D. 51.443

Brevet N° 83554 GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

du 14 août 1981

Titre délivré : - 1 DEC. 1981

Monsieur le Ministre
de l'Économie et des Classes Moyennes
Service de la Propriété Intellectuelle
LUXEMBOURG

Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

La société dite: THERMAL SYSTEMS LIMITED, P.O. Box 309, Grand Cayman, Cayman Islands, British West Indies, représentée par Monsieur Jacques de Muyser, agissant en qualité de mandataire (1) (2)

dépose(nt) ce quatorze août 1900 quatre-vingt-un (3)

à 15 heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg :

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant : "Moteur thermique alternatif, procédé de commande d'un tel moteur, et ensemble d'éléments destiné à former un tel moteur par transformation d'un moteur existant". (4)
2. la délégation de pouvoir, datée de SYDNEY, Australia le 1o avril 1981
3. la description en langue française de l'invention en deux exemplaires;
4. 7 planches de dessin, en deux exemplaires;
5. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg, le 14 août 1981

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont) : Victor Herbert FISCHER, 2/2 George Place, Artarmon, New South Wales, Australie (5)

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de (6) brevet déposée(s) en (7) Australie le 18 août 1980 (No. PE 5094) (8)

au nom de la déposante (9)

élit(élisent) pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg 35, bld. Royal (10)

sollicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes susmentionnées, — avec ajournement de cette délivrance à 12 mois. (11)

Le mandataire

II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, Service de la Propriété Intellectuelle à Luxembourg, en date du :

à 15 heures

Pr. le Ministre
de l'Économie et des Classes Moyennes,
p.d.

A 6687

(1) Nom, prénom, firme, adresse — (2) s'il a lieu : représenté par ... agissant en qualité de mandataire — (3) date du dépôt en toutes lettres — (4) titre de l'invention — (5) noms et adresses — (6) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité — (7) pays — (8) date — (9) déposant originaire — (10) adresse — (11) 6, 12 ou 18 mois

REVENDICATION DE LA PRIORITE

de la demande de brevet / ~~du modèle d'utilité~~ /

En AUSTRALIE

Du 18 août 1980

Mémoire Descriptif

déposé à l'appui d'une demande de

BREVET D'INVENTION

au

Luxembourg

au nom de : THERMAL SYSTEMS LIMITED

pour : "Moteur thermique alternatif, procédé de commande d'un tel moteur, et ensemble d'éléments destiné à former un tel moteur par transformation d'un moteur existant".

La présente invention concerne un moteur alternatif à combustion externe, c'est-à-dire un moteur ayant un ou plusieurs cylindres dans lesquels un déplacement alternatif constitue une source d'énergie, la chaleur alimentant le moteur étant créée à l'extérieur du cylindre. En particulier, l'invention concerne un nouveau cycle thermodynamique.

On a déjà souvent essayé de réaliser un moteur combinant un rendement thermique élevé, c'est-à-dire transformant la chaleur en travail utile, avec des rapports puissance/poids et puissance/volume raisonnables. Le moteur à combustion interne a un bon rapport puissance/poids mais un rendement thermique relativement faible. Le moteur diesel a le meilleur rendement thermique (pouvant atteindre 40 % environ). On a construit des moteurs ayant un rendement thermodynamique plus élevé et mettant en oeuvre des cycles de Carnot, Stirling et Ericsson, mais ils n'ont pas rencontré en général un succès commercial important, en grande partie à cause du problème de la réalisation d'un échangeur de chaleur petit et efficace, permettant un chauffage rapide et efficace du gaz de travail par la source extérieure de chaleur.

Le moteur à vapeur est une forme bien connue de moteur à combustion externe, mais son rapport puissance/poids est faible de façon générale, étant donné qu'il nécessite une chaudière à vapeur et un condenseur séparés. Le moteur à vapeur met en oeuvre habituellement de la vapeur d'eau sèche ou une autre vapeur sèche comme fluide de travail. En outre, le rendement du moteur à vapeur est limité par les restrictions du cycle de Rankine.

L'invention concerne un moteur alternatif à combustion externe dans lequel de l'énergie est transmise à un espace de travail du moteur par un fluide de transfert de chaleur, ce moteur comprenant

un cylindre ayant un piston et délimitant un espace de travail, le piston se déplaçant alternativement dans le cylindre afin qu'il ait une course de compression

et une course de détente,

un échangeur de chaleur destiné à chauffer, à l'extérieur du cylindre, le fluide de transfert de chaleur sous une pression telle qu'il reste à l'état liquide, et

un injecteur commandé afin qu'il injecte le liquide chauffé dans l'espace de travail à proximité de la fin de la course de compression du piston, si bien que le liquide se vaporise spontanément dans l'espace de travail,

le cylindre ayant une sortie commandée afin qu'elle évacue le fluide de transfert de chaleur de l'espace de travail à proximité de la fin de la course de détente du piston.

L'échangeur de chaleur comprend avantageusement un brûleur destiné à chauffer le liquide. Un compresseur est avantageusement utilisé pour la transmission de gaz de combustion, habituellement d'air, au brûleur. Cependant, un compresseur n'est pas primordial.

Le compresseur peut être délimité par l'espace formé à une extrémité du cylindre. Cependant, un compresseur rotatif ou alternatif séparé peut aussi être utilisé, par exemple à ailettes ou à turbine.

Le cylindre peut être du type à double effet, comprenant un piston délimitant d'un côté (habituellement du côté de la tige) l'espace du compresseur et de l'autre côté l'espace de travail. Cependant, l'utilisation d'équivalents mécaniques de cet arrangement est aussi possible ; par exemple deux cylindres peuvent être couplés à un même arbre, l'un des cylindres délimitant l'espace du compresseur par son piston alors que l'autre cylindre délimite l'espace de travail par son piston séparé.

Le moteur peut aussi comprendre deux pistons opposés se déplaçant alternativement dans un cylindre commun, si bien que l'espace de travail est délimité par les deux couronnes des pistons et les parois du cylindre.

Diverses soupapes d'entrée et de sortie de type classique sont utilisées le cas échéant et peuvent être sous forme de clapets ou elles peuvent être commandées par

une came entraînée par le moteur. Cependant, le moteur peut aussi ne comprendre aucune soupape, le piston pouvant par exemple ouvrir et fermer des lumières, comme dans un moteur à deux temps.

Un injecteur est aussi destiné à injecter le fluide de transfert de chaleur à l'état liquide et préchauffé dans l'espace de travail. Le rôle du liquide injecté est de permettre le transfert de l'échangeur de chaleur à l'espace de travail et d'accroître ainsi la tension de la vapeur dans l'espace de travail.

Lors du fonctionnement du moteur, l'espace de travail contient une certaine quantité de fluide de transfert de chaleur à l'état vapeur et habituellement aussi une certaine quantité à l'état liquide. Le fluide de transfert de chaleur se vaporise au moins en partie dans l'espace de travail après injection, lors du fonctionnement du moteur.

On considère maintenant la définition de termes utilisés dans la suite du présent mémoire, afin d'éviter certaines confusions. Le fluide de transfert de chaleur peut être présent à l'état liquide ou vapeur. L'expression "vapeur humide" indique que le liquide injecté est présent aussi bien à l'état liquide (par exemple sous forme de gouttelettes) qu'à l'état vapeur simultanément.

Le liquide est de préférence chauffé par un brûleur à combustible dans un échangeur de chaleur peu encombrant, par exemple un serpentin d'un tube à petit trou, à pression et température élevées (c'est-à-dire afin que l'énergie interne soit importante). Comme un tel tube à petit trou peut supporter des pressions élevées, le liquide peut habituellement être chauffé à sa température critique. Dans des applications particulières dans lesquelles la chaleur transmise doit être élevée, il peut être avantageux que le fluide soit porté à une température et une pression supérieures à celles du point critique. Le liquide chaud sous pression est alors injecté dans l'espace de travail. L'énergie interne du fluide est rapidement transmise lors de l'injection des gouttelettes

liquides chaudes à l'espace de travail lorsque le liquide se vaporise si bien que la pression augmente. La vapeur qui se trouve dans l'espace de travail du cylindre se détend (habituellement de façon polytropique, c'est-à-dire non adiabatique) en entraînant le piston et en créant du travail.

Le fluide de transfert de chaleur est un liquide vaporisable tel que l'eau dont une partie passe instantanément à l'état vapeur après l'injection dans l'espace de travail. Ainsi, le transfert de chaleur entre la vapeur d'eau chaude injectée et la vapeur qui se trouve dans l'espace de travail est très rapide. En conséquence, on peut noter que le liquide injecté constitue simplement un fluide de transfert de chaleur qui permet à la vapeur de l'espace de travail de transformer l'énergie interne en travail mécanique. Il est souhaitable que le fluide de transfert de chaleur ait une conductibilité thermique élevée afin que le transfert de chaleur soit maximale dans l'échangeur. Le fluide est de préférence choisi parmi le sodium, le mercure, l'eau, l'huile, et certains de leurs mélanges qui conviennent. Le mélange peut être formé à l'intérieur de l'espace de travail ou à l'extérieur. L'espace de travail peut aussi éventuellement contenir un fluide vaporisable de transfert de chaleur, qui peut être vaporisé par injection du liquide chauffé (qui n'est pas alors lui-même vaporisable). L'eau peut être utilisée en mélange avec une huile, par exemple sous forme d'une émulsion, d'une dispersion ou d'une solution d'eau et d'une huile hydrosoluble afin que la lubrification du moteur soit facilitée.

Lors du fonctionnement, une quantité résiduelle de vapeur due à la vaporisation du fluide de transfert de chaleur et habituellement une certaine quantité de liquide sont toujours présentes dans l'espace de travail. La retenue d'une certaine quantité de liquide résiduel dans l'espace de travail après l'échappement est souhaitable pour des raisons apparaissant plus clairement dans la suite du présent mémoire, car elle réduit les pressions atteintes pendant la course de compression. Ainsi, la construction du

cylindre et/ou du piston de manière qu'une certaine quantité de liquide soit retenue dans l'espace de travail après l'échappement peut être souhaitable. En général, cette caractéristique peut être obtenue par formation de cavités convenables dans le piston ou le cylindre.

La pression dans l'espace de travail au point mort bas est en général supérieure à la pression atmosphérique (1 bar) et il est en général avantageux que le fluide évacué subisse une réduction de pression à 1 bar environ. La pression au point mort haut est déterminée par le rapport de compression qui, lors de l'utilisation d'un rendement élevé, est en général d'au moins 10/1. Cependant, le moteur peut fonctionner avec des rapports de compression très faibles, par exemple inférieurs à 5/1. Le moteur a de préférence un rapport de son alésage à sa course compris entre 1/1 et 1/3.

Il faut distinguer l'invention du moteur à vapeur en ce que le fluide de transfert de chaleur est maintenu sous forme liquide et ne peut pas se vaporiser tant qu'il n'a pas été introduit dans l'espace de travail. Cette caractéristique diffère nettement du moteur à vapeur dans lequel, même lors de l'utilisation d'une chaudière à vaporisation adiabatique, l'eau est toujours introduite dans le cylindre sous forme de vapeur. En fait, comme la vapeur d'eau doit être surchauffée afin que les gouttelettes soient retirées, dans un moteur classique à vapeur, de l'eau liquide ne peut pas s'évaporer directement dans le cylindre du moteur à vapeur puisque des gouttelettes d'eau apparaîtraient dans le cylindre. Cependant, dans le moteur selon l'invention, il est avantageux que la majorité de l'eau soit présente dans l'espace de travail sous forme de gouttelettes de liquide puisque la quantité de condensation ultérieure permettant la récupération de chaleur latente de vaporisation qui doit avoir lieu, est réduite.

Comme la majorité de l'eau est injectée et évacuée à l'état liquide, il n'y a pratiquement pas d'augmentation d'entropie due à la vaporisation. Dans le cycle de

Rankine des moteurs à vapeur, cette vaporisation représente une limite théorique au rendement d'un moteur idéal puisque du travail doit être consacré à la recondensation de la vapeur évacuée en eau liquide. Cette opération est superflue selon l'invention si bien que presque toute l'énergie interne perdue par le liquide injecté peut être transformée en travail liquide. La majorité du fluide de transfert de chaleur ne change pas habituellement d'état. Ainsi, le rendement théorique du cycle selon l'invention est supérieur à celui du cycle de Rankine pour la vapeur d'eau.

Il est nécessaire que le fluide chauffé de transfert de chaleur soit maintenu à l'état liquide avant l'injection. Bien que l'opération puisse être réalisée par utilisation de capteurs convenables afin que la température, à une pression donnée, ne dépasse jamais la température d'ébullition du liquide, on constate que, lorsqu'un orifice de dimension convenable est relié à l'échangeur dans lequel le liquide est chauffé et si un courant de liquide est maintenu dans l'échangeur, le chauffage du liquide ne provoque pas l'ébullition de celui-ci. Ainsi, lorsque la dimension de l'orifice est convenablement choisi, on peut éviter l'utilisation de dispositifs complexes de détection de la température et de la pression. Evidemment, l'orifice peut faire partie du dispositif d'injection du liquide. Ainsi, on peut régler le travail du moteur par simple réglage de la quantité de chaleur transmise au brûleur, par exemple par réglage du combustible transmis au brûleur (pour un débit volumique constant d'injection d'un liquide).

Le travail du moteur peut aussi être réglé par le taux d'injection de liquide, par exemple par utilisation d'une pompe volumétrique variable.

Habituellement, le fluide de transfert de chaleur est récupéré après son évacuation de l'espace de travail. Le fluide évacué est encore chauffé dans une certaine mesure et peut être recyclé dans l'échangeur afin que son énergie interne ne soit pas perdue. De cette manière, le fluide constitue simplement un fluide de transfert de

chaleur et n'est pas consommé.

L'eau constitue le fluide le plus avantageux de transfert de chaleur. Un dispositif peut être utilisé pour la récupération de l'eau produite par la combustion du brûleur. Ainsi, on peut éviter tout remplissage par de l'eau puisque celle-ci est tirée de la combustion dans le brûleur.

Le gaz transmis au brûleur peut faire partie du processus de combustion qui a lieu dans le brûleur. Le gaz peut être capable d'entretenir la combustion, par exemple de l'oxygène, de l'air ou un autre gaz contenant de l'oxygène, ou de l'oxyde nitreux. Dans une variante, le gaz peut lui-même être un gaz combustible choisi parmi tous les gaz combustibles connus tels que les hydrocarbures gazeux, l'oxyde de carbone ou l'hydrogène.

Le combustible brûlé dans le brûleur peut être choisi parmi les combustibles connus tels que les essences, les fuel oils, les hydrocarbures liquéfiés ou gazeux, les alcools, le bois, le charbon et le coke.

Il est en général avantageux d'utiliser divers dispositifs de récupération de chaleur. Ainsi, le moteur dans son ensemble peut être placé dans une enceinte d'isolation thermique et peut comporter des échangeurs de chaleur destinés à recueillir la chaleur parasite et à la transférer par exemple au combustible du brûleur afin qu'il soit préchauffé. Il est aussi avantageux que la chaleur restant dans les gaz du brûleur soit récupérée, par exemple par circulation de ces gaz dans une chambre de récupération dans laquelle un courant de liquide est vaporisé (en général le même liquide que celui qui est injecté dans le moteur). Il est avantageux que le liquide soit pulvérisé dans les gaz brûlés afin qu'il soit chauffé à une température proche de sa température d'ébullition avant sa transmission à l'échangeur de chaleur. En outre, lors de l'utilisation d'eau, une chambre de pulvérisation d'eau ou un condenseur est avantageux car l'eau provenant du brûleur peut être séparée des gaz brûlés par condensation et le moteur ne nécessite plus d'eau d'appoint. Habituellement, le fluide

évacué de transfert de chaleur contient une certaine proportion de vapeur. Celle-ci peut être séparée du liquide dans un piège et transmise avec le gaz de combustion au brûleur si bien que le gaz de combustion est préchauffé et une plus grande quantité de vapeur est condensée.

La construction d'un moteur selon l'invention est considérablement simplifiée par rapport aux moteurs connus, tels que les moteurs à combustion interne. Ainsi, les températuresexistant dans l'espace de travail sont en général réduites si bien que les problèmes d'étanchéité autour des pistons sont simplifiés. Il faut noter que de l'énergie peut être transmise dans le moteur selon l'invention à des températures plus faibles que celles d'un moteur à combustion interne. En outre, le moteur à combustion interne a un rendement thermique inférieur en ce qu'il doit comporter un dispositif de refroidissement des cylindres, destiné à empêcher leur grippage.

En outre, comme les températures rencontrées dans le moteur sont relativement faibles, par exemple peuvent atteindre 250°C, la construction du cylindre en métal n'est pas habituellement nécessaire. Les matières plastiques telles que le polytétrafluoréthylène, des fibres de verre imprégnées d'une résine de silicone, et autres utilisées pour la construction, sont particulièrement avantageuses étant donné leur faible prix et leur facilité d'utilisation. D'autres matières d'isolation thermique, telles que le bois ou les céramiques, peuvent aussi être utilisées.

Dans un mode de réalisation avantageux, le liquide chaud est injecté à une première extrémité de l'espace de travail et la sortie est formée à l'autre extrémité de la course du piston. L'utilisation de matières ayant une faible conductibilité thermique permet à la première extrémité du cylindre d'être chaude lorsque la région de sortie est relativement froide.

Il est en général avantageux que l'injection soit déclenchée en un point distant de 0 à 90° du point auquel l'espace de travail a atteint son volume minimal.

L'énergie est en général prélevée dans le moteur par une tige fixée au piston alternatif. L'extrémité libre de la tige peut être reliée à un arbre excentrique d'un volant rotatif ou à un vilebrequin afin que le déplacement alternatif soit transformé en un mouvement de rotation.

Bien qu'on ait décrit l'invention en référence à un moteur à cylindre unique, il faut noter que les moteurs à deux ou plusieurs cylindres sont en général préférables en pratique. Chaque moteur ne nécessite habituellement qu'un seul échangeur de chaleur et une seule chambre de pulvérisation.

L'invention concerne aussi un procédé de mise en oeuvre d'un moteur alternatif à combustion externe, ainsi qu'un ensemble d'éléments destiné à transformer un moteur (par exemple un moteur à combustion interne tel qu'un moteur diesel) en un moteur selon l'invention.

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

- la figure 1 est un schéma d'un premier mode de réalisation de moteur à combustion externe selon l'invention ;

- la figure 2 est un schéma simplifié du premier mode de réalisation, correspondant au principe de fonctionnement ;

- la figure 3 est une coupe schématique d'un cylindre du moteur ;

- la figure 4 est une coupe schématique d'un échangeur de chaleur du moteur ;

- la figure 5 est une coupe schématique d'un dispositif de pulvérisation destiné au refroidissement des gaz provenant du brûleur ;

- les figures 6A et 6B sont des graphiques représentant respectivement la variation de la pression P avec le volume V et de la température T avec l'entropie S, dans le premier mode de réalisation de l'invention ;

- les figures 7A et 7B représentent à titre comparatif les diagrammes PV et TS d'un moteur connu à combustion interne à deux temps ;

- la figure 8 est une élévation schématique d'un second mode de réalisation de moteur selon l'invention ;

- la figure 9 est une vue de bout en coupe partielle du moteur de la figure 8 ; et

- la figure 10 est un schéma du circuit d'eau recyclé.

Comme l'indique la figure 1, le moteur à combustion externe selon l'invention comprend essentiellement un cylindre 5 ayant un piston 6 délimitant un espace T de compresseur et un espace P de travail, un serpentin H de chauffage d'eau liquide sous pression à l'aide d'un brûleur B, un préchauffeur éventuel PH destiné à préchauffer le combustible destiné au brûleur, à l'aide de la chaleur des gaz brûlés, un dispositif S de pulvérisation destiné à refroidir et laver les gaz du brûleur, une pompe X destinée à transmettre de l'eau sous pression au serpentin de chauffage, et un piège T destiné à récupérer et à séparer l'eau vapeur et l'eau liquide après la sortie de l'espace de travail.

Le moteur à combustion externe fonctionne de la manière suivante. De l'air A à pression et température atmosphériques est aspiré dans l'espace C du compresseur du cylindre 5 par déplacement du piston 6 vers la droite (comme indiqué sur la figure 1) avec ouverture du clapet 4 d'entrée. La sortie de l'espace C est fermé par un clapet 2. Lorsque le piston 6 atteint le point extrême droit de son parcours (point mort haut), le clapet 4 d'entrée se ferme. Le mouvement du piston alternatif qui revient vers la gauche en se poursuivant provoque le début de la compression de l'air.

La compression se poursuit afin que l'air de l'espace C atteigne une pression qui suffit au fonctionnement du brûleur B. Lorsque le piston s'approche du point mort bas, le clapet 3 de sortie s'ouvre et évacue la vapeur

humide de l'espace T de travail. Le clapet 2 s'ouvre aussi et admet l'air comprimé et légèrement chauffé dans le piège T.

Peu après le point mort bas, les clapets 2 et 3 se ferment et, lorsque le piston se déplace à nouveau vers le point mort haut, de la vapeur d'eau sèche et saturée résiduelle de l'espace P de travail est comprimée.

A proximité du point mort haut, l'eau liquide chaude et sous pression est injectée par un clapet 1 et un injecteur associé 51 si bien que la pression augmente rapidement dans le cylindre (suivant la ligne bc de la figure 6A) du fait du chauffage de la vapeur d'eau déjà présente dans l'espace de travail et de la vaporisation d'une partie de l'eau injectée. Le piston revient alors vers le point mort bas, l'espace de travail ayant une pression qui diminue et se refroidissant. La détente de la vapeur dans le cylindre est représentée par la ligne cd de la figure 6A. A proximité du point mort bas, de la vapeur d'eau est évacuée du cylindre et passe par le clapet 3 et la cloison cylindrique 10 vers le piège T. Dans celui-ci, l'eau liquide est récupérée et recyclée vers le dispositif H de chauffage dans lequel elle est chauffée et mise sous pression. De l'eau W d'appoint peut être transmise au piège T le cas échéant.

La vapeur saturée sèche du piège T est mélangée à l'air comprimé de l'espace C si bien que l'air de combustion est préchauffé et alors transmis au brûleur B.

Un dispositif éventuel de séchage est placé entre le piège T et le brûleur et le condensat liquide est renvoyé vers le piège par la canalisation 7.

Le préchauffeur PH préchauffe le combustible F qui parvient alors au brûleur par la canalisation 8. De l'eau qui peut ainsi être condensée et provenant des gaz brûlés, est recyclée vers la pompe par une canalisation 9. Suivant le rapport de compression et la puissance au moment considéré, la température de l'eau injectée peut être supérieure ou égale à la température de l'espace de travail juste avant l'injection.

La figure 2 montre que l'eau constitue elle-même principalement le fluide de transfert de chaleur qui est recyclé après utilisation. La seule eau perdue par le système est celle qui est entraînée dans les gaz brûlés refroidis quittant la chambre S de pulvérisation.

On considère maintenant le cycle plus en détail.

L'eau chauffée à la pression atmosphérique et à une température inférieure à 100°C est transmise du piège T (et éventuellement de la chambre S de pulvérisation et du préchauffeur PH) vers la pompe X sous pression puis elle est transmise à pression élevée au dispositif H de chauffage. L'eau qui se trouve dans celui-ci est portée à une température de 300°C environ et à une pression de 86 bars environ. En principe, l'eau peut être chauffée à toute température supérieure ou inférieure à la température critique et à la pression critique (374°C et 220,9 bars) mais la pression est toujours telle que, quelle que soit la température, l'eau reste à l'état liquide.

L'espace P de travail contient de l'eau résiduelle de la course précédente, sous forme liquide et vapeur. Lorsque le piston se dirige vers le point mort haut, l'eau gazeuse est comprimée à 22 bars environ et (pour un rapport de compression de 16/1) à une température de 217°C environ au point mort haut. Par exemple, le rapport de compression du cylindre est compris entre 10/1 et 20/1. Une certaine vaporisation de l'eau résiduelle peut avoir lieu pendant la compression suivant la vitesse du piston. Cette opération rend minimal le surchauffage de la vapeur comprimée, si bien qu'elle reste à l'état saturé sec.

Au point mort haut, l'eau chaude sous pression de 86 bars environ et à 300°C est injectée dans l'espace P de travail par l'injecteur 51 et une partie de l'eau liquide s'évapore immédiatement, si bien qu'elle atomise l'eau liquide injectée restante et élève rapidement la pression dans l'espace P. L'injection d'eau est poursuivie pendant 5 à 25 % environ de l'ensemble de la course. La pression atteinte dépend de la quantité et de la température

de l'eau liquide injectée ainsi que de la quantité qui s'évapore.

L'augmentation rapide de pression provoque un déplacement à nouveau du piston 6 vers le point mort bas. A 35° environ avant ce point mort bas, le clapet 3 s'ouvre et évacue l'eau liquide et l'eau vapeur de l'espace P. Ces matières évacuées sont transmises au piège T dans lequel l'eau liquide est récupérée et est renvoyée vers le dispositif H de chauffage.

Bien qu'on ait décrit l'invention en référence à un compresseur à piston, placé dans le même cylindre que l'espace de travail ou non, il faut noter que, le cas échéant, tout autre compresseur convient, par exemple un ventilateur ou un compresseur rotatif.

Ce mode de réalisation permet une construction particulièrement simple du cylindre, telle que représentée sur la figure 3. Les températures relativement basses rencontrées permettent l'utilisation de matière plastique pour la construction du cylindre et en fait une matière plastique présente des avantageux importants représentés par sa faible conductibilité thermique.

Le cylindre représenté sur la figure 3 a un corps 52 ayant une rangée d'orifices 53 placés circonférentiellement et formant la sortie de l'espace P de travail du cylindre. Une tête 54 de cylindre ayant un injecteur 51 d'eau monté à l'intérieur est fixée à une première extrémité du corps 52 et une plaque 55 d'extrémité ayant une entrée 56 et une sortie 57 (avec des clapets de retenue correspondants ferme l'espace du compresseur à l'autre extrémité du cylindre. Un piston 58 et une tige 59 sont placés dans le cylindre.

Il faut noter que l'extrémité du cylindre qui est adjacente à l'injecteur 51 est à température relativement élevée alors que l'autre extrémité, adjacente aux orifices 53, est à température relativement faible. L'utilisation d'une matière plastique ayant une faible conductibilité thermique permet l'entretien de cette différence

avantageuse de températures. Ainsi, si de la chaleur doit être conduite vers les orifices 53, la température des matières évacuées augmente si bien que le rendement thermique diminue.

Lors de l'utilisation d'un moteur à plusieurs cylindres, des soupapes d'injection commandées par des cames individuelles peuvent être montées dans chaque cylindre. Dans une variante, un distributeur peut transmettre périodiquement l'eau chaude sous pression aux cylindres convenables. Les injecteurs peuvent transmettre un volume constant d'eau à une température variable. Cependant, les injecteurs transmettant un volume variable d'eau à pression constante peuvent aussi être utilisés, surtout lorsqu'une variation plus rapide de la puissance est nécessaire.

La figure 4 représente la construction de l'échangeur de chaleur qui combine le serpentin H de chauffage et le brûleur B. L'échangeur a des manchons interne et externe coaxiaux 60 et 61 délimitant un double trajet de circulation des gaz du brûleur. Une isolation 64 est formée autour de l'extérieur de l'échangeur de chaleur. Une buse d'entrée de combustible est destinée à brûleru le combustible F dans l'air A admis par l'entrée d'air. L'eau W circule dans un serpentin H de chauffage qui comprend un enroulement interne 62 et un enroulement externe 63, dans le sens indiqué par les flèches si bien que l'eau quitte le serpentin interne 62 à proximité de la température la plus élevée du brûleur. L'eau chaude sous pression est alors transmise par une tuyauterie 50 avant injection dans l'espace P de travail.

La figure 5 représente un dispositif de pulvérisation utilisé pour le refroidissement et le lavage des gaz du brûleur B et ainsi pour la récupération d'une partie de la chaleur et de l'eau de combustion. Ce dispositif comporte une chambre 17 de pulvérisation ayant un entonnoir 18 sur lequel l'eau est pulvérisée par une buse 41, dans le courant des gaz brûlés chauds. Ces derniers sont aspirés

par l'entrée 19 et destinés à circuler tangentiellement autour de la chambre avant de s'échapper par la sortie 20 sous forme de gaz refroidis. Les gaz brûlés passent ainsi à travers la pulvérisation puis dans un rideau d'eau tombant par l'orifice interne de l'entonnoir 18. Les gaz brûlés sont de préférence refroidis à moins de 100°C afin que la chaleur latente de vaporisation de l'eau du brûleur soit récupérée. De l'eau à 100°C environ quitte la sortie 21 avant d'être transmise par la pompe X à l'échangeur de chaleur. L'eau froide W d'alimentation est introduite dans la chambre par l'intermédiaire d'une soupape à flotteur 40 destinée à maintenir un niveau constant d'eau au fond de la chambre de pulvérisation. Une pompe R de recyclage et un conduit associé 22 sont destinés à recycler l'eau dans la pulvérisation afin qu'elle soit portée à sa température d'ébullition. Cependant, en pratique, lorsqu'il est souhaitable que les gaz brûlés soient refroidis à moins de 100°C, le retrait d'eau par la sortie 21 à une température nettement plus faible telle que 50°C peut être nécessaire.

Les figures 6A et 6B représentent le fonctionnement thermodynamique idéal du moteur de la figure 1. Les figures 7A et 7B permettent la comparaison avec le fonctionnement d'un moteur classique à deux temps.

Bien que l'invention ne soit nullement limitée par une théorie quelconque, on considère que le fonctionnement du moteur peut être représenté de la manière suivante. Les figures 6A et 6B représentent les diagrammes PV et TS. Très peu de l'eau injectée passe à l'état vapeur, la plus grande partie restant en phase liquide sous forme de gouttelettes.

A tout moment, il y a un volume de vapeur résiduelle dans l'espace de travail. En première approximation, la vapeur d'eau qui reste peut être considérée comme un fluide gazeux de travail qui prélève et fournit de la chaleur à chaque cycle, en formant du travail. L'espace de travail contient aussi de l'eau liquide résiduelle.

La vapeur d'eau de l'espace P de travail est comprimée pendant la course de compression, suivant la ligne ab. La compression n'est pas isentropique étant donné la vaporisation de l'eau résiduelle dans le cylindre.

La vaporisation du liquide résiduel dans l'espace de travail pendant la compression provoque une réduction de l'entropie de la vapeur. S'il n'y avait pas de liquide résiduel dans l'espace de travail, la compression adiabatique de la vapeur pourrait donner, dans le diagramme TS, une ligne ab verticale, c'est-à-dire que la vapeur d'eau aurait été surchauffée.

Cependant, en présence d'eau liquide, toute tendance de la vapeur à être surchauffée est compensée par vaporisation d'une partie du liquide. Ainsi, la ligne ab suit la courbe représentant la vapeur saturée sèche sur le dôme entropique (représenté en traits interrompus) pour l'eau.

A volume constant, de l'eau liquide chaude et sous pression est injectée au point b à une température supérieure à la température de l'espace de travail, et une petite partie de l'eau se vaporise si bien que la pression augmente de P_b à P_c suivant la ligne bc. La température T de la vapeur saturée sèche augmente aussi, alors que l'entropie de la vapeur sèche diminue vers c.

Lorsque le piston descend, la vapeur d'eau humide se détend le long de la ligne cd mais, étant donné la présence de gouttelettes liquides chaudes, la détente n'est pas adiabatique mais polytropique du fait du transfert de chaleur du liquide si bien que la courbe cd du diagramme PV est aplatie. La détente provoque aussi une réduction de la température T et une faible augmentation de l'entropie S.

Après évacuation de l'espace de travail, la pression et la température dans cet espace de travail diminuent suivant la ligne da.

Les références a', b', c' et d' du diagramme TS représentent le cycle suivi par l'eau liquide. Ainsi, l'eau

liquide est chauffée dans le serpentin de chauffage suivant la ligne a'b' et est injectée dans l'espace de travail au point b'. La température de l'eau liquide diminue alors le long de la ligne b'c après injection et ensuite le liquide et la vapeur sont en équilibre.

Des exemples de conditions de fonctionnement sont les suivants. La pression P_a au point a est de 1,2 bar et la température de 378K (105°C). Pour un rapport de compression de 16/1, la pression P_b et la température T_b au point b atteignent environ 22 bars et 490K (217°C). L'eau liquide à 573K (300°C) et 86 bars est alors injectée dans l'espace de travail au point b et une petite quantité passe à l'état vapeur, le reste restant sous forme liquide. La pression augmente ainsi le long de la ligne bc (par exemple à P_c = 30 bars) et la température augmente du fait de l'injection d'eau plus tiède (T_c = 507K, soit 234°C). Lorsque l'eau est à la même température que la vapeur d'eau comprimée, la ligne bc du diagramme TS est horizontale. La réduction d'entropie le long de la ligne bc de la vapeur d'eau qui se trouve à l'origine dans le cylindre est due à l'injection d'eau à l'état liquide. Comme le piston revient vers le point mort bas, l'eau gazeuse se détend le long de la ligne cd jusqu'à une pression P_d d'environ 2 bars, à une température théorique T_d d'environ 393K ou 120°C. La vapeur d'eau et le liquide sont alors évacués de l'espace de travail suivant la ligne da si bien que la température et la pression diminuent alors que l'entropie de la vapeur dans l'espace de travail augmente.

Les figures 7A et 7B représentent, à titre de comparaison, un cycle connu à deux temps. De l'air est aspiré au point a et est comprimé adiabatiquement et isentropiquement suivant la ligne ab. La température au point b est accrue et la pente de la ligne ab est plus élevée que pour le cycle selon l'invention. La présence d'eau liquide dans l'espace de travail du cycle selon l'invention aplatit la ligne ab puisque de l'énergie est nécessaire pour la vaporisation de l'eau liquide pendant la

compression.

Dans le cycle à deux temps, le combustible est alors brûlé dans le cylindre et élève la pression, la température et l'entropie suivant la ligne bc. Dans le cycle selon l'invention, la pression augmente légèrement du fait de la vaporisation instantanée d'une certaine partie du liquide, et la température de la vapeur augmente dans l'espace de travail. Cependant, alors que, dans le cycle à deux temps, il y a augmentation de l'entropie suivant la ligne bc, il y a réduction de l'entropie dans le cycle selon l'invention, pour la vapeur d'eau présente dans l'espace de travail, du fait de l'addition d'eau liquide après injection.

Ensuite, une détente adiabatique et isentropique est exécutée le long de la ligne cd, le liquide chauffé dans l'espace de travail dans le cycle selon l'invention fournissant la chaleur et provoquant ainsi un aplatissement de la courbe PV par rapport à celle du cycle à deux temps.

Le rendement thermique élevé du cycle selon l'invention est dû au fait que, alors que, dans le cycle à deux temps, les gaz évacués par le cylindre se trouvent à pression et température élevées, seules l'eau liquide et une petite quantité de vapeur sont évacuées selon l'invention. Ainsi, l'eau liquide est injectée dans l'espace de travail et elle en est évacuée.

La plus grande partie de l'eau injectée, après l'injection, reste à l'état liquide (compte non tenu de la petite quantité d'eau qui passe instantanément à l'état vapeur) et il n'y a ainsi pas d'augmentation notable d'entropie due à la vaporisation, et la perte d'énergie interne par l'eau injectée est transformée presque complètement en travail utile. En outre, il n'est pas nécessaire que le cylindre soit purgé à la fin du cycle, selon l'invention, si bien que la chaleur de la vapeur d'eau n'est pas perdue. La présence de gouttelettes résiduelles de liquide sur les parois de la soupape de travail

assure la retenue de la vapeur d'eau résiduelle nécessaire à un nouveau cycle. Il faut en outre noter sur les figures que la ligne ae représente l'ouverture de la soupape d'échappement avant la fin du cycle.

Les figures 8, 9 et 10 représentent un exemple utilisable en pratique de moteur selon l'invention, mettant en oeuvre le même principe que le mode de réalisation schématique de la figure 1, mais n'ayant pas de chambre de pulvérisation, un ventilateur rotatif transmettant un mélange d'air et de vapeur saturée sèche au brûleur.

Le moteur a quatre cylindres disposés en V à 90°. De l'eau est pompée dans le piège fermé 100 de stockage (correspondant au piège T de la figure 1) par une pompe à haute pression 101, suivant une canalisation 102, jusqu'à un échangeur de chaleur 103 à contre-courant à deux étages, ayant la construction représentée sur la figure 4. Une soupape 104 de décharge de pression est montée entre la canalisation 103 et le piège 100. L'air et la vapeur d'eau chaude évacués du piège 100 parviennent à l'échangeur 103 par un conduit 105, sous la commande du ventilateur rotatif 106. Le courant d'air est réglé par une soupape 107. Un combustible (par exemple du gaz propane) est introduit d'un réservoir 127 au préchauffeur 126 et dans le courant d'air transmis par la soupape 108 de combustible. Les gaz brûlés quittent l'échangeur par un conduit 109.

Chaque piston 110 se déplace dans un cylindre correspondant 111 et est relié à une tête 112 par une tige 113. La tête est reliée au vilebrequin 114 par une autre bielle 115. Chaque cylindre a une tête 116 ayant un injecteur 117 commandé par un arbre à came 118 par l'intermédiaire d'un culbuteur 119. Chaque cylindre a aussi un orifice d'échappement 120 débouchant dans un collecteur commun 121 d'échappement qui renvoie la vapeur humide au piège 100. Un volant 124 est monté sur le vilebrequin. Un orifice 129 de respiration est aussi prévu.

Le moteur a par exemple un rapport de compression de 1 : 1, un piston de 102 mm de diamètre et une course de

102 mm, et chaque cylindre donne une puissance d'environ 11 kW pour une température d'injection d'eau de l'ordre de 300°C et une pression de 86 bars. L'inclinaison des cylindres facilite l'évacuation de l'eau liquide par gravité. A 300°C par exemple, 5 g d'eau sont injectés à chaque fois. La totalité du moteur est logée dans une enceinte isolée thermiquement.

L'eau liquide chaude quitte l'échangeur de chaleur par la tuyauterie 122 et parvient à l'injecteur 117. Une soupape 123 de réglage de pression est montée entre la tuyauterie 122 et le réservoir.

La figure 10 représente le circuit de circulation d'eau plus en détail. Un clapet de retenue 124 est placé en aval de la pompe 101 et empêche le retour de vapeur d'eau dans la pompe. Une soupape 126 de réglage de pression est montée en parallèle avec la soupape 104 de décharge et peut être utilisée pour le réglage de la puissance du moteur.

Le moteur à combustion externe représenté peut avoir un rendement thermique très élevé. En théorie, de l'air froid A et de l'eau froide W (le cas échéant) sont aspirés dans le moteur, et des gaz brûlés froids sont évacués. Ainsi, presque toute la chaleur fournie par le brûleur peut être transformée en travail. En pratique, on peut escompter des rendements thermiques de l'ordre de 50 à 80 %.

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

REVENDICATIONS

1. Moteur alternatif à combustion externe, dans lequel de l'énergie est transmise à un espace de travail du moteur par un fluide de transfert de chaleur, le moteur étant du type qui comprend

un cylindre contenant un piston et délimitant un espace de travail, le piston pouvant se déplacer alternativement dans le cylindre afin qu'il fasse varier cycliquement le volume de l'espace de travail entre une valeur minimale et une valeur maximale, et

un échangeur de chaleur destiné à chauffer le fluide de transfert de chaleur à l'extérieur du cylindre,

le cylindre ayant une sortie commandée de manière qu'il transmette le fluide de transfert de chaleur à l'espace de travail lorsque ce dernier a un volume proche de son volume maximal,

ledit moteur étant caractérisé en ce que l'échangeur de chaleur (H) est destiné à chauffer le fluide de transfert de chaleur sous pression afin que ce fluide soit maintenu à l'état liquide, et

le moteur comporte en outre un injecteur (51) commandé afin qu'il injecte le liquide chauffé dans l'espace de travail (P) lorsque le volume de celui-ci est proche de sa valeur minimale, si bien qu'une partie du liquide se vaporise spontanément dans l'espace de travail et le reste conserve son état liquide.

2. Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'échangeur de chaleur (H) comporte un ou plusieurs tubes destinés à contenir le fluide de transfert de chaleur et un brûleur (B) consommant un combustible et destiné à chauffer le fluide qui se trouve dans le tube ou dans les tubes, le fluide restant cependant en phase liquide.

3. Moteur selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'échangeur de chaleur comporte un tube comprenant un serpentin interne (62) et un serpentin externe (62) coaxiaux l'un à l'autre, le brûleur (B) étant placé dans le

serpentin interne afin que les gaz brûlés chauds du brûleur passent dans le serpentin interne puis entre les deux serpentins.

4. Moteur selon l'une des revendications 2 et 3, caractérisé en ce que de l'air est transmis au brûleur par un compresseur rotatif.

5. Moteur selon l'une des revendications 2 et 3, caractérisé en ce que le cylindre est utilisé à double effet et délimite d'un côté du piston (6) l'espace de travail (P) et, de l'autre côté du piston, un espace de compresseur (C) qui a une entrée et une sortie d'air, cette dernière étant destinée à transmettre l'air au brûleur.

6. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le piston, le cylindre ou ces deux éléments sont formés au moins en partie d'une matière d'isolation thermique choisie parmi les matières plastiques, les résines armées de fibres, le bois et les céramiques.

7. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite sortie comprend une lumière (120) formée dans la paroi du cylindre et découverte par le piston lorsque celui-ci s'approche de sa position correspondant au volume maximal, l'injecteur étant placé à l'extrémité du cylindre opposée à la sortie.

8. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le rapport de compression est compris entre 1,5/1 et 20/1.

9. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif de recyclage est destiné à collecter le fluide de transfert de chaleur qui est évacué et à le recycler vers l'échangeur de chaleur.

10. Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que le dispositif de recyclage est un circuit fermé qui fonctionne à une pression sensiblement égale à la pression atmosphérique.

11. Moteur selon l'une des revendications 9 et 10,

caractérisé en ce que le dispositif de recyclage comporte un piège (T) ayant une entrée du fluide de transfert de chaleur, reliée à la sortie du cylindre, une entrée d'air, une sortie destinée à transmettre de l'air et de la vapeur du fluide de transfert de chaleur à un brûleur de l'échangeur de chaleur, et une sortie de liquide, reliée à l'échangeur.

12. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'injecteur est une soupape commandée par une came.

13. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un dispositif de réglage de vitesse destiné à régler la puissance du moteur par réglage du volume de liquide injecté dans l'espace de travail.

14. Moteur selon la revendication 13, caractérisé en ce que la commande de vitesse est une pompe volumétrique variable.

15. Moteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que le moteur comporte en outre une commande de vitesse destinée à régler la puissance du moteur par réglage de la température du liquide injecté dans l'espace de travail.

16. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le cylindre, le piston ou ces deux éléments sont réalisés de manière qu'il reste une certaine quantité de liquide dans l'espace de travail, après l'évacuation du fluide de transfert de chaleur.

17. Moteur selon la revendication 16, caractérisé en ce que le cylindre, le piston ou ces deux éléments ont une cavité destinée à retenir du liquide.

18. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le rapport de l'alésage à la course est compris entre 1/1 et 1/3.

19. Procédé de commande d'un moteur alternatif à combustion externe, du type qui comporte un cylindre et un piston délimitant un espace de travail dont le volume

varie cycliquement entre une valeur minimale et une valeur maximale, de l'énergie étant transmise à cet espace de travail par un fluide de transfert de chaleur, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend

1) la formation, à l'extérieur du cylindre, d'un fluide chauffé de transfert de chaleur, sous une pression telle qu'il reste à l'état liquide,

2) l'injection de ce liquide chauffé dans la vapeur du fluide présente dans l'espace de travail, une partie du liquide se vaporisant spontanément et le reste étant conservé sous forme liquide, l'énergie interne de l'espace de travail étant ainsi accrue, et

3) l'évacuation du fluide de transfert de chaleur de l'espace de travail, celui-ci continuant cependant à contenir de la vapeur résiduelle du fluide de transfert de chaleur.

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que le fluide de transfert de chaleur est choisi dans le groupe qui comprend l'eau, l'huile, le sodium, le mercure et des mélanges contenant au moins l'une de ces matières.

21. Procédé selon l'une des revendications 19 et 20, caractérisé en ce que, avant l'injection, l'espace de travail contient un fluide de transfert de chaleur à la fois à l'état liquide et à l'état vapeur.

22. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 21, caractérisé en ce qu'une partie au moins du fluide de transfert de chaleur évacué de l'espace de travail est à l'état liquide.

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 22, caractérisé en ce que le fluide chauffé qui est à l'état liquide a une température et une pression supérieures ou inférieures aux valeurs correspondant au point critique, la température étant cependant supérieure à la température d'ébullition à la pression atmosphérique.

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications

19 à 23, caractérisé en ce que le fluide, lorsqu'il a été évacué, est à une pression pratiquement égale à la pression atmosphérique.

25. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 24, caractérisé en ce que la majorité du liquide injecté reste à l'état liquide après l'injection dans l'espace de travail.

26. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 25, caractérisé en ce que le fluide de transfert de chaleur est l'eau, et l'eau évacuée est recyclée vers le moteur, de la chaleur étant fournie au fluide par un brûleur d'un combustible dans l'air, les pertes d'eau recyclée étant compensées par la condensation de l'eau des gaz brûlés.

27. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 26, caractérisé en ce que l'énergie calorifique est transformée en travail utile, avec un rendement supérieur au rendement théorique du cycle de Rankine, entre les mêmes températures supérieure et inférieure.

28. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 27, caractérisé en ce que la température du liquide injecté est supérieure à celle de l'espace de travail au moment de l'injection.

29. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 28, caractérisé en ce que la vapeur présente dans l'espace de travail est comprimée par le piston avant l'injection.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 29, caractérisé en ce que l'injection est déclenchée pour une position du piston qui correspond à un angle de 0 à 90° après la position pour laquelle l'espace de travail à son volume minimal.

31. Ensemble d'éléments destiné à transformer un moteur à combustion interne en un moteur alternatif à combustion externe selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en combinaison

un échangeur de chaleur et un brûleur à combus-

tible consommant de l'air, destiné à chauffer un liquide sous pression,

un compresseur destiné à transmettre de l'air de combustion au brûleur,

un cylindre et un piston, isolés thermiquement, le cylindre ayant une sortie de liquide et de vapeur,

une pompe destinée à transmettre du liquide sous pression à l'échangeur de chaleur,

un injecteur de liquide sous pression dans le cylindre,

un dispositif de dosage permettant le dosage du volume de liquide injecté, et

un piège de séparation ayant une première entrée destinée à recevoir de la vapeur humide du cylindre et une seconde entrée destinée à recevoir de l'air de combustion du compresseur, et une première sortie destinée à transmettre de l'air chauffé de combustion au brûleur et une seconde sortie destinée à transmettre du liquide vers la pompe.

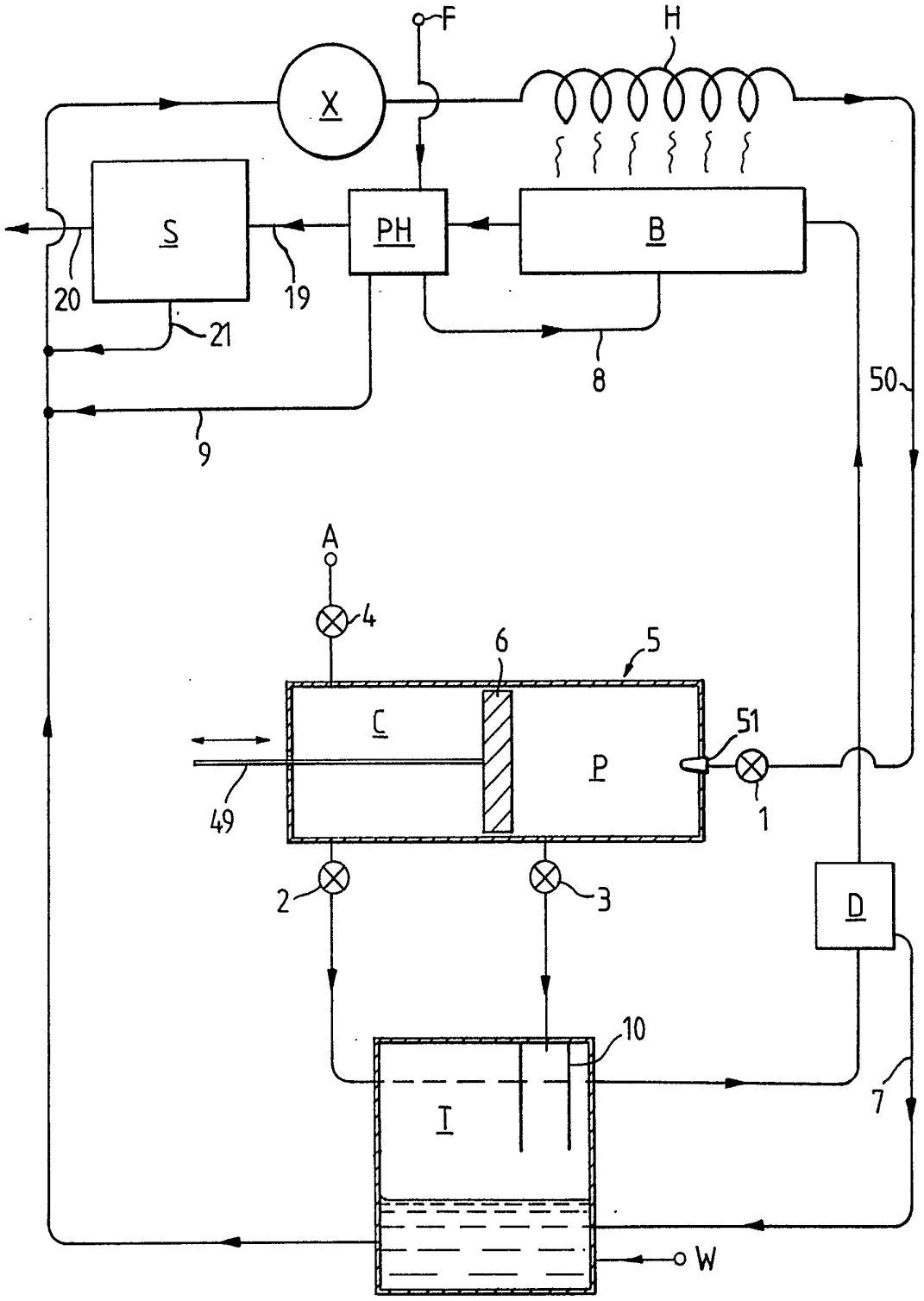


Fig.1.

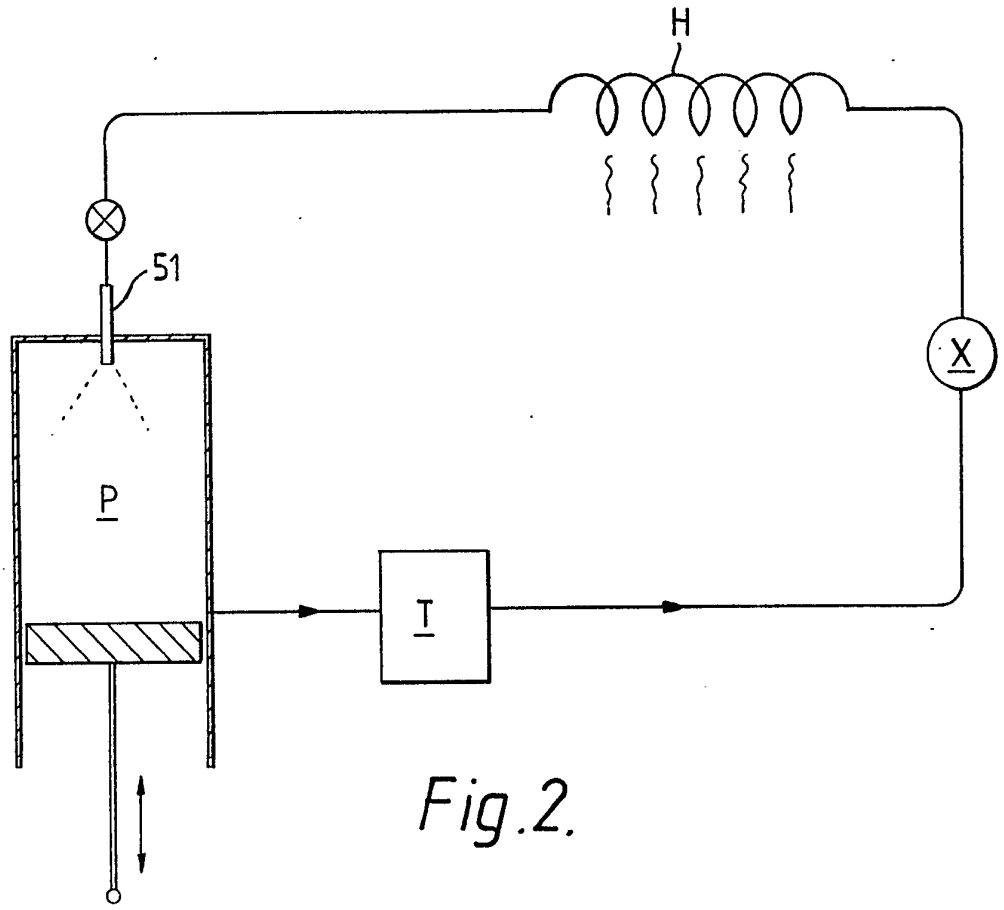


Fig.2.

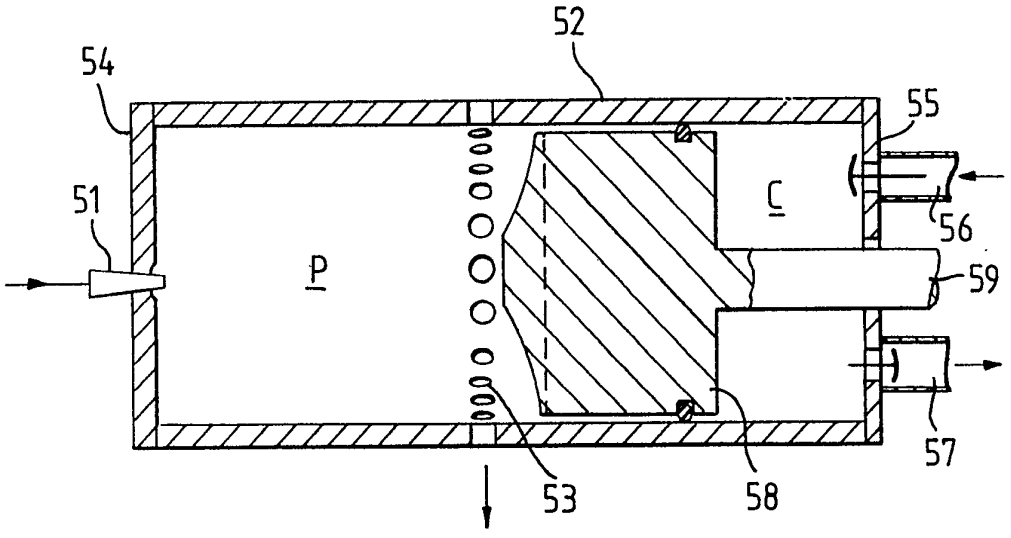


Fig.3.

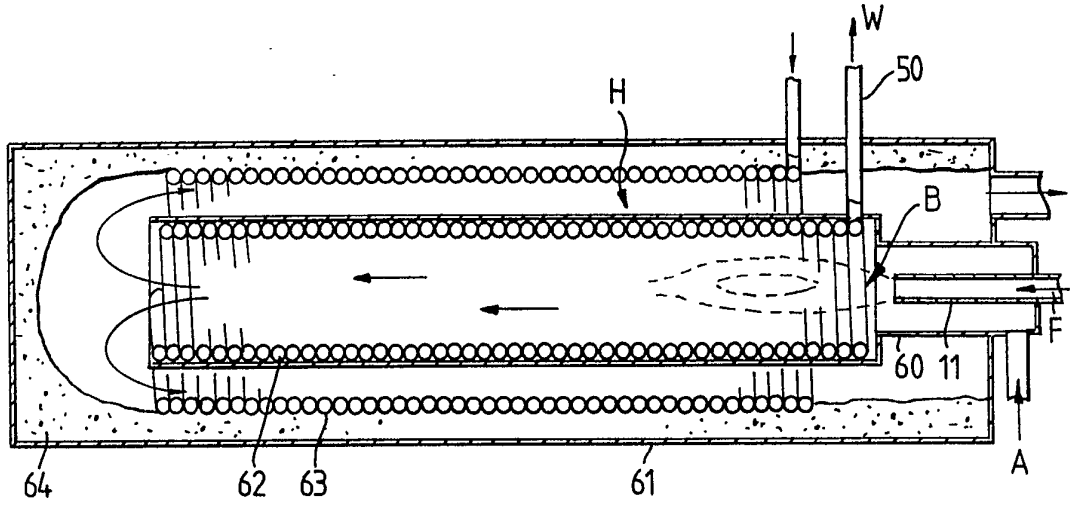


Fig .4.

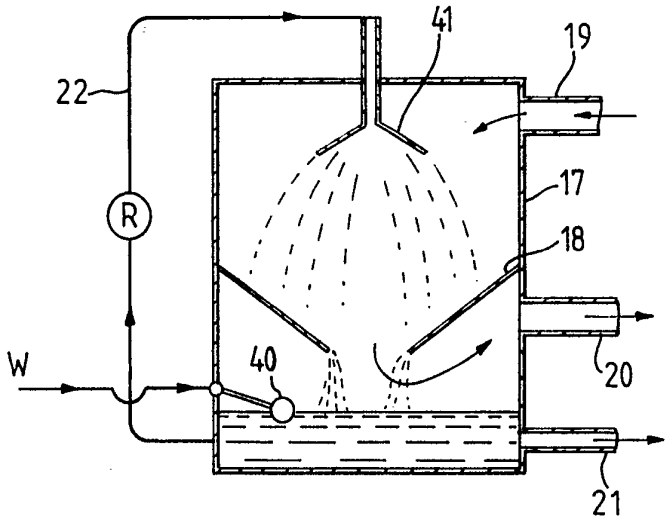
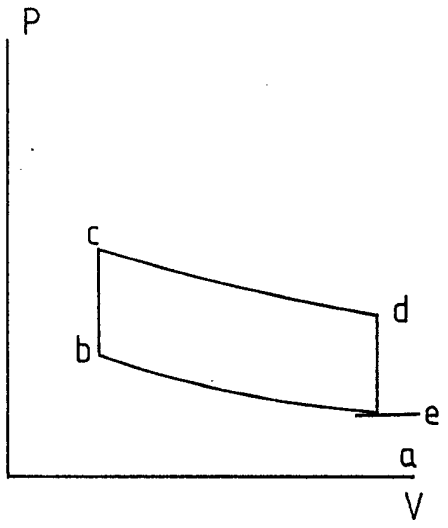


Fig.5.



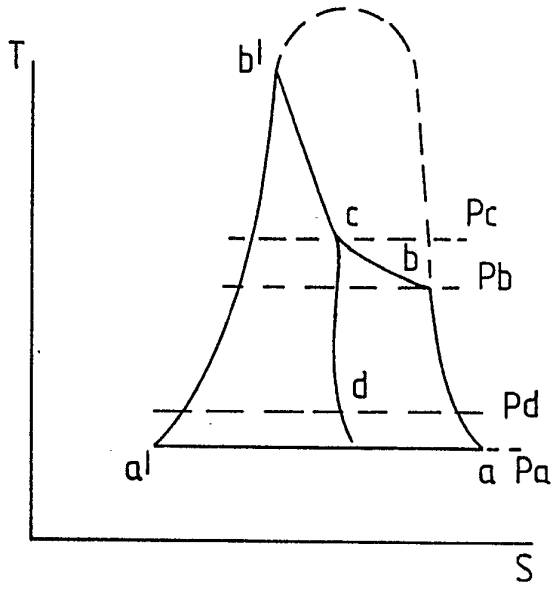
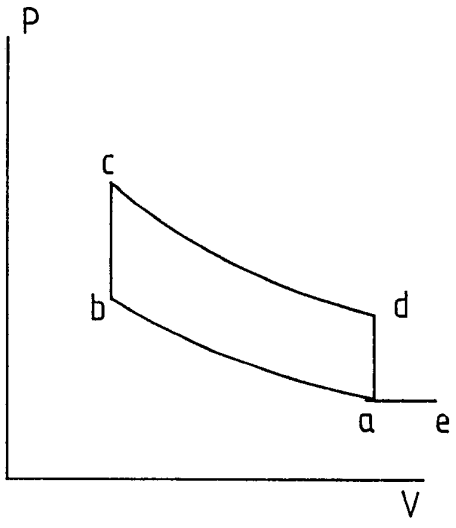


Fig.6A Fig 6B



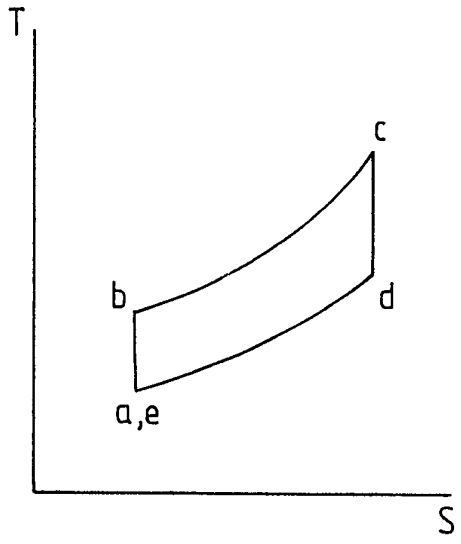
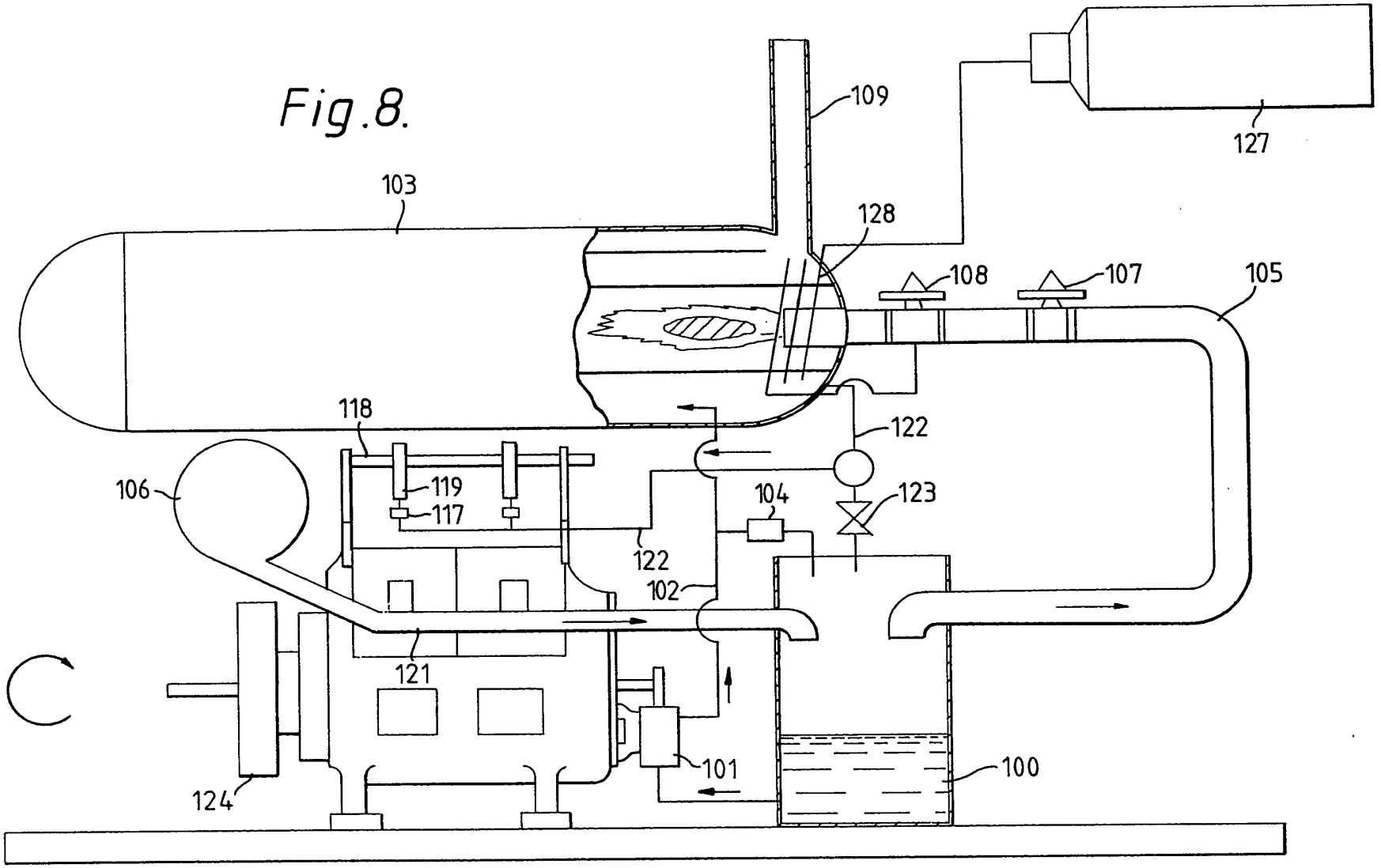


Fig.7. Fig 7B

Fig.8.


109
127
103
128
108
107
105
118
122
106
119
117
104
123
122
102
121
101
100
124

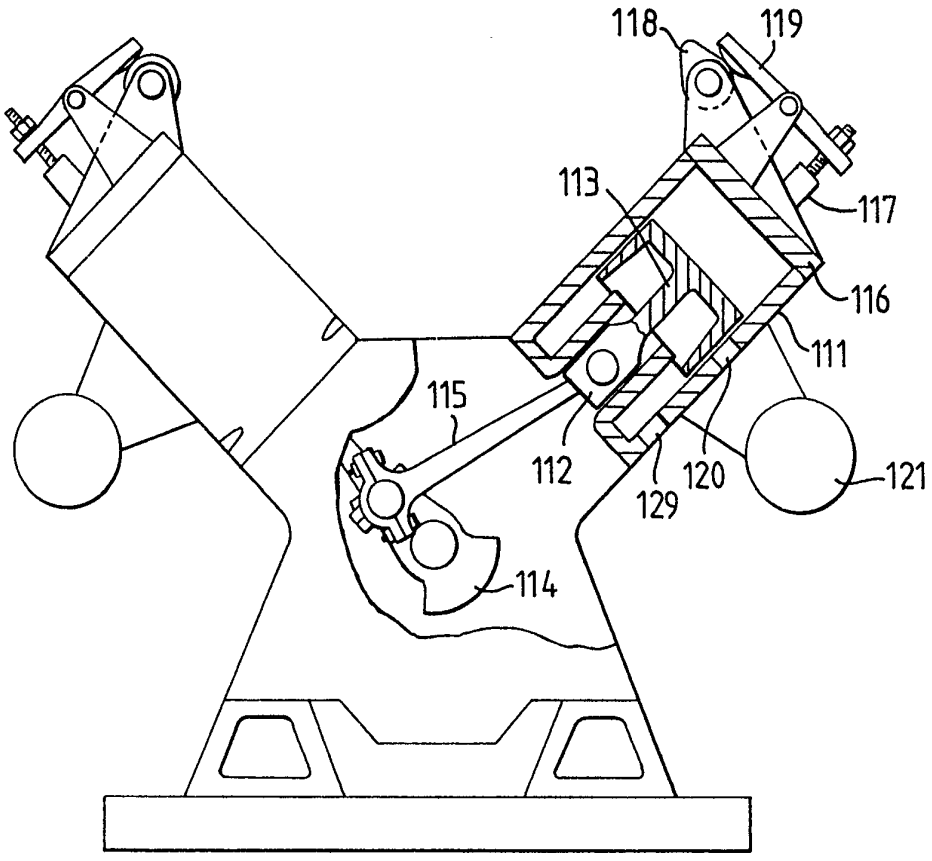


Fig.9

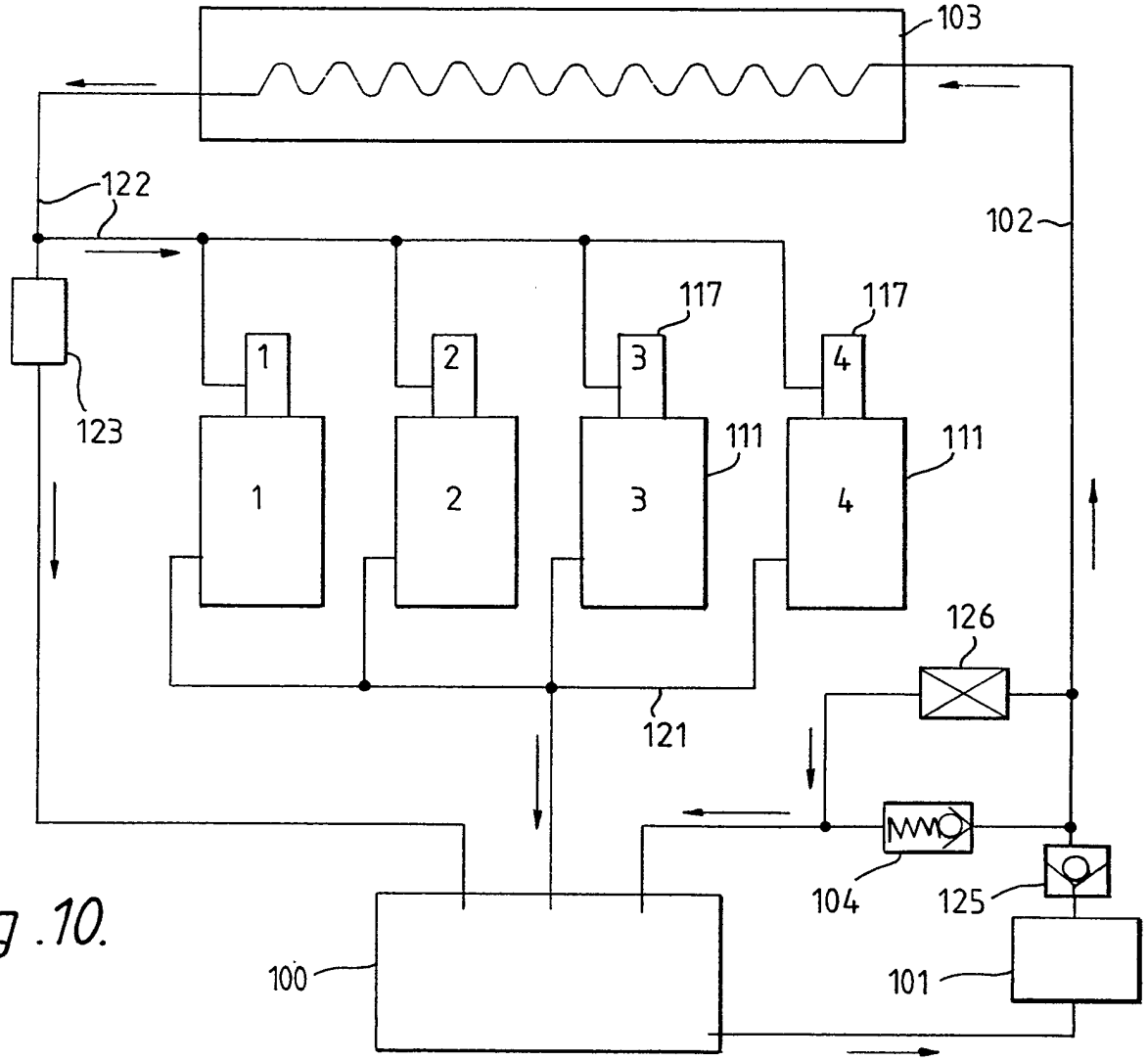

103
122
102
117
117
1
2
3
4
123
111
111
1
2
3
4
126
121
104
125
100
101

Fig .10.