

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**3 132 739**

②1 N° d'enregistrement national : **23 01358**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **F 02 M 61/18 (2023.01), F 02 B 43/10**

⑫

**DEMANDE DE CERTIFICAT D'UTILITE**

**A3**

②2 **Date de dépôt** : 14.02.23.

③0 **Priorité** : 16.02.22 IT 102022000002831.

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 18.08.23 Bulletin 23/33.

⑤6 **Les certificats d'utilité ne sont pas soumis à la procédure de rapport de recherche.**

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

○ **Demande(s) d'extension** :

⑦1 **Demandeur(s)** : MARELLI EUROPE S.P.A. Société de droit italien — IT.

⑦2 **Inventeur(s)** : RICCI Andrea, MONTEVERDE Bruno Etienne et ARMAROLI Alessandro.

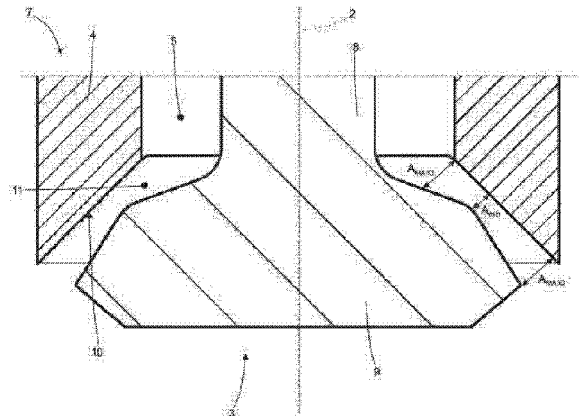
⑦3 **Titulaire(s)** : MARELLI EUROPE S.P.A. Société de droit italien.

⑦4 **Mandataire(s)** : REGIMBEAU.

⑤4 **Injecteur de carburant gazeux, en particulier d'hydrogène, pour un moteur à combustion interne et moteur à combustion interne doté de l'injecteur.**

⑤7 Injecteur (1) de carburant gazeux pour un moteur (E) à combustion interne et présentant : une tuyère (3) d'injection ; un corps (4) de support ; une soupape (7) d'injection configurée pour réguler le flux de carburant à travers la tuyère (3) d'injection et dotée d'un obturateur (9) mobile disposé à l'extérieur du corps (4) de support et d'un siège (10) de soupape ; et un actionneur (6) configuré pour déplacer l'obturateur (9) entre une position de fermeture de la soupape (7) d'injection dans laquelle l'obturateur (9) est pressé contre le siège (10) de soupape et une position d'ouverture de la soupape (7) d'injection dans laquelle l'obturateur (9) est séparé du siège (10) de soupape afin de créer un conduit (11) d'injection à travers lequel s'écoule le carburant gazeux et présentant un tronçon initial convergent et un tronçon final divergent.

Figure d'abrégé : figure 4



**FR 3 132 739 - A3**



## Description

### **Titre de l'invention : Injecteur de carburant gazeux, en particulier d'hydrogène, pour un moteur à combustion interne et moteur à combustion interne doté de l'injecteur**

#### **Domaine de l'invention**

[0001] La présente invention concerne un injecteur de carburant gazeux pour un moteur à combustion interne et un moteur à combustion interne doté de l'injecteur.

[0002] La présente invention trouve une application avantageuse dans un injecteur de carburant gazeux pour un moteur à combustion interne, auquel la description qui suit fera explicitement référence.

#### **Art antérieur**

[0003] Il n'existe pas d'hydrogène à l'état naturel sur terre parce qu'il est combiné dans ses molécules à d'autres atomes (par exemple l'eau et les hydrocarbures) et donc pour avoir de l'hydrogène, il est nécessaire de le produire par le biais du reformage ou de l'électrolyse en consommant une autre énergie (par conséquent, l'hydrogène n'est pas une source d'énergie, mais un vecteur d'énergie).

[0004] L'impact écologique des automobiles à hydrogène est très faible parce qu'elles ne génèrent pas d'émissions polluantes (gaz à effet de serre, particules fines, etc.) mais uniquement de la vapeur d'eau ; c'est-à-dire que les automobiles à hydrogène sont des véhicules ZEV (« Véhicule à zéro émission »). Par conséquent, la diffusion des automobiles à hydrogène pourrait être une solution au problème du brouillard urbain et de la pollution de l'air.

[0005] Pour générer de l'énergie par le biais de l'hydrogène, il est possible d'utiliser des cellules à combustion (ou piles à combustible) qui permettent de produire l'électricité nécessaire pour alimenter un moteur électrique sans aucune combustion. En variante, une combustion de l'hydrogène en injectant directement l'hydrogène dans les chambres de combustion d'un moteur à combustion interne est également possible ; dans ce cas, le moteur ne génère pas de dioxyde de carbone ni d'autres polluants (sinon en infimes traces).

[0006] L'hydrogène présente une densité réduite (ayant une molécule très simple composée uniquement de deux atomes d'hydrogène) et donc pour pouvoir injecter dans une chambre de combustion, une quantité (masse) suffisante d'hydrogène, il est nécessaire d'injecter un volume important correspondant d'hydrogène. Le volume d'hydrogène qui est injecté par le biais d'un injecteur dépend essentiellement de trois facteurs : la surface de la zone de passage de l'hydrogène (c'est-à-dire la taille de l'ouverture à travers laquelle l'hydrogène doit passer pour sortir de l'injecteur d'hydrogène), la

pression d'injection de l'hydrogène et le temps d'injection (c'est-à-dire le temps pendant lequel l'injecteur d'hydrogène reste ouvert).

[0007] Toutefois, la pression d'injection de l'hydrogène doit être maintenue la plus basse possible (généralement de l'ordre de 30-50 bars) pour permettre d'exploiter le plus possible l'hydrogène stocké dans les bouteilles : avec une bouteille ayant une pression maximum de 700 bars, en injectant l'hydrogène à une pression d'injection de 100 bars, on peut utiliser jusqu'à 80% de la capacité du réservoir alors qu'en injectant l'hydrogène à une pression d'injection de 50 bars, on peut utiliser jusqu'à 90% de la capacité du réservoir. En d'autres termes, la pression d'injection optimale est un compromis entre la nécessité d'augmenter l'autonomie du véhicule en exploitant majoritairement l'hydrogène contenu dans les bouteilles et la possibilité d'injecter l'hydrogène pendant la course de compression lorsque la contrepression présente dans la chambre de combustion augmente de manière continue.

[0008] La dimension maximum de l'injecteur de carburant (qui limite par conséquent la dimension maximum de l'ouverture d'injection à travers laquelle l'hydrogène sort de l'injecteur) est limitée par l'espace disponible dans le ciel de la chambre de combustion (dans laquelle, en plus de l'injecteur, on doit trouver de la place pour quatre soupapes et une bougie), par l'exigence de contenir la masse (c'est-à-dire l'inertie) du pointeau mobile pour permettre au pointeau mobile lui-même de se déplacer avec la vitesse suffisante entre une position de fermeture de l'injecteur et une position d'ouverture de l'injecteur, et par l'exigence d'éviter l'ouverture spontanée (et tout à fait indésirée) de l'injecteur d'hydrogène à cause de la pression élevée à l'intérieur de la chambre de combustion au terme de la phase de compression et pendant la phase d'expansion.

[0009] Le temps d'injection (c'est-à-dire le temps pendant lequel l'injecteur d'hydrogène reste ouvert) est limité au début de l'injection du fait de devoir attendre une fermeture des soupapes d'aspiration : si l'hydrogène est injecté avec les soupapes d'aspiration encore ouvertes, l'hydrogène constitue un obstacle à l'entrée de l'air et réduit donc sensiblement le remplissage de la chambre de combustion (c'est-à-dire le rendement volumétrique du moteur à combustion interne). Le temps d'injection (c'est-à-dire le temps pendant lequel l'injecteur reste ouvert) est limité à la fin de l'injection par la sortie de la pression à l'intérieur de la chambre de combustion : dans un injecteur d'hydrogène actuellement en production lorsque la pression à l'intérieur de la chambre de combustion dépasse 50% de la pression d'injection, la contrepression que l'injecteur d'hydrogène doit surmonter, réduit sensiblement le débit d'hydrogène qui est injecté.

### **Description de l'invention**

[0010] Le but de la présente invention est de fournir un injecteur de carburant gazeux pour un moteur à combustion interne et un moteur à combustion interne doté de l'injecteur,

lequel injecteur est dépourvu des inconvénients décrits ci-dessus (c'est-à-dire qu'il permet de prolonger le temps d'injection à égalité avec d'autres facteurs par rapport à un injecteur connu), et en particulier qu'il présente une production facile et économique.

- [0011] Selon la présente invention, on réalise un injecteur de carburant gazeux pour un moteur à combustion interne et un moteur à combustion interne doté de l'injecteur selon ce qui est établi ci-dessous.
- [0012] Un premier aspect de l'invention concerne un injecteur de carburant gazeux pour un moteur à combustion interne et comprenant :
- une tuyère d'injection ;
  - un corps de support de forme tubulaire et prévu à l'intérieur d'un canal d'alimentation qui se termine par la tuyère d'injection ;
  - une soupape d'injection configurée pour réguler le flux de carburant à travers la tuyère d'injection et dotée d'un obturateur mobile disposé à l'extérieur du corps de support et d'un siège de soupape obtenu dans le corps de support ; et
  - un actionneur configuré pour déplacer l'obturateur entre une position de fermeture de la soupape d'injection dans laquelle l'obturateur est pressé contre le siège de soupape et une position d'ouverture de la soupape d'injection dans laquelle l'obturateur est séparé du siège de soupape pour créer un conduit d'injection à travers lequel s'écoule le carburant gazeux ;
- le conduit d'injection qui se crée entre l'obturateur et le siège de soupape lorsque la soupape d'injection est dans la position d'ouverture présentant un tronçon initial convergent dans lequel une surface du conduit d'injection diminue progressivement selon une première valeur maximum au début du conduit d'injection jusqu'à une valeur minimum et un tronçon final divergent dans lequel la surface du conduit d'injection augmente progressivement selon la valeur minimum jusqu'à atteindre une seconde valeur maximum à la fin du conduit d'injection.
- [0013] Selon un mode de réalisation, la seconde valeur maximum est plus grande que la première valeur maximum.
- [0014] Selon un mode de réalisation, la seconde valeur maximum est de 1,5 à 1,8 fois plus grande que la première valeur maximum.
- [0015] Selon un mode de réalisation, la valeur minimum est comprise entre 0,7 et 0,9 fois la première valeur maximum.
- [0016] Selon un mode de réalisation, la valeur minimum est comprise entre 0,4 et 0,6 fois la seconde valeur maximum.
- [0017] Selon un mode de réalisation, la seconde valeur maximum est comprise entre 1,6 et 2,5 fois la valeur minimum.
- [0018] Selon un mode de réalisation, le tronçon final divergent est plus long que le tronçon

initial convergent.

- [0019] Selon un mode de réalisation, une extension du tronçon final divergent est comprise entre 2,0 et 3,5 fois une extension du tronçon initial convergent.
- [0020] Selon un mode de réalisation, l'obturateur présente une forme tronconique et le siège de soupape présente lui-même également une forme tronconique.
- [0021] Selon un mode de réalisation, la forme tronconique du siège de soupape présente une inclinaison constante le long de toute son extension.
- [0022] Selon un mode de réalisation, la forme tronconique de l'obturateur présente une inclinaison variable le long de son extension.
- [0023] Selon un mode de réalisation, la forme tronconique de l'obturateur présente une première inclinaison qui définit le tronçon initial convergent de la surface du conduit d'injection et une seconde inclinaison qui est différente de la première inclinaison et définit le tronçon final divergent de la surface du conduit d'injection.
- [0024] Selon un mode de réalisation, dans la position de fermeture de la soupape d'injection, l'obturateur touche le siège de soupape en correspondance d'une zone de changement de l'inclinaison.
- [0025] Selon un mode de réalisation, le corps de support se termine par une ouverture passante dans laquelle est défini le siège de soupape et qui est mise en prise par l'obturateur de carburant gazeux.
- [0026] Selon un mode de réalisation, pour passer de la position de fermeture à la position d'ouverture de la soupape d'injection, l'obturateur se déplace vers l'extérieur du corps de support avec un sens qui concorde avec un sens d'alimentation du carburant.
- [0027] Selon un mode de réalisation, le gaz est de l'hydrogène.
- [0028] Un deuxième aspect de l'invention porte sur un moteur à combustion interne alimenté par hydrogène et comprenant au moins un cylindre et un système d'injection qui injecte directement l'hydrogène dans le cylindre en utilisant un injecteur de carburant gazeux qui comprend :
- une tuyère d'injection ;
  - un corps de support de forme tubulaire et prévu à l'intérieur d'un canal d'alimentation qui se termine par la tuyère d'injection ;
  - une soupape d'injection configurée pour réguler le flux de carburant à travers la tuyère d'injection et dotée d'un obturateur mobile disposé à l'extérieur du corps de support et d'un siège de soupape agencé dans le corps de support ; et
  - un actionneur configuré pour déplacer l'obturateur entre une position de fermeture de la soupape d'injection dans laquelle l'obturateur est pressé contre le siège de soupape et une position d'ouverture de la soupape d'injection dans laquelle l'obturateur est séparé par le siège de soupape afin de créer un conduit d'injection à travers lequel s'écoule le carburant gazeux ;

le conduit d'injection qui se crée entre l'obturateur et le siège de soupape lorsque la soupape d'injection étant dans la position d'ouverture, présente un tronçon initial convergent dans lequel une surface du conduit d'injection diminue progressivement d'une première valeur maximum au début du conduit d'injection jusqu'à une valeur minimum et un tronçon final divergent dans lequel la surface du conduit d'injection augmente progressivement de la valeur minimum jusqu'à atteindre une seconde valeur maximum à la fin du conduit d'injection.

- [0029] Selon un mode de réalisation, le moteur comprend une unité de contrôle qui est configurée pour utiliser, si et lorsque cela est nécessaire, l'injecteur de carburant jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène, c'est-à-dire pour maintenir ouvert, si et lorsque cela est nécessaire, l'injecteur de carburant jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène.
- [0030] Selon un mode de réalisation, l'unité de contrôle est configurée pour déterminer une pression maximum à l'intérieur du cylindre pour chaque cycle de combustion et pour programmer l'injection d'hydrogène dans le cylindre dans chaque cycle de combustion en fonction de la pression maximum à l'intérieur du cylindre dans ce cycle de combustion.
- [0031] Selon un mode de réalisation, l'unité de contrôle est configurée pour déterminer une pression maximum à l'intérieur du cylindre pour chaque cycle de combustion et pour déterminer la quantité maximum d'hydrogène injectable dans un seul cycle de combustion en fonction de la pression maximum à l'intérieur du cylindre dans ce cycle de combustion.
- [0032] Selon un mode de réalisation, l'unité de contrôle est configurée pour déterminer la quantité maximum d'hydrogène injectable dans un seul cycle de combustion, en supposant maintenir l'injecteur de carburant ouvert jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène.

### **Brève description des dessins**

- [0033] La présente invention est décrite maintenant en référence aux dessins joints, qui en illustrent un exemple de réalisation non limitatif, dans lesquels :
- [0034] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue latérale et partiellement en coupe d'un injecteur d'hydrogène réalisé selon la présente invention ;
- [0035] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue en perspective et en coupe longitudinale d'une partie terminale de l'injecteur d'hydrogène de la [Fig.1] ;
- [0036] [Fig.3] La [Fig.3] est une vue de face et en coupe longitudinale d'une partie

terminale de l'injecteur d'hydrogène de la [Fig.1] ;

[0037] [Fig.4] La [Fig.4] est une vue à plus grande échelle d'un détail de la [Fig.3] ;

[0038] [Fig.5] La [Fig.5] est un schéma qui représente l'évolution d'une surface d'un conduit d'injection qui se crée lorsqu'une soupape d'injection est ouverte ;

[0039] [Fig.6] La [Fig.6] est un schéma qui représente l'évolution du débit d'hydrogène injectable par rapport au débit nominal en fonction du rapport entre la pression d'injection et la contrepression présente dans la chambre de combustion ;

[0040] [Fig.7] La [Fig.7] est un schéma qui représente l'évolution du rapport entre une contrepression limite qui permet de maintenir un flux sonique dans la section de gorge et une pression d'injection en fonction d'un rapport entre une surface (maximum) de sortie et une surface minimum (de gorge) d'un conduit d'injection ; et

[0041] [Fig.8] La [Fig.8] présente schématiquement un moteur à combustion interne qui utilise l'injecteur d'hydrogène de la [Fig.1].

### **Modes de réalisation préférés de l'invention**

[0042] Sur la [Fig.1], avec le numéro de référence 1, on indique, dans son ensemble, un injecteur de carburant gazeux (en particulier d'hydrogène), lequel présente une symétrie cylindrique autour d'un axe 2 longitudinal et est approprié pour être commandé afin d'injecter l'hydrogène par le biais d'une tuyère 3 d'injecteur qui se jette directement dans une chambre de combustion d'un cylindre d'un moteur E à combustion interne (schématiquement illustré sur la [Fig.8]). L'injecteur 1 d'hydrogène comprend un corps 4 de support, lequel a une forme tubulaire cylindrique à section variable le long de l'axe 2 longitudinal et présente un canal 5 d'alimentation qui s'étend le long de toute la longueur du corps 4 de support lui-même pour alimenter l'hydrogène en pression vers la tuyère 3 d'injection.

[0043] Le corps 4 de support loge un actionneur 6 électromagnétique en correspondance de sa partie supérieure et une soupape 7 d'injection (illustrée sur les figures 2 et 3) en correspondance de sa partie inférieure ; à l'usage, la soupape 7 d'injection est actionnée par l'actionneur 6 électromagnétique pour réguler le flux d'hydrogène à travers la tuyère 3 d'injection, laquelle est située en correspondance de la soupape 7 d'injection elle-même. Selon un mode de réalisation différent non illustré, l'actionneur 6 est de type piézoélectrique au lieu d'être de type électromagnétique.

[0044] L'actionneur 6 électromagnétique est configuré pour déplacer axialement (c'est-à-dire le long de l'axe 2 longitudinal) un équipage mobile doté d'un pointeau 8 qui se termine par un obturateur 9 (illustré sur les figures 2 et 3). L'obturateur 9 coopère avec un siège 10 de soupape (illustré sur les figures 2 et 3) de la soupape 7 d'injection pour réguler le flux d'hydrogène à travers la tuyère 3 d'injection. En d'autres termes, le corps 4 de support se termine par une ouverture passante dans laquelle est défini le siège 10 de soupape et qui est mise en prise par l'obturateur 9. En

particulier, l'actionneur 6 électromagnétique est configuré pour déplacer l'obturateur 9 entre une position de fermeture et une position d'ouverture de la soupape 7 d'injection. En outre, l'actionneur 6 électromagnétique est doté d'un ressort de fermeture qui maintient l'injecteur 1 d'hydrogène normalement fermé, c'est-à-dire qui pousse l'obturateur 9 vers la position de fermeture de la soupape 7 d'injection. En d'autres termes, normalement, la soupape 7 d'injection est fermée sous l'effet du ressort de fermeture qui pousse le pointeau 8 dans la position de fermeture, dans laquelle l'obturateur 9 du pointeau 8 appuie contre le siège 10 de soupape de la soupape 7 d'injection.

[0045] Selon ce qui est illustré sur les figures 2, 3 et 4, l'obturateur 9 présente une forme tronconique, laquelle est appropriée pour s'appuyer, de manière étanche, contre le siège 10 de soupape présentant lui aussi, une forme tronconique. L'obturateur 9 est disposé extérieurement par rapport au corps 4 de support et est poussé par le ressort de fermeture de l'actionneur 6 électronique contre le corps 4 de support lui-même ; par conséquent, pour passer de la position de fermeture à la position d'ouverture de la soupape 7 d'injection, l'obturateur 9 se déplace le long de l'axe 2 longitudinal vers l'extérieur du corps 4 de support, c'est-à-dire avec un sens qui concorde avec le sens d'alimentation de l'hydrogène. Dans la position d'ouverture de la soupape 7 d'injection, l'obturateur 9 est séparé du siège 10 de soupape, créant un canal 11 d'injection (c'est-à-dire une ouverture de passage) ayant une section en forme de couronne circulaire et une forme tronconique ; par conséquent, l'hydrogène qui est injecté à travers la tuyère 3 d'injection présente, en sortie, une forme conique intérieurement creuse ayant un angle d'ouverture sensiblement identique à l'angle d'ouverture de l'obturateur 9.

[0046] En d'autres termes, l'actionneur 6 électromagnétique est configuré pour déplacer l'obturateur 9 entre la position de fermeture de la soupape 7 d'injection dans laquelle l'obturateur 9 est pressé contre le siège 10 de soupape et la position d'ouverture (illustrée sur les figures 2, 3 et 4) de la soupape 7 d'injection dans laquelle l'obturateur 9 est séparé du siège 10 de soupape pour créer le conduit 11 d'injection à travers lequel s'écoule l'hydrogène. Selon ce qui est mieux illustré sur la [Fig.4], le conduit 11 d'injection qui se crée entre l'obturateur 9 et le siège 10 de soupape lorsque la soupape 7 d'injection est dans la position d'ouverture (illustrée sur les figures 2, 3 et 4) présente un tronçon initial convergent dans lequel une surface du conduit 11 d'injection diminue progressivement d'une valeur  $A_{MAX1}$  maximum au début du conduit 11 d'injection jusqu'à une valeur  $A_{min}$  minimum (qui se trouve au milieu du conduit 11 d'injection et correspond à la section de gorge) et un tronçon final divergent dans lequel la surface du conduit 11 d'injection augmente progressivement de la valeur  $A_{min}$  minimum jusqu'à atteindre une valeur  $A_{MAX2}$  maximum à la fin du conduit 11

d'injection.

[0047] En d'autres termes, le tronçon initial convergent du conduit 11 d'injection s'étend de la zone dans laquelle la surface du conduit 11 d'injection est égale à la valeur  $A_{MAX1}$  maximum jusqu'à la zone dans laquelle la surface du conduit 11 d'injection est égale à la valeur  $A_{min}$  minimum (c'est-à-dire la section de gorge) ; en revanche, le tronçon final divergent du conduit 11 d'injection s'étend de la zone dans laquelle la surface du conduit 11 d'injection est égale à la valeur  $A_{min}$  minimum (c'est-à-dire la section de la gorge) jusqu'à la zone dans laquelle la surface du conduit 11 d'injection est égale à la valeur  $A_{MAX2}$  maximum.

[0048] Selon un mode de réalisation préféré, la valeur  $A_{MAX2}$  maximum est plus grande que la valeur  $A_{MAX1}$  maximum et en particulier la valeur  $A_{MAX2}$  maximum est de 1,5 à 1,8 fois plus grande que la valeur  $A_{MAX1}$  maximum. Selon un mode de réalisation préféré, la valeur  $A_{min}$  minimum est comprise entre 0,7 et 0,9 fois la valeur  $A_{MAX1}$  maximum.

[0049] Selon un mode de réalisation préféré, la valeur  $A_{min}$  minimum est comprise entre 0,4 et 0,6 fois la valeur  $A_{MAX2}$  maximum ; en d'autres termes, la valeur  $A_{MAX2}$  maximum est comprise entre 1,6 et 2,5 fois la valeur  $A_{min}$  minimum. Le rapport entre la valeur  $A_{MAX2}$  maximum et la valeur  $A_{min}$  minimum est très important, car s'il est compris dans cet intervalle, cela permet de maintenir un rapport élevé entre une contrepression limite qui permet de maintenir un flux sonique dans la section de gorge et la pression d'injection ; à ce propos, on observe le diagramme de la [Fig.7] qui présente l'évolution du rapport entre une contrepression limite qui permet de maintenir un flux sonique dans la section de gorge et la pression d'injection en fonction du rapport entre une surface (maximum) de sortie (correspondant à la valeur  $A_{MAX2}$ ) et une surface (de gorge) minimum (correspondant à la valeur  $A_{min}$  minimum) du conduit 11 d'injection. En d'autres termes, si la valeur  $A_{MAX2}$  maximum est comprise entre 1,6 et 2,5 fois la valeur  $A_{min}$  minimum, la contrepression limite qui permet de maintenir un flux sonique dans la section de gorge est plus élevée et donc pendant toute la durée de l'injection d'hydrogène, le flux d'hydrogène dans la section de gorge reste dans des conditions soniques au bénéfice de la régularité et du rendement de l'injection d'hydrogène elle-même.

[0050] Selon un mode de réalisation préféré, le tronçon final divergent du conduit 11 d'injection est plus long que le tronçon initial convergent du conduit 11 d'injection (c'est-à-dire que l'hydrogène doit parcourir une longueur majeure pour traverser le tronçon final divergent du conduit 11 d'injection par rapport au tronçon initial convergent). En particulier, une extension du tronçon final divergent est comprise entre 2,0 et 3,5 fois une extension du tronçon initial convergent. La longueur du tronçon final divergent ou mieux le gradient entre l'augmentation de la section et l'incrément(e) de la longueur  $dA/dx$ , est important(e) pour éviter d'avoir des déta-

chements de veine et donc perdre (au moins en partie) l'avantage provenant de l'alternance de convergence et de divergence.

[0051] Ce qui est décrit ci-dessus est résumé dans le schéma illustré sur la [Fig.5] qui présente l'évolution de la surface A du conduit 11 d'injection en fonction de l'extension X du conduit 11 d'injection : on voit le tronçon initial convergent du conduit 11 d'injection qui s'étend de la zone dans laquelle la surface du conduit 11 d'injection est égale à la valeur  $A_{MAX1}$  maximum jusqu'à la zone dans laquelle la surface du conduit 11 d'injection est égale à la valeur  $A_{min}$  minimum et on voit également le tronçon final divergent du conduit 11 d'injection qui s'étend de la zone dans laquelle la surface du conduit 11 d'injection est égale à la valeur  $A_{min}$  minimum jusqu'à la zone dans laquelle la surface du conduit 11 d'injection est égale à la valeur  $A_{MAX2}$  maximum.

[0052] En d'autres termes, l'alternance de convergence-divergence dans le conduit 11 d'injection constitue une tuyère de Laval qui est une tuyère d'éjection supersonique et est constituée par un tube qui présente un étranglement central, similaire à une clepsydre asymétrique ; son fonctionnement au régime (vitesse égale à la vitesse du son dans la section de gorge, c'est-à-dire dans la plus petite section) permet d'accélérer l'hydrogène jusqu'à des vitesses supersoniques, canalisant le flux de décharge afin de transformer son énergie thermique et de pression en énergie cinétique.

[0053] Selon ce qui est illustré sur la [Fig.4] et comme mentionné précédemment, l'obturateur 9 présente une forme tronconique et le siège 10 de soupape présente également lui-même une forme tronconique ; il est important d'observer que la géométrie à forme biconique avec un rayon de raccord est probablement la plus simple du point de vue de la réalisation, toutefois on pourrait définir d'autres géométries de révolution du profil formé, de manière opportune, pour régler la loi d'expansion (par exemple avec évolution en forme de cornet d'admission). De préférence, la forme tronconique du siège 10 de soupape présente une inclinaison constante le long de toute son extension alors que la forme tronconique de l'obturateur 9 présente une inclinaison variable le long de son extension. En particulier, la forme tronconique de l'obturateur 9 présente une première inclinaison qui définit le tronçon initial convergent de la surface du conduit 11 d'injection et une seconde inclinaison qui est différente de la première inclinaison et définit le tronçon final divergent de la surface du conduit 11 d'injection. Par conséquent, dans la position de fermeture de la soupape 7 d'injection, l'obturateur 9 touche le siège 10 de soupape en correspondance de la zone de changement de l'inclinaison.

[0054] En synthétisant ce qui a été dit précédemment, le moteur E à combustion interne est alimenté par hydrogène et est doté d'un système d'injection qui injecte directement l'hydrogène dans une pluralité de cylindres en utilisant des injecteurs 1 correspondants

d'hydrogène. En d'autres termes, le moteur E à combustion interne comprend au moins un cylindre et le système d'injection qui injecte directement l'hydrogène dans le cylindre en utilisant l'injecteur 1 de carburant gazeux décrit ci-dessus.

[0055] En outre, le moteur E à combustion interne comprend une unité de contrôle qui est configurée pour utiliser, si et lorsque cela est nécessaire (c'est-à-dire lorsqu'il est nécessaire d'injecter dans un cylindre une quantité élevée d'hydrogène alors que le moteur E à combustion interne tourne à grande vitesse), l'injecteur 1 de carburant jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène, c'est-à-dire pour maintenir ouvert, si et lorsque cela est nécessaire, l'injecteur 1 de carburant jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène.

[0056] Selon un mode de réalisation préféré, l'unité de contrôle est configurée pour déterminer une pression maximum à l'intérieur d'un cylindre pour chaque cycle de combustion et donc pour programmer l'injection d'hydrogène dans le cylindre de chaque cycle de combustion en fonction de la pression maximum à l'intérieur du cylindre dans ce cycle de combustion. C'est-à-dire que l'unité de contrôle est configurée pour déterminer une pression maximum à l'intérieur d'un cylindre pour chaque cycle de combustion et donc pour déterminer la quantité maximum d'hydrogène injectable dans un seul cycle de combustion en fonction de la pression maximum à l'intérieur du cylindre dans ce cycle de combustion (plus la pression est importante à l'intérieur du cylindre, plus la quantité maximum d'hydrogène injectable est faible).

[0057] Pour résumer, l'unité de contrôle est configurée pour déterminer la quantité maximum d'hydrogène injectable dans un cylindre et dans un seul cycle de combustion, en supposant maintenir l'injecteur 1 de carburant ouvert jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène.

[0058] Les modes de réalisation décrits ici peuvent se combiner entre eux sans pour autant sortir du cadre de protection de la présente invention.

[0059] L'injecteur 1 d'hydrogène décrit ci-dessus présente de nombreux avantages.

[0060] En premier lieu, l'injecteur 1 d'hydrogène décrit ci-dessus permet d'injecter une importante quantité d'hydrogène également lorsque la contrepression présente dans la chambre de combustion du cylindre est élevée ; on observe le schéma illustré sur la [Fig.6] qui présente l'évolution du débit d'hydrogène injectable par rapport au débit nominal (en ordonnée) en fonction du rapport entre la pression d'injection et la contrepression présente dans la chambre de combustion (en abscisse) : également lorsque la contrepression présente dans la chambre de combustion est proche de 90% de la

pression d'injection, l'injecteur 1 d'hydrogène est en mesure d'injecter un débit d'hydrogène sensiblement égal au débit nominal sans ressentir donc l'effet négatif de la contrepression présente dans la chambre de combustion (dans des conditions analogues, un injecteur d'hydrogène connu est en mesure d'injecter uniquement environ 60% du débit nominal).

- [0061] Ce résultat est obtenu grâce au fait que le conduit 11 d'injection, qui se crée entre l'obturateur 9 et le siège 10 de soupape lorsque la soupape 7 d'injection est dans la position d'ouverture, présente le tronçon initial convergent suivi du tronçon final divergent : cette alternance de convergence-divergence (dimensionnée de manière opportune) amène l'efflux d'hydrogène en régime supersonique (c'est-à-dire à une vitesse supérieure à la vitesse du son) lorsque le rapport entre la contrepression présente dans la chambre de combustion et la pression d'injection est inférieur à un rapport critique (environ à 0,5) et maintient l'efflux d'hydrogène insensible à la contrepression présente dans la chambre de combustion jusqu'à une valeur plus élevée que la contrepression présente dans la chambre de combustion (c'est-à-dire jusqu'à un rapport entre la contrepression présente dans la chambre de combustion et la pression d'injection proche de 0,9, comme illustré sur la [Fig.7]). De cette façon, l'efflux d'hydrogène entre de manière optimale dans la chambre de combustion même lorsque la contrepression présente dans la chambre de combustion est élevée (c'est-à-dire proche de la pression d'injection). En d'autres termes, l'alternance de convergence-divergence dans le conduit 11 d'injection constitue une tuyère de Laval qui est une tuyère d'éjection supersonique et permet une entrée optimale dans la chambre de combustion même lorsque la contrepression présente dans la chambre de combustion est élevée.
- [0062] De cette façon, l'injecteur 1 d'hydrogène décrit ci-dessus permet d'injecter efficacement l'hydrogène pendant un temps plus long par rapport à un injecteur d'hydrogène analogue connu et permet donc d'incrémenter (à égalité par rapport aux autres conditions) la quantité (masse) d'hydrogène qui peut être injectée dans un cylindre à chaque cycle de combustion. Grâce à l'utilisation de l'injecteur 1 d'hydrogène décrit ci-dessus, la fin de la fenêtre d'injection peut être augmentée avec une augmentation correspondante de l'ampleur de la fenêtre d'injection (donc du temps d'injection) d'environ 20%.
- [0063] En outre, l'injecteur 1 d'hydrogène décrit ci-dessus est simple et économique à produire en ce qu'il présente peu de différences de construction, de réalisation facile, par rapport à un injecteur d'hydrogène analogue connu.
- [0064] Enfin, l'injecteur 1 d'hydrogène indiqué ci-dessus, grâce à l'ouverture vers l'extérieur de l'obturateur 9, permet d'obtenir une surface A de passage du canal 11 d'injection particulièrement grande, ou de garantir que la soupape 7 d'injection ne

s'ouvre pas (de manière tout à fait indésirée) par effet de la pression élevée présente dans la chambre de combustion d'un cylindre.

### Liste des numéros de référence des figures

- [0065] 1 injecteur de carburant  
2 axe longitudinal  
3 tuyère d'injection  
4 corps de support  
5 canal d'alimentation  
6 actionneur électromagnétique  
7 soupape d'injection  
8 pointeau  
9 obturateur  
10 siège de soupape  
11 conduit d'injection  
E moteur à combustion interne  
 $A_{\min}$  surface minimum  
 $A_{\text{MAX1}}$  surface maximum  
 $A_{\text{MAX2}}$  surface maximum

## Revendications

- [Revendication 1] Injecteur (1) de carburant gazeux pour un moteur (E) à combustion interne et comprenant :
- une tuyère (3) d'injection ;
  - un corps (4) de support de forme tubulaire et prévu à l'intérieur d'un canal (5) d'alimentation qui se termine par la tuyère (3) d'injection ;
  - une soupape (7) d'injection configurée pour réguler le flux de carburant à travers la tuyère (3) d'injection et dotée d'un obturateur (9) mobile disposé à l'extérieur du corps (4) de support et d'un siège (10) de soupape obtenu dans le corps (4) de support ; et
  - un actionneur (6) configuré pour déplacer l'obturateur (9) entre une position de fermeture de la soupape (7) d'injection dans laquelle l'obturateur (9) est pressé contre le siège (10) de soupape et une position d'ouverture de la soupape (7) d'injection dans laquelle l'obturateur (9) est séparé du siège (10) de soupape pour créer un conduit (11) d'injection à travers lequel s'écoule le carburant gazeux ;

l'injecteur (1) de carburant est caractérisé en ce que le conduit (11) d'injection qui se crée entre l'obturateur (9) et le siège (10) de soupape lorsque la soupape (7) d'injection est dans la position d'ouverture présente un tronçon initial convergent dans lequel une surface du conduit (11) d'injection diminue progressivement selon une première valeur ( $A_{MAX1}$ ) maximum au début du conduit (11) d'injection jusqu'à une valeur ( $A_{min}$ ) minimum et un tronçon final divergent dans lequel la surface du conduit (11) d'injection augmente progressivement selon la valeur ( $A_{min}$ ) minimum jusqu'à atteindre une seconde valeur ( $A_{MAX2}$ ) maximum à la fin du conduit (11) d'injection.

- [Revendication 2] Injecteur (1) de carburant gazeux selon la revendication 1, dans lequel la seconde valeur ( $A_{MAX2}$ ) maximum est plus grande que la première valeur ( $A_{MAX1}$ ) maximum.

- [Revendication 3] Injecteur (1) de carburant gazeux selon la revendication 2, dans lequel la seconde valeur ( $A_{MAX2}$ ) maximum est de 1,5 à 1,8 fois plus grande que la première valeur ( $A_{MAX1}$ ) maximum.

- [Revendication 4] Injecteur (1) de carburant gazeux selon la revendication 1, 2 ou 3, dans lequel la valeur ( $A_{\min}$ ) minimum est comprise entre 0,7 et 0,9 fois la première valeur ( $A_{\text{MAX1}}$ ) maximum.
- [Revendication 5] Injecteur (1) de carburant gazeux selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la valeur ( $A_{\min}$ ) minimum est comprise entre 0,4 et 0,6 fois la seconde valeur ( $A_{\text{MAX2}}$ ) maximum.
- [Revendication 6] Injecteur (1) de carburant gazeux selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la seconde valeur ( $A_{\text{MAX2}}$ ) maximum est comprise entre 1,6 et 2,5 fois la valeur ( $A_{\min}$ ) minimum.
- [Revendication 7] Injecteur (1) de carburant gazeux selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le tronçon final divergent est plus long que le tronçon initial convergent.
- [Revendication 8] Injecteur (1) de carburant gazeux selon la revendication 7, dans lequel une extension du tronçon final divergent est comprise entre 2,0 et 3,5 fois une extension du tronçon initial convergent.
- [Revendication 9] Injecteur (1) de carburant gazeux selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel l'obturateur (9) présente une forme tronconique et le siège (10) de soupape présente lui-même également une forme tronconique.
- [Revendication 10] Injecteur (1) de carburant gazeux selon la revendication 9, dans lequel la forme tronconique du siège (10) de soupape présente une inclinaison constante le long de toute son extension.
- [Revendication 11] Injecteur (1) de carburant gazeux selon la revendication 9 ou 10, dans lequel la forme tronconique de l'obturateur (9) présente une inclinaison variable le long de son extension.
- [Revendication 12] Injecteur (1) de carburant gazeux selon la revendication 11, dans lequel la forme tronconique de l'obturateur (9) présente une première inclinaison qui définit le tronçon initial convergent de la surface du conduit (11) d'injection et une seconde inclinaison qui est différente de la première inclinaison et définit le tronçon final divergent de la surface du conduit (11) d'injection.
- [Revendication 13] Injecteur (1) de carburant gazeux selon la revendication 12, dans lequel dans la position de fermeture de la soupape (7) d'injection, l'obturateur (9) touche le siège (10) de soupape en correspondance d'une zone de changement de l'inclinaison.
- [Revendication 14] Injecteur (1) de carburant gazeux selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel le corps (4) de support se termine par une ouverture passante dans laquelle est défini le siège (10) de soupape et qui est mise en prise par l'obturateur (9).

- [Revendication 15] Injecteur (1) de carburant gazeux selon l'une des revendications 1 à 14, dans lequel pour passer de la position de fermeture à la position d'ouverture de la soupape (7) d'injection, l'obturateur (9) se déplace vers l'extérieur du corps (4) de support avec un sens qui concorde avec un sens d'alimentation du carburant.
- [Revendication 16] Injecteur (1) de carburant gazeux selon l'une des revendications 1 à 15, dans lequel le gaz est de l'hydrogène.
- [Revendication 17] Moteur (E) à combustion interne alimenté par hydrogène et comprenant au moins un cylindre et un système d'injection qui injecte directement l'hydrogène dans le cylindre en utilisant un injecteur (1) de carburant gazeux qui comprend :
- une tuyère (3) d'injection ;
  - un corps (4) de support de forme tubulaire et prévu à l'intérieur d'un canal (5) d'alimentation qui se termine par la tuyère (3) d'injection ;
  - une soupape (7) d'injection configurée pour réguler le flux de carburant à travers la tuyère (3) d'injection et dotée d'un obturateur (9) mobile disposé à l'extérieur du corps (4) de support et d'un siège (10) de soupape agencé dans le corps (4) de support ; et
  - un actionneur (6) configuré pour déplacer l'obturateur (9) entre une position de fermeture de la soupape (7) d'injection dans laquelle l'obturateur (9) est pressé contre le siège (10) de soupape et une position d'ouverture de la soupape (7) d'injection dans laquelle l'obturateur (9) est séparé par le siège (10) de soupape afin de créer un conduit (11) d'injection à travers lequel s'écoule le carburant gazeux ;

le moteur (E) à combustion interne est caractérisé en ce que le conduit (11) d'injection qui se crée entre l'obturateur (9) et le siège (10) de soupape lorsque la soupape (7) d'injection est dans la position d'ouverture, présente un tronçon initial convergent dans lequel une surface du conduit (11) d'injection diminue progressivement d'une première valeur ( $A_{MAXI}$ ) maximum au début du conduit (11) d'injection jusqu'à une valeur ( $A_{min}$ ) minimum et un tronçon final divergent dans lequel la surface du conduit (11) d'injection augmente progressivement de la valeur ( $A_{min}$ ) minimum jusqu'à atteindre une seconde valeur ( $A$

- $p_{MAX2}$ ) maximum à la fin du conduit (11) d'injection.
- [Revendication 18] Moteur (E) à combustion interne selon la revendication 17, et comprenant une unité de contrôle qui est configurée pour utiliser, si et lorsque cela est nécessaire, l'injecteur (1) de carburant jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène, c'est-à-dire pour maintenir ouvert, si et lorsque cela est nécessaire, l'injecteur (1) de carburant jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène.
- [Revendication 19] Moteur (E) à combustion interne selon la revendication 18, dans lequel l'unité de contrôle est configurée pour déterminer une pression maximum à l'intérieur du cylindre pour chaque cycle de combustion et pour programmer l'injection d'hydrogène dans le cylindre dans chaque cycle de combustion en fonction de la pression maximum à l'intérieur du cylindre dans ce cycle de combustion.
- [Revendication 20] Moteur (E) à combustion interne selon la revendication 18 ou 19, dans lequel l'unité de contrôle est configurée pour déterminer une pression maximum à l'intérieur du cylindre pour chaque cycle de combustion et pour déterminer la quantité maximum d'hydrogène injectable dans un seul cycle de combustion en fonction de la pression maximum à l'intérieur du cylindre dans ce cycle de combustion.
- [Revendication 21] Moteur (E) à combustion interne selon la revendication 20, dans lequel l'unité de contrôle est configurée pour déterminer la quantité maximum d'hydrogène injectable dans un seul cycle de combustion, en supposant maintenir l'injecteur (1) de carburant ouverte jusqu'au moment où une pression à l'intérieur du cylindre est comprise entre 85% et 90% d'une pression d'alimentation de l'hydrogène.

[Fig. 1]

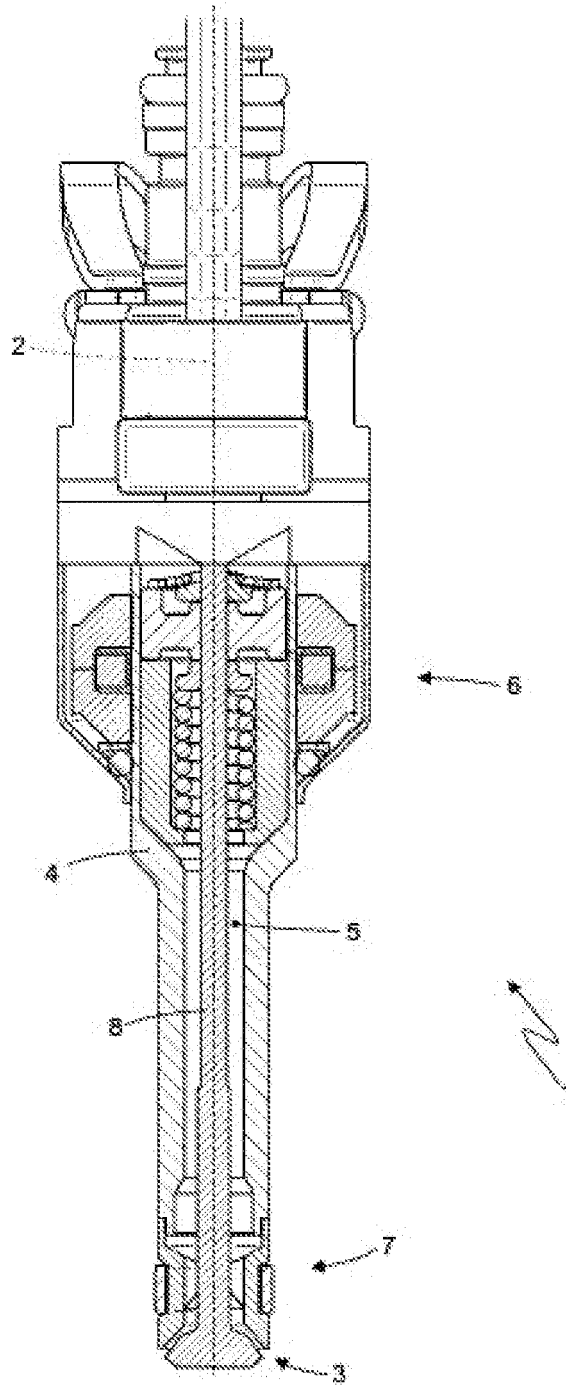


Fig. 1

[Fig. 2]

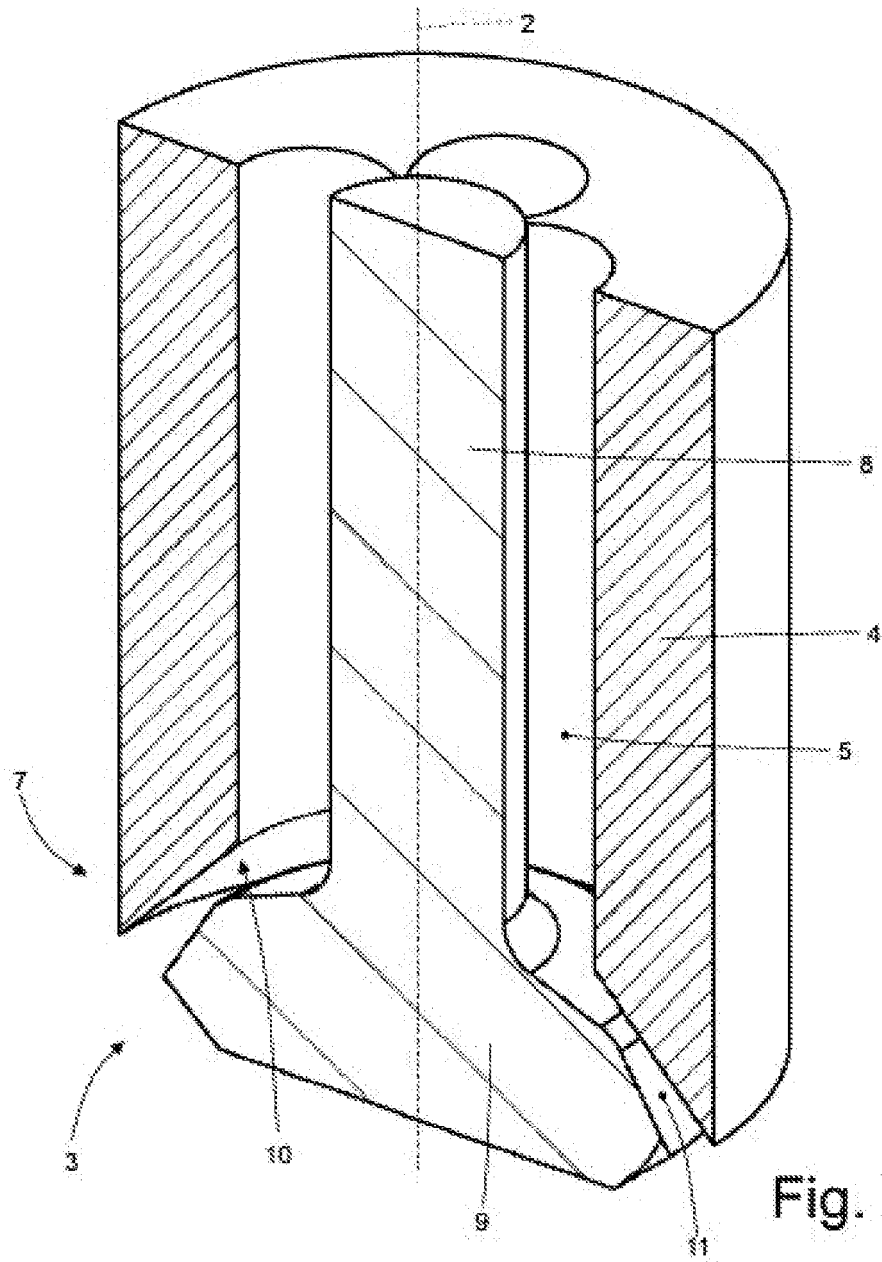


Fig. 2

[Fig. 3]



Fig. 3



[Fig. 5]

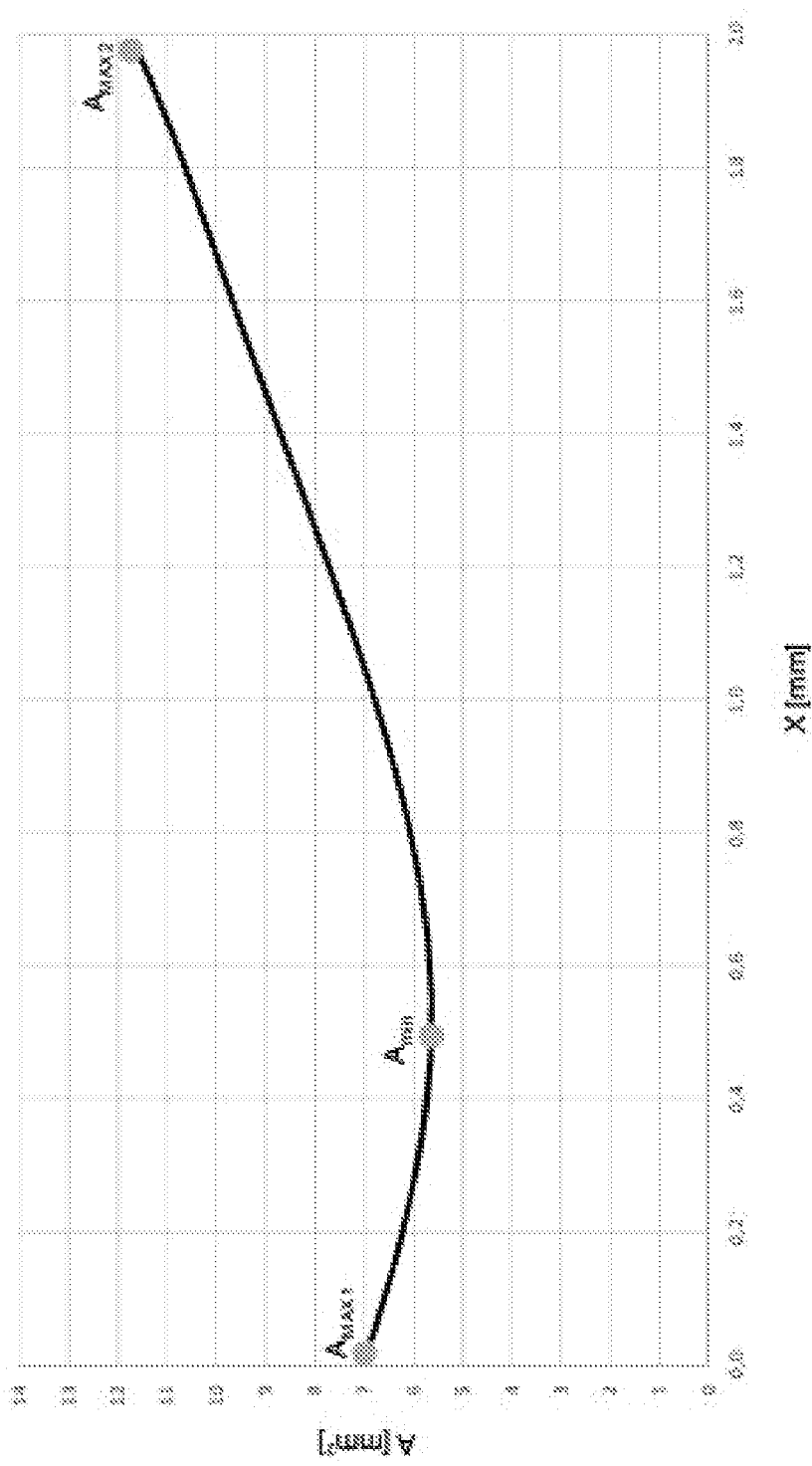


Fig. 5

[Fig. 6]

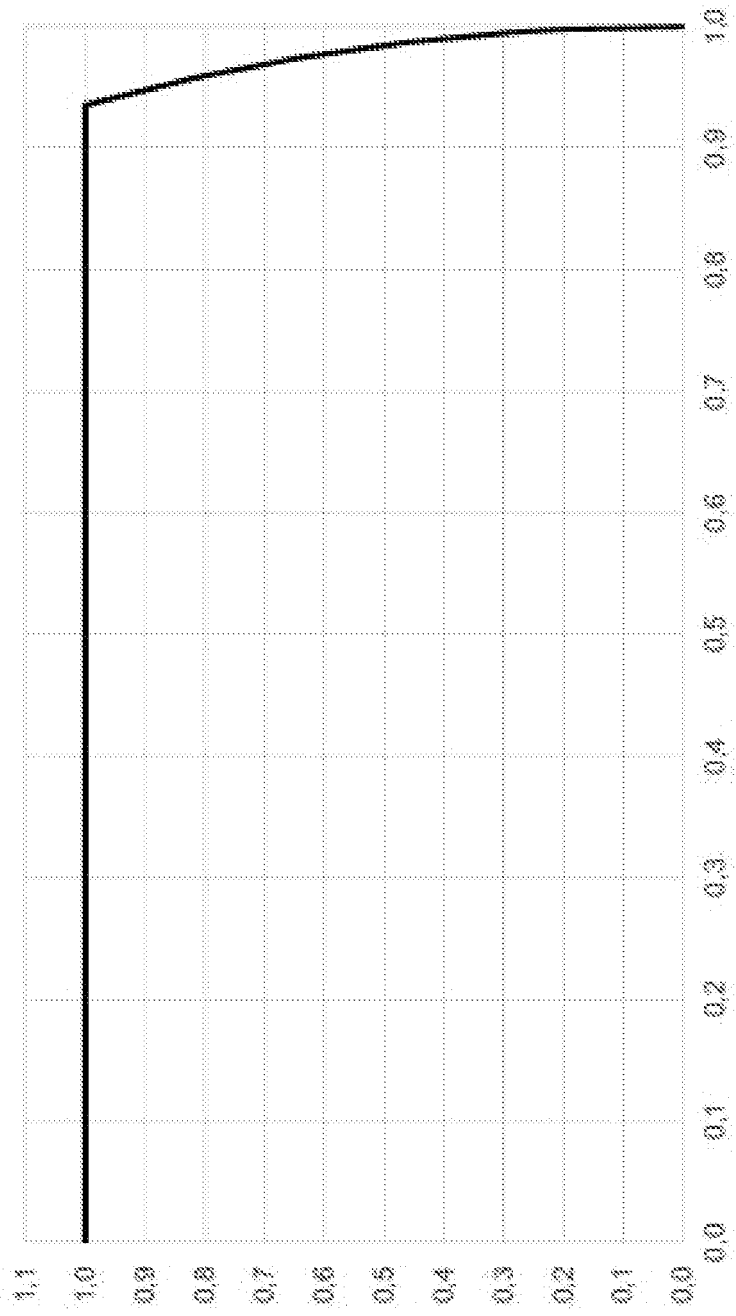


Fig. 6

[Fig. 7]

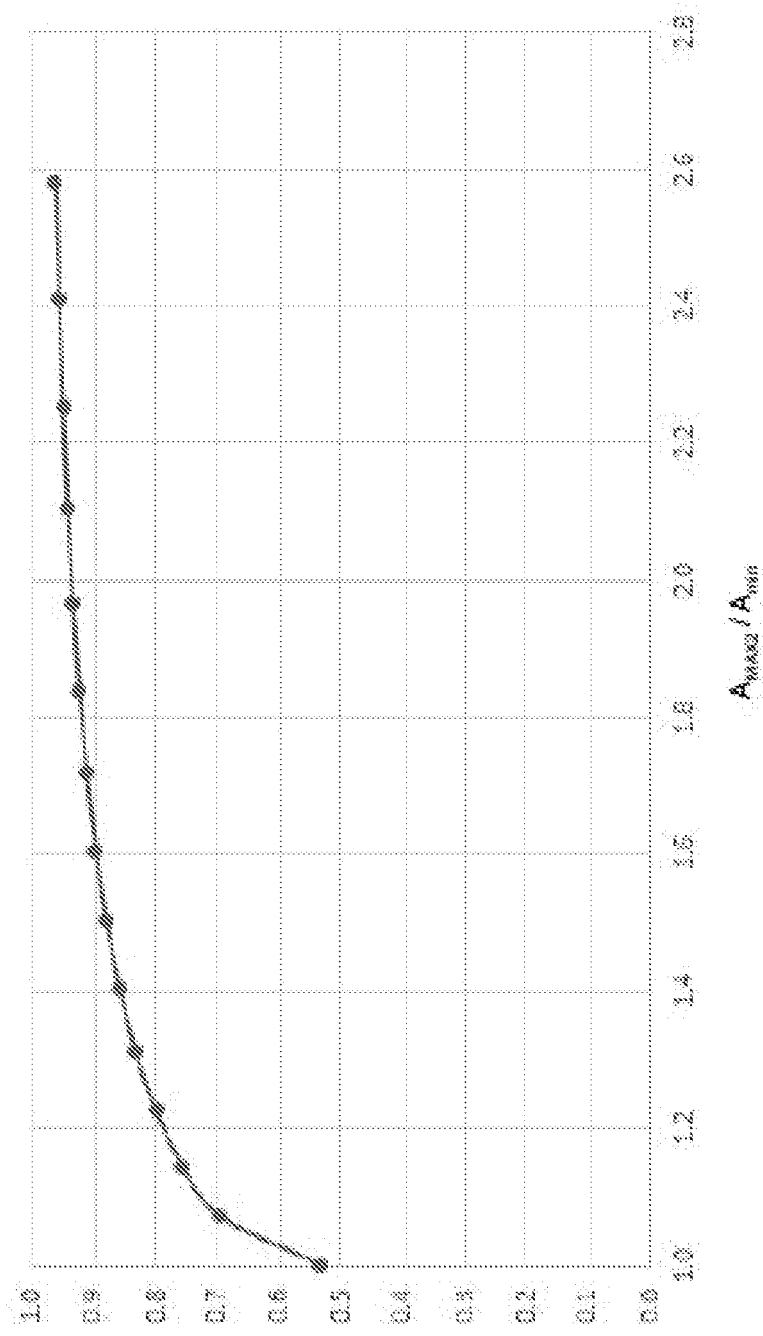


Fig. 7

[Fig. 8]

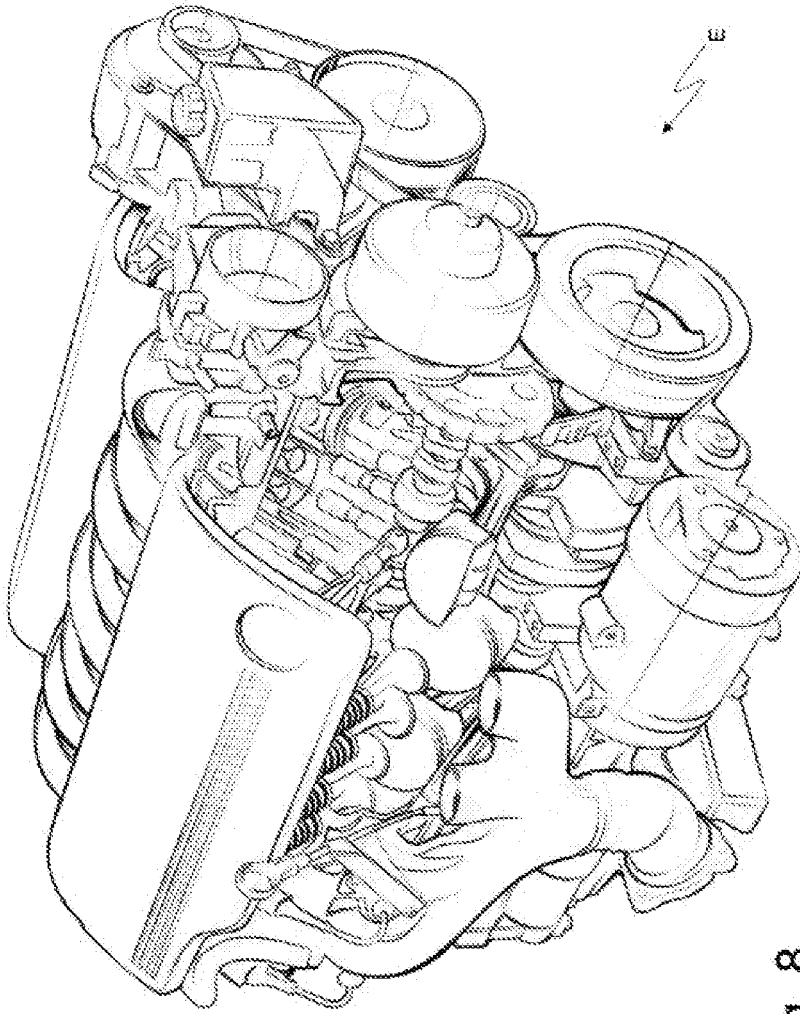


Fig. 8