermiques de propulsion et plus précisément elle concerne un propulseur perfectionné à réaction et à arc électrique.

5 Les propulseurs habituels à réaction et à arc électrique utilisent un arc électrique pour le chauffage d'un courant de propergol lorsque celui-ci passe dans une chambre de formation d'un arc ayant la configuration générale d'une tuyère qui converge et qui diverge. Le
10 propulseur classique a habituellement un corps anodique creux délimitant une cavité formant la tuyère. Une cathode cylindrique est alignée coaxialement sur la tuyère et est distante de celle-ci. L'anode et la cathode sont habituellement formées de tungstène ou d'un autre alliage métal-
15 lique résistant aux températures élevées.

Des exemples de propulseurs à réaction et à arc électrique sont décrits dans les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 3 603 089 et 3 425 223, et ils sont aussi décrits dans l'ouvrage "Physics of Electric Propulsion" de
20 Robert G. Jahn, MacGraw Hill, pages 90 à 130. Des propulseurs à réaction et à arc électrique ayant un rendement accru sont l'objet des brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 4 800 716, 4 882 465 et 4 926 632.

La figure 1 représente, en coupe schématique, un
25 exemple simplifié de propulseur classique à réaction et à arc électrique. Ce propulseur à réaction et à arc électrique 10 a un corps anodique 12 qui est creux de façon générale et qui délimite une tuyère divergente 14. La tuyère 14 est symétrique autour d'un axe central 16. Une
30 cathode cylindrique 18 qui a un bout cathodique 20 de forme générale conique est alignée coaxialement au corps anodique 12 et est à une certaine distance en amont de ce corps. Le bout cathodique est séparé du corps anodique 12 par un espace 22.

35 Un propergol gazeux 24 est transmis sous forme d'un courant tourbillonnaire dans la tuyère 14 par l'intermédiaire de l'espace 22, le long du col 26 de la tuyère et

d'une partie 28 de rétrécissement, et il se détend dans une partie divergente 30 de la tuyère 14 afin qu'il crée une poussée.

5 Simultanément, un potentiel électrique est appliqué entre la cathode 18 et le corps anodique 12 et crée un arc électrique 32 dans l'espace 22. L'arc 32 qui provient de la cathode est poussé dans le col 26 et dans le rétrécissement cylindrique 28 par le courant de propergol si bien que l'extrémité aval de l'arc 32 s'accroche au corps anodique 10 12 dans la partie divergente 30 de la tuyère 14. Le rétrécissement 28 a pour rôle d'allonger l'arc et de prolonger le temps de contact de l'arc avec le propergol. Ceci augmente le transfert de chaleur entre l'arc 32 et le propergol 24 qui circule dans le rétrécissement 28.

15 La longueur de rétrécissement est choisie d'après l'application particulière du propulseur. Dans certaines applications, le rétrécissement peut ne pas être souhaitable. Dans ce cas, le rétrécissement a en fait une longueur nulle.

20 Le courant tourbillonnaire du propergol formé dans le rétrécissement 28, vers la partie divergente 20 de la tuyère, crée une région centrale de faible densité le long de l'axe 16, dans le rétrécissement 28, cette région ayant tendance à stabiliser l'arc 22. En outre, le courant 25 tourbillonnaire du propergol 24 passant dans le rétrécissement 28 est de préférence laminaire à proximité de la surface du rétrécissement 28. Cet écoulement laminaire du propergol assure en fait l'isolement de la partie du corps anodique 12 à proximité du rétrécissement 28. Ceci réduit 30 au minimum le transfert de chaleur de l'arc au corps anodique 12 dans la région du rétrécissement.

La température élevée et les champs électromagnétiques de l'arc électrique 32 provoquent essentiellement une excitation thermique, une ionisation et une dissociation partielle du propergol 24 lorsqu'il s'écoule dans le 35 col, le rétrécissement et la partie divergente de la tuyère 14. Le propergol ionisé et dissocié 24 se détend alors dans

la partie divergente 30 en créant une poussée. Le rendement de conversion de l'énergie électrique de l'arc 32 en énergie cinétique dans le propulseur à réaction et à arc électrique 10 est limité partiellement par l'énergie qui est transférée de l'arc aux molécules de gaz subissant une dissociation et une ionisation du propergol gazeux lors du passage dans l'arc, dans le col et dans le rétrécissement 28.

Une partie de cette énergie peut être récupérée par recombinaison et association des ions et des espèces neutres. Cependant, la recombinaison et la désionisation se produisent lentement par rapport au temps de transit du propergol dans la tuyère et en conséquence se produisent en aval de la tuyère. Ainsi, l'énergie utilisée pour la dissociation et l'ionisation du propergol gazeux est en fait perdue. Cette perte est appelée en général "perte due à un écoulement gelé". Les pertes dues à un écoulement gelé limitent le rendement qui peut être obtenu dans les réalisations classiques de propulseurs à réaction et à arc électrique à un rendement de 30 % environ.

On a envisagé et exécuté diverses tentatives de récupération des pertes dues à l'écoulement gelé, afin que le rendement des propulseurs à réaction et à arc électrique soit accru. La figure 2 représente une telle tentative. Dans cette coupe simplifiée de propulseur à réaction et à arc électrique 40 réalisé par Gianninni Corporation, on a considéré que, si la totalité de l'arc 32 pouvait être retenue dans le rétrécissement 42 et si une chambre de mélange était effectivement produite, les pertes dues à l'écoulement gelé seraient récupérées. Dans cette réalisation de la technique antérieure, le rétrécissement 42 comprenait un tronçon élargi 44 de chambre de mélange se terminant à un col 46. L'arc 32 était fixé au corps anodique 12 à l'intérieur de la partie élargie 44. La chambre 44 de mélange a donné un plus grand temps de séjour du gaz lors de son passage dans le rétrécissement 42 et a permis

une recombinaison partielle et donc une certaine récupération des pertes dues à l'écoulement gelé.

Cependant, comme l'emplacement de fixation de l'arc se trouvait dans la chambre 44 de mélange, une quantité importante de chaleur a été transférée à la paroi anodique, si bien que l'augmentation globale du rendement a été finalement très faible ou nulle.

Ainsi, il est toujours nécessaire de réaliser un propulseur à réaction et à arc électrique ayant un rendement accru et qui réduit au minimum les pertes, qui permet la récupération des pertes dues à l'écoulement gelé et qui augmente au maximum le rendement de conversion d'énergie électrique en énergie de poussée.

L'invention a donc pour objet la réalisation d'un propulseur à réaction et à arc électrique à rendement accru ayant des pertes réduites par écoulement gelé.

L'invention concerne aussi un tel propulseur à réaction et à arc électrique ayant une plus grande durée de fonctionnement.

Elle concerne aussi un propulseur à réaction et à arc électrique ayant des performances accrues et travaillant avec une tension élevée pour un niveau donné de puissance.

Le propulseur à réaction et à arc électrique selon l'invention est un propulseur ayant une tuyère convergente-divergente. La partie divergente de la tuyère comporte une partie divergente de recombinaison associée à une partie divergente de détente, permettant une récupération des pertes dues à l'écoulement gelé et leur transformation en une poussée utile. La partie de détente a une divergence plus grande que la partie de recombinaison. Le passage du courant tourbillonnaire du propergol gazeux ionisé, dans le col et/ou le rétrécissement, est retardé dans la partie de recombinaison de la tuyère divergente afin que la recombinaison soit possible et que la chaleur soit transmise au gaz sous forme d'énergie cinétique. En d'autres termes, la partie de recombinaison permet une relaxation des modes à

énergie des ions, de dissociation et de rotation en modes de translation qui peuvent alors être transformés en poussée dans la tuyère. Ainsi, une partie des pertes dues à l'écoulement gelé est récupérée avant l'entrée du gaz dans la partie divergente de détente de la tuyère.

On a constaté que la transition entre la partie de recombinaison et la partie de détente devait se trouver dans une région particulière, en aval du rétrécissement.

Cette région de transition de la tuyère est délimitée axialement par un diamètre de tuyère égal à 1,5 fois environ le diamètre du rétrécissement et un diamètre de tuyère égal à 4,0 fois environ le diamètre du rétrécissement, l'angle de divergence à partir du rétrécissement étant compris entre environ 5 et 15°.

La configuration de la transition peut être progressive ou nette. Par exemple, une configuration régulière peut être utilisée dans la mesure où la transition se produit dans la région indiquée précédemment, et une recombinaison importante se produit et provoque une augmentation notable du rendement.

Une disposition préférée ayant des parties coniques de recombinaison et de détente est essentiellement une tuyère divergente à angle double. Elle crée une région de pression élevée dans la partie de recombinaison, qui augmente la recombinaison des ions et donc la récupération des pertes dues à l'écoulement gelé. Une augmentation du rendement global d'environ 7 % a été obtenue.

La partie de détente a un demi-angle de conicité compris entre 20 et 40°. La partie de recombinaison a un demi-angle de conicité compris entre 5 et 15°. En outre, le rapport des diamètres de la transition des parties de recombinaison et de détente et du col ou rétrécissement est de préférence compris entre environ 1,5 et 4,0. Dans un mode de réalisation préféré optimisé, les angles de conicité sont de 7° pour la partie de recombinaison et de 20° pour la partie de détente.

Le propulseur à réaction et à arc électrique selon

l'invention donne aussi une tension d'arc qui est nettement supérieure à celle d'une tuyère à réaction et à arc électrique classique comparable travaillant avec la même puissance et les mêmes débits. Ceci permet le fonctionnement d'un propulseur à réaction et à arc électrique avec une intensité de courant nettement réduite pour une même tension appliquée si bien que la durée d'utilisation du propulseur est accrue, la dimension globale est réduite, et la fiabilité est accrue.

10 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre d'exemples de réalisation, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 est une coupe longitudinale partielle schématique d'un propulseur à réaction et à arc électrique classique déjà connu ;

la figure 2 est une coupe partielle d'un autre propulseur classique à réaction et à arc électrique ;

la figure 3 est une coupe partielle d'un propulseur à réaction et à arc électrique ayant une tuyère à angle double selon l'invention ;

la figure 4 est un graphique indiquant la variation de l'impulsion spécifique avec le rapport de la puissance au débit, permettant la comparaison de l'impulsion spécifique qui peut être obtenue dans un mode de réalisation de tuyère selon l'invention avec celle d'une tuyère connue telle que représentée sur la figure 1 ;

la figure 5 est un graphique représentant la variation de la fraction molaire en fonction de la vitesse de recombinaison, et elle illustre les effets de la pression sur la vitesse de recombinaison dans le cas d'un propergol formé d'hydrazine ; et

la figure 6 est une coupe longitudinale partielle agrandie du propulseur de la figure 3, représentant l'emplacement de la région de transition.

La figure 3 représente schématiquement un mode de réalisation préféré de propulseur à réaction et à arc

électrique selon l'invention. Ce propulseur à réaction et à arc électrique 50 comporte un corps anodique 52 qui est conducteur de l'électricité et qui a une cavité anodique 54 qui délimite une tuyère convergente-divergente 56, symétrique autour d'un axe central 58. Dans ce mode de réalisation, la cavité 54 a une partie convergente 59 et une partie divergente conique 60 de recombinaison et une partie divergente conique 62 de détente qui sont montées en tandem.

10 Dans une variante, comme représenté sur la figure 3, la cavité anodique 54 peut comporter en outre une partie cylindrique 64 de rétrécissement placée en amont de la partie 60 de recombinaison et se raccordant à celle-ci, coaxialement à l'axe 58. La partie 64 de rétrécissement
15 constitue en fait un col de tuyère ayant une longueur L. Cette longueur L est de préférence à peu près égale au diamètre D du rétrécissement.

Un corps cathodique 66, ayant une forme cylindrique de façon générale, est placé coaxialement le long de l'axe
20 58 et il est séparé de la partie convergente 59 du corps anodique 52 par un espace 68. La cathode 66 comporte de préférence un bout pointu 70 de forme conique de façon générale. Un dispositif d'alimentation en courant électrique, par exemple une alimentation continue 72, est
25 connecté électriquement au corps cathodique 66 et au corps anodique 52 afin qu'un arc électrique 74 se forme dans l'espace 68. Un courant tourbillonnaire de propergol gazeux 76 est injecté, de préférence tangentiellement, le long du bout cathodique 70 dans l'espace 68 et radialement et
30 tangentiellement vers le rétrécissement 64. Le courant tourbillonnaire du propergol 76 pousse une première extrémité de l'arc 74 vers l'aval dans le rétrécissement 64 si bien que l'arc se fixe de manière diffuse à l'anode 52 soit dans la partie 60 de recombinaison soit dans la partie
35 divergente 62 de détente, suivant la pression d'alimentation du propergol 76. Comme décrit précédemment, l'arc assure le chauffage, la dissociation et l'ionisation au

moins partielle du propergol gazeux 76 lorsque le gaz circule dans le rétrécissement 64.

La partie 62 de détente a un angle de divergence (θ_2) supérieur à celui de la partie de recombinaison 60 (θ_1). La partie de détente 62 et la partie 60 de recombinaison ont une forme conique sur la figure 3. Il faut noter que ces parties ne sont pas obligatoirement coniques dans la mesure où la partie de détente a un angle de divergence supérieur à celui de la partie de recombinaison.

La divergence de la partie 60 de recombinaison, comme elle est inférieure à celle de la partie divergente de détente 56, c'est-à-dire comme $\theta_1 < \theta_2$, provoque un retardement temporaire de la réduction de pression et de la détente du propergol ionisé et dissocié 76. Ce retard provoque la création d'une région à pression relativement élevée dans la partie divergente 60 de recombinaison de la tuyère, permettant alors une recombinaison partielle des espèces ionisées et neutres du propergol gazeux 76. La comparaison des vitesses de recombinaison à diverses pressions est donnée par la figure 5. Cette figure indique que le retard, à une pression relativement élevée, permet une récupération au moins partielle des pertes dues à un écoulement gelé qui sont rendues au gaz.

En d'autres termes, lorsque les ions et les espèces neutres se recombinent dans la partie 60 de recombinaison, de la chaleur est fournie au gaz et est disponible pour une conversion en poussée lorsque le gaz se détend dans la partie divergente 62 de détente de la tuyère 56. La partie de propergol qui se recombine dans la partie 60 augmente ainsi le rendement global de conversion d'énergie du propergol gazeux 76 qui s'écoule dans la tuyère 56 du propulseur à réaction et à arc électrique 50. On a montré que le rendement global qui pouvait être obtenu, selon l'invention, passait de 33 à plus de 37 % par rapport à la tuyère à profil continu ayant simplement une divergence de 20°.

L'impulsion spécifique du propergol gazeux, pour

différents rapports de la puissance au débit, lorsqu'elle est utilisée dans le propulseur selon l'invention, est représentée par la figure 4 sur laquelle les cercles correspondent à la tuyère à profil continu et les triangles
5 correspondent à la tuyère à angle double selon l'invention. L'impulsion spécifique obtenue avec de l'hydrazine dans le propulseur à réaction et à arc électrique dans un mode de réalisation préféré de l'invention est représentée par la courbe 80. L'impulsion spécifique qu'on attribue à la tuyère
10 de la technique antérieure ayant un angle de divergence de 20° , comme représenté sur la figure 1, est indiquée par la courbe 82 de la figure 4. On peut noter facilement que l'impulsion spécifique du propulseur selon l'invention est supérieure d'environ 10 à 20 s à celle de la tuyère connue
15 pour des rapports de la puissance au débit de 3,2 à $3,8 \cdot 10^{-7}$ J/kg, particulièrement intéressants dans les propulseurs ayant une puissance inférieure à 2,5 kW.

Le phénomène qu'on considère comme responsable de l'augmentation du rendement observé est illustré sur la
20 figure 5. L'énergie normalement perdue sous forme d'un écoulement gelé peut être récupérée si les conditions convenables sont créées pour l'augmentation des vitesses de recombinaison et de relaxation ou pour l'augmentation du temps disponible pour la récupération, avec réduction au
25 minimum des pertes de chaleur vers les parois de l'anode du propulseur. Les vitesses de recombinaison augmentent notablement lorsque la pression est accrue. Par exemple, à une pression de 1 bar, la vitesse de recombinaison est à peu près quatre fois celle du même gaz à une pression
30 moitié. Dans le propulseur représenté sur la figure 3, la région 60 de recombinaison crée une région divergente de pression relativement élevée dans laquelle la recombinaison et la récupération de l'énergie de l'écoulement gelé peuvent être réalisées.

35 Les relations dimensionnelles entre la partie divergente de détente et la partie de recombinaison sont

importantes pour un propulseur à réaction et à arc électrique ayant ce rendement accru. Ces relations sont essentiellement représentées par la coupe partielle agrandie de la figure 6.

5 La transition 78 entre la partie 62 de détente et la partie 60 de recombinaison doit se trouver dans une région 84 de transition. La transition peut être nette, comme dans la réalisation à angle double, ou peut être sous forme d'une courbe régulière, tant que la transition se trouve
10 dans cette région de transition. En outre, les parties de recombinaison et de détente peuvent être coniques comme représenté ou en forme de trompette courbée.

 La région 84 de transition est directement liée au diamètre D du rétrécissement. La région 84 est délimitée
15 axialement à un emplacement amont dont le diamètre est d'environ $1,5 D$ et par un emplacement aval dont le diamètre est égal à environ $4,0 D$, les angles de divergence étant compris entre environ 5 et 15° à partir de la sortie 86 du rétrécissement.

20 Dans les configurations coniques représentées sur les figures 3 et 6, on a constaté que le rendement global était optimal lorsque la partie 60 de recombinaison avait un demi-angle de conicité (θ_1) compris entre 5 et 15° environ, et la partie de détente avait un demi-angle de
25 conicité (θ_2) compris entre 20 et 40° environ. Le diamètre de l'embouchure circulaire de la tuyère 56 forme de préférence, avec la partie de rétrécissement, un rapport compris entre environ 30 et 250 .

 Plus précisément, le rendement optimal pour le
30 propergol N_2H_4 peut être obtenu avec un angle θ_1 égal à 7° environ et un angle θ_2 égal à 20° environ. On a constaté que la longueur L de la partie 64 de rétrécissement était optimale lorsqu'elle était à peu près égale au diamètre de la partie 64 de rétrécissement.

35 La réalisation de la tuyère selon l'invention qui permet la récupération de l'énergie due à l'écoulement gelé dans une région divergente de recombinaison, avec une

vitesse relativement réduite de détente du propergol juste en aval du col ou du rétrécissement de la tuyère, suivi par une région de détente ayant une vitesse de détente beaucoup plus grande, donne un rendement global de conversion d'énergie électrique en énergie cinétique bien supérieur à celui des réalisations antérieures de tuyères à réaction et à arc électrique. En outre, la réalisation de la tuyère assure un fonctionnement électrique du propulseur avec une tension d'arc nettement supérieure à celle des réalisations classiques de propulseurs à réaction et à arc électrique travaillant avec la même puissance et les mêmes débits.

Par exemple, dans le cas de la figure 4, une tuyère de 1,7 kW selon l'invention utilise une tension appliquée de 176 V et un courant de 9,7 A. Au contraire, la tuyère classique de 1,7 kW telle que représentée sur la figure 1 utilisait une tension de 126 V et un courant de 13,5 A. Ainsi, dans le cas du propulseur à réaction et à arc électrique selon l'invention, l'intensité du courant est réduite de plus de 25 % pour une même puissance et de mêmes débits. Ceci illustre la possibilité de réduction des vitesses d'érosion de l'anode et de la cathode habituellement observée dans les propulseurs classiques à réaction et à arc électrique à rétrécissement. Le propulseur a une longue durée et donne des avantages pour l'ensemble du système. Par exemple, l'alimentation peut avoir une dimension réduite, la taille et la masse des câbles électriques peuvent être réduites, etc.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme de l'art aux propulseurs et aux corps anodiques qui viennent d'être décrits uniquement à titre d'exemples non limitatifs sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Propulseur à réaction et à arc électrique, caractérisé en ce qu'il comprend :

un corps anodique (52) conducteur de l'électricité,
5 ayant une cavité (54) qui délimite une tuyère divergente
symétrique autour d'un axe central (58), la tuyère ayant un
rétrécissement cylindrique (64), une partie divergente (60)
de recombinaison et une partie divergente (62) de détente,
la partie divergente de détente (62) ayant un angle de
10 divergence supérieur à celui de la partie de recombinaison
(60),

un corps cathodique (66) coaxial au corps anodique
et séparé de celui-ci par un espace,

un dispositif (72) d'alimentation en courant élec-
15 trique, connecté aux corps cathodique et anodique afin
qu'il crée un arc électrique dans l'espace formé entre les
corps, et

un dispositif (68) d'injection d'un courant tourbil-
lonnaire de propergol gazeux dans ledit espace et dans la
20 tuyère, l'arc provoquant une ionisation et une dissociation
au moins partielle du propergol gazeux,

le courant de propergol poussant une extrémité de
l'arc dans la partie de recombinaison (60), une partie du
propergol ionisé et dissocié se recombinaison dans la partie
25 de recombinaison (60) en accroissant le rendement de
conversion de l'énergie du propergol gazeux circulant dans
la tuyère.

2. Propulseur selon la revendication 1, caractérisé
en ce que chacune des parties divergentes (60, 62) a une
30 forme générale conique.

3. Propulseur selon la revendication 2, caractérisé
en ce que la partie de recombinaison (60) a un demi-angle
de conicité compris entre environ 5 et 15°.

4. Propulseur selon la revendication 2, caractérisé
35 en ce que la partie de détente (62) a un demi-angle de
conicité compris entre environ 20 et 40°.

5. Propulseur selon la revendication 3, caractérisé

en ce que la partie de détente (62) a un demi-angle de conicité inférieur ou égal à 40° environ.

5 6. Propulseur selon la revendication 2, caractérisé en ce que la partie de recombinaison (60) et la partie de détente (62) se raccordent à une transition circulaire, la transition et le rétrécissement (64) ayant un rapport des diamètres de la transition et du rétrécissement qui est compris entre environ 1,5 et 4,0.

10 7. Propulseur selon la revendication 6, caractérisé en ce que la partie de détente (62) aboutit à une embouchure circulaire, l'embouchure et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport de diamètres de l'embouchure à la partie de rétrécissement qui est compris entre environ 30 et 250.

15 8. Propulseur selon la revendication 6, caractérisé en ce que la longueur de la partie cylindrique de rétrécissement (64) est à peu près égale à son diamètre.

20 9. Propulseur selon la revendication 5, caractérisé en ce que la partie de recombinaison (60) et la partie de détente (62) se raccordent à une transition circulaire, la transition et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport des diamètres de la transition au rétrécissement compris entre environ 1,5 et 4,0.

25 10. Propulseur selon la revendication 9, caractérisé en ce que la partie de détente (62) aboutit à une embouchure circulaire, l'embouchure et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport des diamètres de l'embouchure et de la partie de rétrécissement compris entre environ 30 et 250.

30 11. Propulseur à réaction et à arc électrique, caractérisé en ce qu'il comprend :

un corps anodique (52) conducteur de l'électricité et ayant une cavité centrale qui délimite une tuyère symétrique autour d'un axe central (58),

35 un corps cathodique (66) conducteur de l'électricité, symétrique autour de l'axe et séparé du corps anodique par un espace,

un dispositif d'injection d'un courant tourbillonnaire d'un propergol gazeux dans ledit espace et dans la tuyère, et

un dispositif (72) d'alimentation en courant électrique, connecté à la cathode et à l'anode et destiné à créer un arc électrique dans ledit espace,

la tuyère ayant une partie cylindrique (64) de rétrécissement, une partie divergente conique (60) de recombinaison qui a un premier demi-angle de conicité, et une partie divergente conique (62) de détente qui a un second demi-angle de conicité supérieur au premier demi-angle de conicité, le premier demi-angle de conicité étant compris entre environ 5 et 15°.

12. Propulseur selon la revendication 11, caractérisé en ce que le second demi-angle de conicité est compris entre environ 20 et 40°.

13. Propulseur selon la revendication 12, caractérisé en ce que le premier angle est de l'ordre de 7°.

14. Propulseur selon la revendication 13, caractérisé en ce que le second angle est de l'ordre de 20°.

15. Propulseur selon la revendication 12, caractérisé en ce que les parties divergentes (60, 62) se raccordent à une transition circulaire, la transition et le rétrécissement (64) ayant un rapport des diamètres de la transition et du rétrécissement qui est compris entre environ 1,5 et 4,0.

16. Propulseur selon la revendication 15, dans lequel la partie divergente de détente (62) aboutit à une embouchure circulaire ouverte de tuyère, l'embouchure et le rétrécissement (64) ayant un rapport des diamètres de l'embouchure et du rétrécissement qui est compris entre environ 30 et 250.

17. Propulseur selon la revendication 12, dans lequel la partie divergente de détente (62) aboutit à une embouchure circulaire ouverte de tuyère, l'embouchure et le rétrécissement (64) ayant un rapport des diamètres de

l'embouchure et du rétrécissement qui est compris entre environ 30 et 250.

18. Propulseur selon la revendication 16, caractérisé en ce que le propergol gazeux est injecté radialement et tangentiuellement dans la partie de rétrécissement (64) de la cavité anodique.

19. Propulseur à réaction et à arc électrique, caractérisé en ce qu'il comprend :

un corps anodique (52) ayant au moins une partie qui est conductrice de l'électricité, le corps délimitant une tuyère convergente-divergente qui est symétrique autour d'un axe central (58), la tuyère ayant une partie convergente (59), une partie cylindrique (64) de rétrécissement, une partie divergente conique (60) de recombinaison et une partie divergente conique (62) de détente qui sont placées sur l'axe,

un corps cathodique (66) de forme générale cylindrique, coaxial à la tuyère et séparé de la partie de rétrécissement (64) de la tuyère par un espace,

un dispositif (72) d'alimentation en courant électrique, connecté entre la cathode et la partie conductrice du corps anodique afin qu'il crée un arc électrique dans ledit espace, et

un dispositif d'injection d'un courant tourbillonnaire de propergol gazeux dans ledit espace et dans la tuyère, l'arc provoquant une ionisation au moins partielle du gaz,

les parties de recombinaison et de détente (60, 62) se raccordant à une transition circulaire, la transition et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport de diamètres compris entre 1,5 et 4,0, la partie de recombinaison (60) ayant un angle de divergence compris entre environ 5 et 15°, la partie (62) de détente ayant un angle de divergence compris entre environ 20 et 40°, la partie (62) de détente aboutissant à une embouchure circulaire, et l'embouchure et la partie de rétrécissement (64) ayant un

rapport des diamètres de l'embouchure et de la partie de rétrécissement qui est compris entre environ 30 et 250.

20. Propulseur à réaction et à arc électrique comprenant un corps anodique (52) conducteur de l'électricité qui délimite une tuyère symétrique autour d'un axe central, un corps cathodique (66) placé sur l'axe central et séparé du corps anodique par un espace, un dispositif (72) d'alimentation en courant électrique connecté aux corps cathodique et anodique et destiné à créer un arc électrique dans ledit espace, et un dispositif destiné à injecter un courant tourbillonnaire d'un propergol gazeux, caractérisé en ce que la tuyère a une partie divergente (60) de recombinaison et une partie divergente (62) de détente qui sont montées en tandem, la partie divergente (62) de détente ayant un angle de divergence supérieur à celui de la partie (60) de recombinaison.

21. Propulseur selon la revendication 20, caractérisé en ce que chacune des parties divergentes (60, 62) a une forme générale conique.

22. Propulseur selon la revendication 21, caractérisé en ce que la partie de recombinaison (60) a un demi-angle de conicité compris entre environ 5 et 15°.

23. Propulseur selon la revendication 21, caractérisé en ce que la partie de détente (62) a un demi-angle au sommet compris entre environ 20 et 40°.

24. Propulseur selon la revendication 22, caractérisé en ce que la partie de détente (62) a un demi-angle de conicité qui ne dépasse pas 40° environ.

25. Propulseur selon la revendication 21, caractérisé en ce que la tuyère anodique comporte en outre une partie cylindrique (64) de rétrécissement montée en tandem avec la partie de recombinaison (60), la partie de recombinaison (60) et la partie de détente (62) se raccordant à une transition circulaire, la transition et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport de diamètres de la transition et du rétrécissement qui est compris entre environ 1,5 et 4,0.

26. Propulseur selon la revendication 25, caractérisé en ce que la partie de détente (62) aboutit à une embouchure circulaire, l'embouchure et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport de diamètres de l'embouchure et de la partie de rétrécissement qui est compris entre environ 30 et 250.

27. Propulseur selon la revendication 25, caractérisé en ce que la longueur de la partie cylindrique (64) de rétrécissement est à peu près égale à son diamètre.

10 28. Propulseur selon la revendication 24, caractérisé en ce que la tuyère anodique comporte en outre une partie cylindrique (64) de rétrécissement montée en tandem avec la partie de recombinaison (60), la partie (60) de recombinaison et la partie (62) de détente se raccordant à
15 une transition circulaire, la transition et le rétrécissement ayant un rapport de diamètres de la transition et du rétrécissement qui est compris entre environ 1,5 et 4,0.

29. Propulseur selon la revendication 28, caractérisé en ce que la partie de détente (62) aboutit à une
20 embouchure circulaire, l'embouchure et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport de diamètres de l'embouchure et de la partie de rétrécissement qui est compris entre environ 30 et 250.

30. Corps anodique destiné à un propulseur à réaction et à arc électrique, le corps anodique délimitant une
25 tuyère convergente-divergent symétrique autour d'un axe central (58), le corps anodique étant caractérisé en ce que la tuyère a, le long de l'axe, une partie convergente, une partie cylindrique (64) de rétrécissement, une partie
30 divergente (60) de recombinaison et une partie divergente (62) de détente, la partie divergente (62) de détente ayant un angle de divergence supérieur à celui de la partie de recombinaison.

31. Corps anodique selon la revendication 30, caractérisé en ce que chacune des parties divergentes (60,
35 62) a une forme générale conique.

32. Corps anodique selon la revendication 31,

caractérisé en ce que la partie (60) de recombinaison a un demi-angle de conicité compris entre environ 5 et 15°.

33. Corps anodique selon la revendication 31, caractérisé en ce que la partie de détente (62) a un demi-angle de conicité compris entre environ 20 et 40°.

34. Corps anodique selon la revendication 32, caractérisé en ce que la partie de détente (62) a un demi-angle de conicité qui ne dépasse pas 40° environ.

35. Corps anodique selon la revendication 30, caractérisé en ce que les parties de recombinaison (60) et de détente (62) se raccordent à une transition, la transition étant placée dans une plage de rapports de diamètres de la transition et du rétrécissement (64) comprise entre environ 1,5 et 4,0, avec une divergence, à partir du rétrécissement, qui est comprise entre 5 et 15°.

36. Corps anodique selon la revendication 35, caractérisé en ce que la partie de détente (62) aboutit à une embouchure circulaire, l'embouchure et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport de diamètres de l'embouchure et de la partie de rétrécissement qui est compris entre environ 30 et 250.

37. Corps anodique selon la revendication 35, caractérisé en ce que la longueur de la partie cylindrique (64) de rétrécissement est à peu près égale au diamètre de celle-ci.

38. Corps anodique selon la revendication 34, caractérisé en ce que les parties de recombinaison (60) et de détente (62) se raccordent à une transition circulaire, la transition et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport de diamètres de la transition et du rétrécissement qui est compris entre environ 1,5 et 4,0.

39. Propulseur selon la revendication 28, caractérisé en ce que la partie de détente (62) aboutit à une embouchure circulaire, l'embouchure et la partie de rétrécissement (64) ayant un rapport de diamètres de l'embouchure et de la partie de rétrécissement qui est compris entre environ 30 et 250.

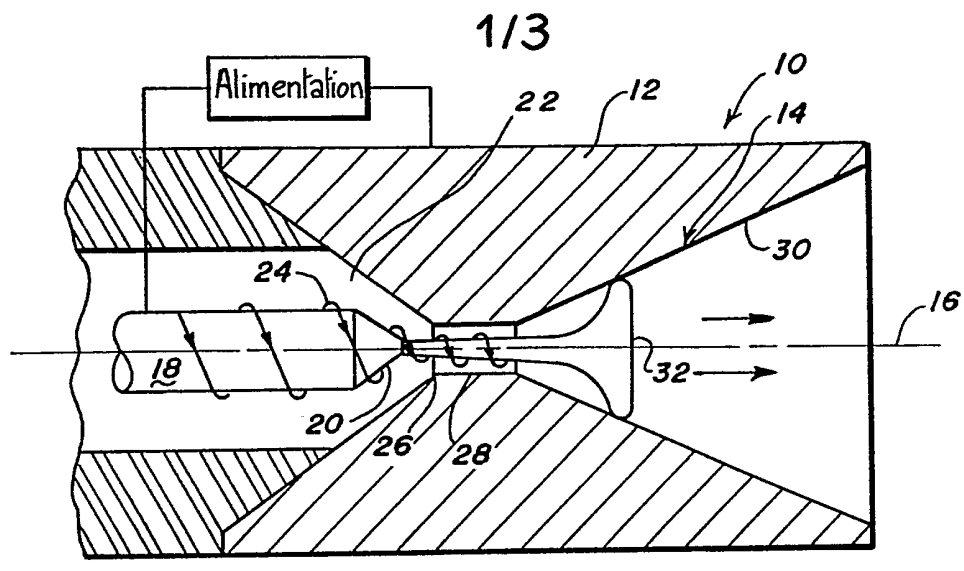


FIG. 1

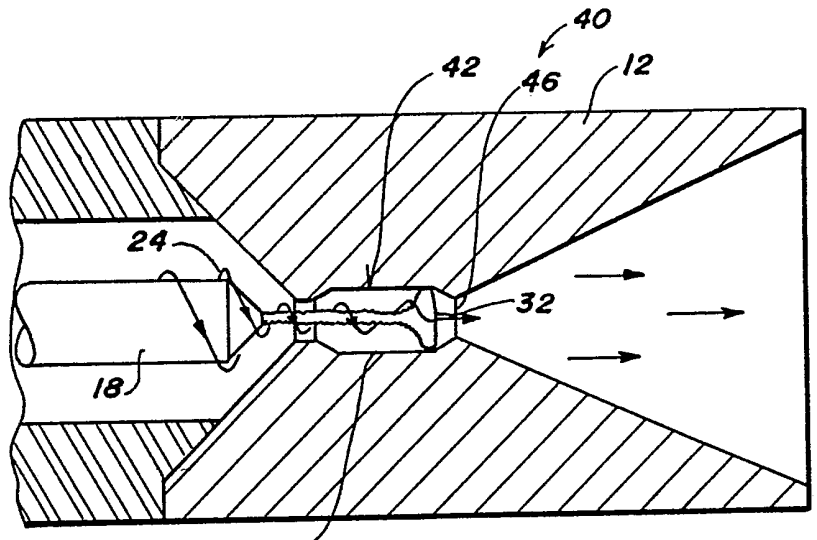


FIG. 2

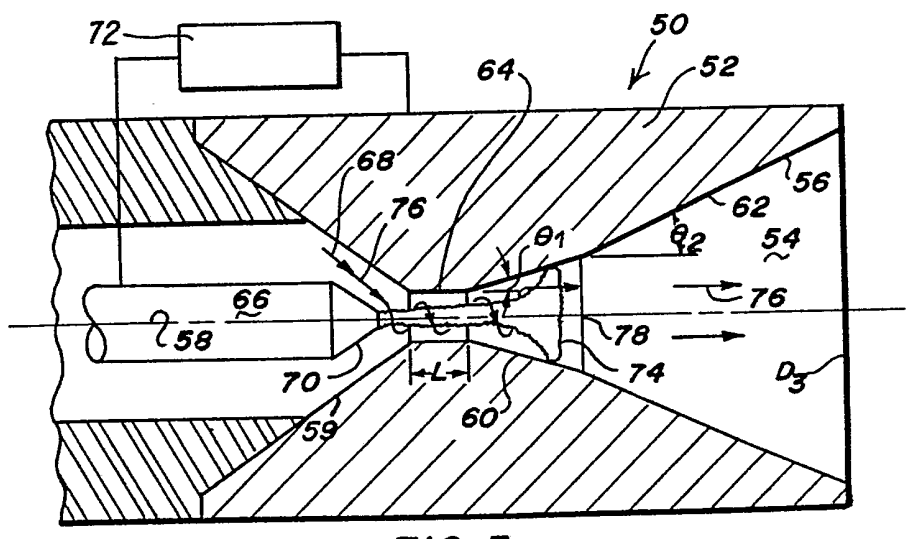
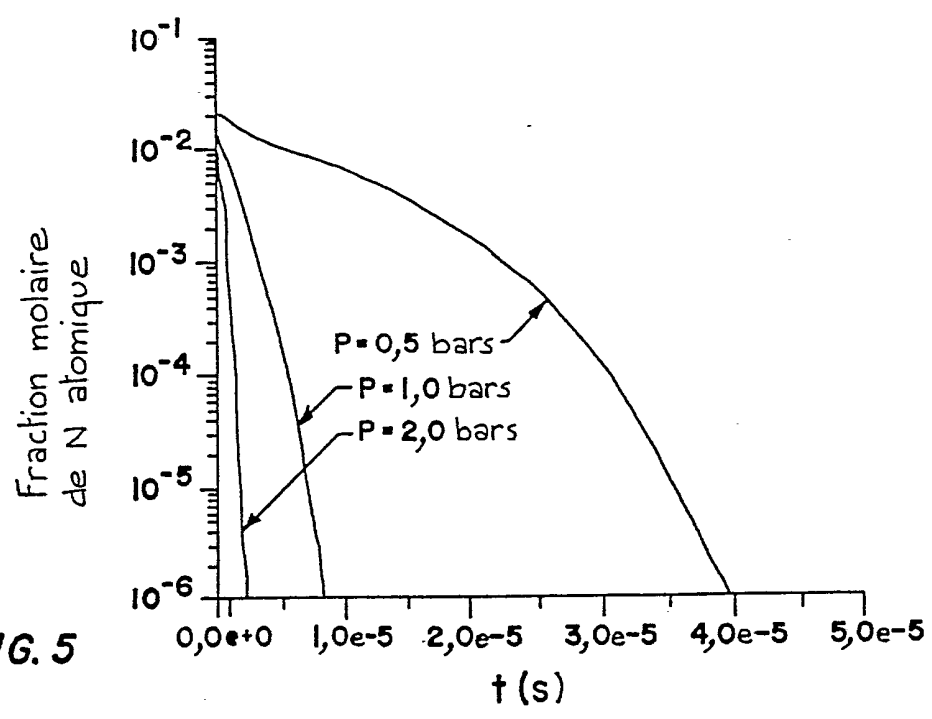
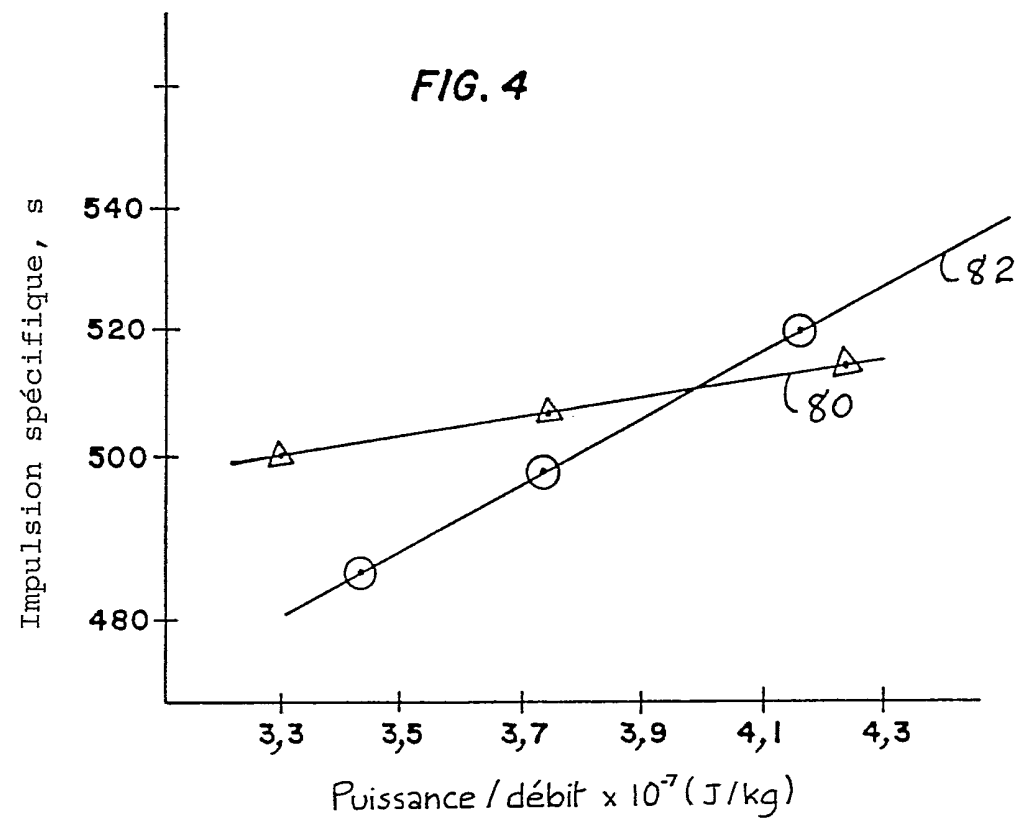


FIG. 3



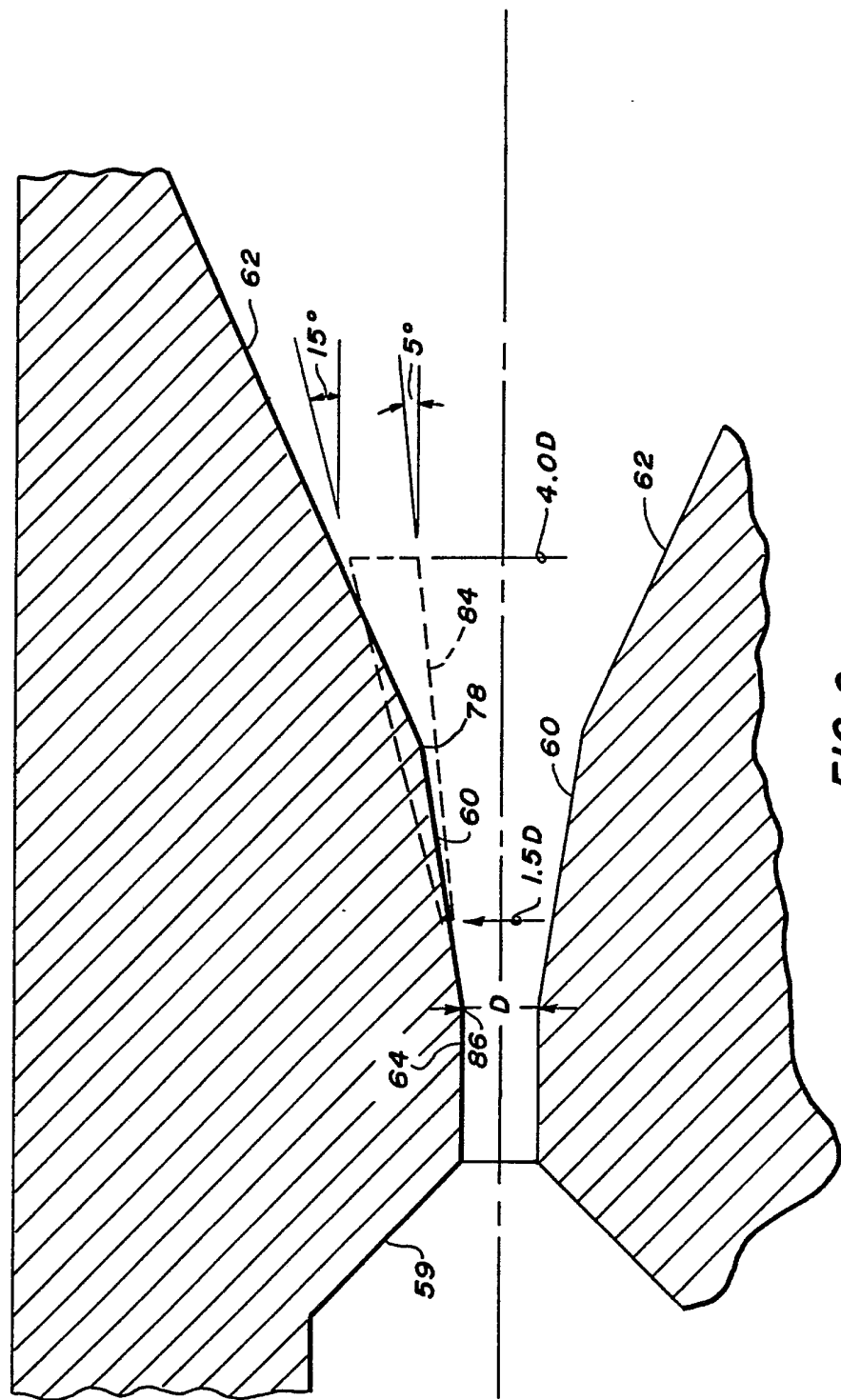


FIG. 6