

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication:

0 419 643 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN(49) Date de publication de fascicule du brevet: **30.11.94** (51) Int. Cl.⁵: **C10G 9/16**(21) Numéro de dépôt: **90907094.8**(22) Date de dépôt: **13.04.90**(86) Numéro de dépôt internationale :
PCT/FR90/00272(87) Numéro de publication internationale :
WO 90/12851 (01.11.90 90/25)(54) **PROCEDE ET APPAREILLAGE POUR LE DECOKAGE D'UNE INSTALLATION DE VAPOCRAOUAGE.**(30) Priorité: **14.04.89 FR 8904986**
12.07.89 FR 8909373
12.07.89 FR 8909375
06.10.89 FR 8913070
27.10.89 FR 8914118(43) Date de publication de la demande:
03.04.91 Bulletin 91/14(49) Mention de la délivrance du brevet:
30.11.94 Bulletin 94/48(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE DK ES FR GB IT LI LU NL SE(56) Documents cités:
DE-A- 2 019 475
NL-A- 7 016 475
US-A- 1 939 112
US-A- 4 046 670
US-A- 4 297 147(73) Titulaire: **PROCEDES PETROLIERS ET PETRO-CHIMIOUES**
22, allée Claude Monet
F-78160 Marly-le-Roy (FR)Titulaire: **LENGLET, Eric**
22, allée Claude-Monet
F-78160 Marly-le-Roi (FR)(72) Inventeur: **LENGLET, Eric**
22, allée Claude-Monet
F-78160 Marly-le-Roi (FR)(74) Mandataire: **Andreeff, François et al**
INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE
4, avenue de Bois-Préau
F-92502 Rueil-Malmaison (FR)

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 419 643 B1

Description

L'invention concerne un procédé de décokage d'une installation de vapocraquage d'hydrocarbures, ainsi que les installations de vapocraquage comprenant les moyens de mise en oeuvre de ce procédé.

On utilise couramment, pour éliminer le coke déposé sur les parois internes d'une installation de vapocraquage d'hydrocarbures (comprenant en général un four de vapocraquage, suivi d'une chaudière de trempe indirecte des effluents gazeux) un procédé de décokage chimique oxydant par un mélange air-vapeur. Il faut pour cela arrêter le fonctionnement de l'installation de vapocraquage et l'isoler des équipements situés en aval.

On a également utilisé, comme agent oxydant, de la vapeur d'eau surchauffée à haute température, avec éventuellement une addition d'hydrogène. Il n'est plus alors nécessaire d'isoler l'installation de vapocraquage, mais il faut cependant arrêter son fonctionnement. De plus, la vitesse de décokage est plus lente que dans le procédé précédent.

Ces deux procédés connus ne permettent pas de réaliser avec une efficacité totale le décokage de la chaudière de trempe indirecte, qui est située en sortie du four de vapocraquage. Il faut parfois, pour cela, arrêter complètement l'installation, le décokage de la chaudière de trempe étant alors réalisé par des moyens hydrauliques (jets d'eau sous très haute pression) permettant de fracturer la couche de coke. On utilise également un procédé de sablage hydraulique, par injection de particules de sable relativement grossières avec l'eau sous pression, pour aider à fracturer la couche de coke, ou bien des moyens mécaniques.

On a également proposé un procédé de décokage d'une installation de vapocraquage à four du type monopasse qui comprend des tubes rectilignes de faible diamètre, chacun prolongé par un échangeur de trempe individuel. Le procédé consiste à réaliser un décokage chimique à la vapeur d'eau des parois internes des tubes du four, ce qui fait qu'une partie du coke se détache de ces parois internes sous forme de plaques ou d'écailles qui vont ensuite fracturer le coke déposé en aval sur les parois des échangeurs de trempe. On réalise ainsi simultanément le décokage du four et des moyens de trempe indirects. Cependant, il est encore nécessaire d'arrêter le fonctionnement de l'installation de vapocraquage.

Enfin, divers procédés ont été proposés, qui consistent pour l'essentiel à injecter des particules solides dans l'installation. Un premier procédé consiste à faire circuler un courant de gaz neutre véhiculant des particules métalliques de dimensions relativement importantes (250 -2500 μm) dans un four relié à l'atmosphère. Un autre procé-

dé propose de réaliser un sablage continu de l'installation de vapocraquage, par injection de sable dans la charge liquide d'hydrocarbures. Les particules de sable (du sable standard avec un diamètre moyen de 200-1000 μm) traversent le four et la chaudière de trempe indirecte et sont finalement piégées par de l'huile lourde de trempe directe. Les inconvénients de ce dernier procédé sont tels qu'il n'a pu être utilisé : il est à peu près impossible de séparer les particules de sable de l'huile lourde de trempe directe, qui comprend des goudrons lourds difficilement vaporisables, sans entraîner ces composés, sauf en installant un système de fractionnement et de lavage des particules très complexe et onéreux, de sorte que les particules de sable ne sont pas recyclables en pratique et que l'huile de trempe devient inutilisable, même comme combustible; le sablage continu de l'installation se traduit également par une érosion sévère, voire catastrophique, des tubes dans lesquels circulent la charge et les effluents de vapocraquage; enfin l'injection des particules de sable dans la charge liquide présente des risques importants de dépôts solides dans la zone de fin de vaporisation de la charge d'hydrocarbures.

L'invention a pour objet un procédé de décokage d'une installation de vapocraquage d'hydrocarbures, qui ne présente pas les inconvénients des procédés connus.

Elle a également pour objet un procédé de ce type, permettant de réaliser le décokage du four et éventuellement de la chaudière de trempe indirecte de l'installation, sans qu'il soit nécessaire d'arrêter le fonctionnement de l'installation, sans risquer de détériorer l'installation elle-même et sans pollution par les particules solides des parties de l'installation qui sont situées en aval.

L'invention propose à cet effet un procédé de décokage d'une installation de vapocraquage d'hydrocarbures, consistant à éliminer par érosion une partie au moins du coke déposé sur les parois internes de l'installation, en particulier dans le four de vapocraquage et la chaudière de trempe indirecte, au moyen de particules solides véhiculées par un courant de gaz vecteur à vitesse élevée, caractérisé en ce que le décokage est réalisé pendant le fonctionnement de l'installation, le gaz vecteur étant constitué au moins en partie par la charge d'hydrocarbures et de vapeur d'eau qui contient des particules solides ayant un diamètre moyen inférieur à 150 μm environ, avec un taux solide/gaz très faible, de telle sorte que le mélange gaz-particules solides se comporte comme un gaz doté d'une capacité d'érosion légère.

Le procédé selon l'invention permet donc, non pas de fracturer par des chocs violents de particules solides massives, la couche de coke déposée sur les parois internes de l'installation, mais de

l'éroder doucement et régulièrement sans risque pour les parois de l'installation.

Ce procédé permet de réaliser simultanément le décokage du four de vapocraquage et celui de la chaudière de trempe indirecte : on peut par exemple augmenter la quantité de particules solides véhiculées par le courant de gaz à l'entrée de la chaudière de trempe indirecte, pour compenser la diminution de la vitesse d'écoulement de ce courant de gaz dans cette chaudière. On peut également réaliser un décokage de la zone de convection, en particulier au niveau du point sec, en injectant séquentiellement des particules précitées, alimentées avec la vapeur de dilution.

Dans le cadre de l'invention, on entend, par décokage, l'élimination efficace d'au moins une partie du coke qui se dépose sur les parois (réduction ou suppression d'une couche de coke déjà formée, annulation ou réduction de la vitesse de formation d'une couche de coke).

Selon une autre caractéristique de l'invention, on refroidit, à la sortie du four de vapocraquage, le mélange gaz-particules solides à une température intermédiaire inférieure à 600 °C environ, déterminée pour éviter toute condensation de liquide, on sépare ensuite au moins la plus grande partie des particules solides du gaz vecteur dans au moins un cyclone, on augmente le niveau de pression d'au moins une partie des particules solides séparées du gaz vecteur dans le cyclone, et on les recycle dans l'installation de vapocraquage.

Dans de bonnes conditions, l'efficacité d'un cyclone, ou de deux cyclones montés en série, atteint ou dépasse 95 ou même 99%, ce qui signifie que les effluents gazeux sortant du cyclone sont sensiblement dépourvus de particules solides. En outre, comme celles-ci ont une taille très réduite, leur action sur les parties de l'installation situées en aval du cyclone est sensiblement nulle.

Par ailleurs, le cyclone de séparation des particules solides peut être réalisé en acier peu allié, donc peu coûteux, puisqu'il n'est pas soumis à des températures très élevées. La trempe directe par injection de liquide à laquelle est soumis le gaz vecteur à la sortie du cyclone permet de piéger les particules solides résiduelles. Les gaz craqués sont ainsi complètement épurés avant la zone de compression.

Enfin, le refroidissement limité des effluents de vapocraquage à la sortie du four provoque une diminution importante de la vitesse des réactions chimiques et évite tout surcraquage des effluents dans le cyclone.

Les particules solides utilisées ont de préférence un diamètre moyen compris entre 5 et 100 μm , environ et le taux solide/gaz est inférieur à 10% en poids, en étant de préférence compris entre 0,01% et 10%, et généralement entre 0,1 et 8% en poids.

Les quantités de particules sont suffisamment faibles pour que les particules ne se rencontrent pratiquement jamais (pas de chocs); le mélange n'est donc pas assimilable à un lit fluidisé ou entraîné, mais à un gaz. Les particules, très fines, se répartissent essentiellement dans tout le volume du gaz, du fait des forces de turbulence, prépondérantes. On obtient donc un gazensemencé de fines particules, distribuées dans tout le volume, capables d'une action d'érosion légère grâce à de multiples impacts de faible énergie, agissant par rodage et non par fracturation massive du coke (écaillage).

Les vitesses des particules dans le four sont comprises entre 70 et 480 m/s (en général entre 130 et 480 m/s, plus particulièrement entre 130 et 300 m/s). Dans la chaudière de trempe, elles sont de 40 à 150 m/s.

Les quantités de particules les plus appropriées dépendent de la nature des particules, du taux de dépôt de coke (lié à la nature de la charge), et des conditions locales de vitesse et de turbulence.

De façon préférentielle, la dimension moyenne des particules solides est comprise entre 4 ou 5 et 85 μm , et le taux solide/gaz est compris entre 0,1 et 8% en poids, par exemple entre 0,1 et 3% poids.

Les particules solides amenées dans l'installation peuvent être injectées en plusieurs points de celle-ci, par exemple dans une ou plusieurs parties du four de vapocraquage et à l'entrée de la chaudière de trempe indirecte.

On peut ainsi adapter le décokage à la configuration du four de vapocraquage et optimiser le décokage de la chaudière de trempe indirecte.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les particules solides séparées du gaz vecteur dans le cyclone sont mélangées avec de l'eau ou avec un liquide hydrocarboné sensiblement dépourvu de composés aromatiques lourds de pyrolyse, tel par exemple qu'une fraction de la charge d'hydrocarbures à craquer, et on recycle par pompage le mélange particules solides-liquide dans l'installation.

Le débit et la température du mélange particules-liquide peuvent être déterminés pour obtenir une vaporisation quasi instantanée du liquide à l'injection du mélange dans l'installation de vapocraquage.

Avantageusement, pour mettre en contact le liquide précité et les particules solides sortant du cyclone, on réalise un écoulement continu de liquide à partir d'une ligne source, pour former une paroi mouillée située autour et en-dessous de la zone d'arrivée des particules solides.

On évite ainsi que les particules solides puissent s'accumuler sur la paroi précitée, et on évite également que le liquide forme des gouttelettes qui

seraient susceptibles d'obstruer le conduit d'amené des particules solides, par collage des particules solides sur une paroi humide non balayée par un écoulement continu. Pour augmenter l'effet de lavage de la paroi et d'entraînement des particules, l'écoulement liquide peut être alimenté en vortex (mouvement de rotation).

En variante, on collecte dans un ballon les particules sortant du cyclone, on isole ce ballon, on le met sous pression au moyen d'un courant de vapeur d'eau surchauffée, et on recycle au moins une partie des particules dans l'installation au moyen de ce courant de vapeur d'eau.

Les particules solides utilisées dans le procédé selon l'invention peuvent être avantageusement des particules sensiblement sphériques minérales ou métalliques formées par atomisation au gaz, telles que des particules poreuses à base de silice ou d'alumine, et peuvent être constituées par exemple par des particules de catalyseurs de craquage catalytique (zéolithes), déjà usés (ayant un diamètre moyen de 60 - 80 μm)

Ces particules solides peuvent également être constituées d'un mélange de deux types de particules, les unes étant des particules métalliques catalyseurs de coke, qui sont relativement molles dans les conditions du vapocraquage, les autres étant plus dures et plus érosives. D'autres particules (particules de coke, de charbon broyé, de ciment, de minerais, de fonte, d'acier, de carbures, de stellites, particules anguleuses ...) peuvent également être utilisées dans les conditions du gaz érosif selon l'invention.

Les particules de métal catalyseur de coke, relativement molles, sont susceptibles de laisser des traces sur une partie métallique mise à nu d'une paroi interne de l'installation, pour former par leur action catalytique sur cette partie une couche protectrice de coke qui recouvrira cette partie et la protégera d'une érosion trop intense.

Selon un autre mode de réalisation qui est l'objet de la demande européenne 90907103.7 (EP-A-419643) de la Demanderesse, le procédé peut consister également à laisser se former une couche de coke sur les parois internes du four de vapocraquage, et à maintenir ensuite l'épaisseur de cette couche de coke aux environs d'une valeur moyenne prédéterminée, par érosion par les particules solides précitées. Cette couche de coke est en fait une couche d'épaisseur évolutive le long du tube de craquage, et l'on maintient, après sa formation, son épaisseur à une valeur moyenne (correspondant à un état de cokage du tube prédéterminé). En variante équivalente, on peut, pour limiter les taux de particules injectées, se contenter de limiter de manière très importante la croissance ultérieure du coke (par exemple diviser la vitesse de croissance du coke par un facteur 5 ou 10),

sans l'annuler.

Cette couche de coke d'épaisseur relativement faible (comprise entre 0,5 et 4 mm environ, de préférence entre 1 et 3 mm) protège de l'érosion les parois internes de l'installation, d'autant plus que cette couche devient rapidement très dure et très difficile à fracturer ou à éroder du fait de la calcination progressive du coke qui se produit lors du séjour à haute température (environ 1 000 °C en paroi). Lorsqu'elle est formée et durcie, on maintient son épaisseur à une valeur sensiblement constante, par érosion continue ou sensiblement continue du coke, au fur et à mesure qu'il se dépose sur cette couche protectrice. En outre, les conditions de réglage de l'érosion par des particules solides sont moins critiques, et l'on peut admettre une plus grande tolérance sur les tailles des particules solides, leur nature, et leur distribution dans le gaz vecteur.

Ainsi, le procédé ne réalise pas nécessairement au sens strict, un décokage, mais une élimination du coke nouvellement formé, plus fragile, au fur et à mesure de sa formation, pour obtenir un état de cokage sensiblement stationnaire, ou une vitesse de cokage très faible.

L'utilisation, caractéristique selon l'invention, de très fines particules érosives, dont le nombre, pour une quantité massique donnée, est beaucoup plus élevé, conduit alors à multiplier le nombre des impacts sur les parois, pour éliminer la mince pellicule de nouveau coke, avant qu'elle ne durcisse.

L'injection de particules peut être continue, ou discontinue de préférence à intervalles rapprochés.

L'invention propose également une installation de vapocraquage d'hydrocarbures, contenant un four de vapocraquage à tubes de circulation d'une charge d'hydrocarbures, une chaudière de trempe indirecte des effluents gazeux sortant du four, et des moyens de trempe directe par injection de liquide, reliés à la sortie de ladite chaudière, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens d'injection de particules solides dans la charge d'hydrocarbures vaporisée qui circule dans l'installation pendant le fonctionnement de celle-ci, ces particules solides ayant un diamètre moyen inférieur à 150 μm environ et le taux solide/gaz dans l'installation étant très faible, de telle sorte que le mélange gaz-particules se comporte comme un gaz doté d'une capacité d'érosion légère, l'installation comprenant encore des moyens, tels qu'un cyclone, de séparation des particules solides et du gaz, qui sont prévus en sortie de la chaudière de trempe indirecte.

Avantageusement, cette installation comprend également des moyens de recyclage des particules solides séparées du gaz, ainsi que des moyens d'appoint de particules solides. On peut

ainsi compenser la quantité de particules consommées dans les moyens de séparation, qui peuvent avoir une efficacité très élevée, par exemple de l'ordre de 95 à 99%, mais cependant inférieure à 100%. L'installation comprend également des moyens de soutirage de particules usées.

Selon une forme de réalisation avantageuse de l'invention, l'installation comprend un réservoir de stockage des particules solides, dont l'entrée est raccordée à la sortie des solides des moyens de séparation précités, et dont la sortie est raccordée à un conduit d'injection des particules dans l'installation, des moyens d'isolement de ce réservoir, tels que des vannes, et des moyens de liaison de ce réservoir à une source de gaz sous pression permettant d'augmenter la pression interne du réservoir à une valeur au moins égale à celle d'un point d'injection des particules dans l'installation.

Ces moyens de recyclage sont peu sensibles à l'érosion par les particules solides, qui les traversent à faible vitesse, par exemple 20 m/s ou moins, et ont donc une longue durée de vie. Ils sont en outre de conception courante, ont une température opératoire inférieure à environ 600 °C et sont donc peu onéreux.

Les particules solides sont transportées vers les points d'injection soit par écoulement gravitaire soit sous forme d'une suspension solide-gaz en phase diluée, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un courant de gaz vecteur à vitesse très élevée, ce qui réduit également l'érosion des conduites.

De préférence, l'installation comprend un second réservoir monté entre la sortie des moyens de séparation et l'entrée du premier réservoir cité, ainsi que des moyens d'isolement de ce second réservoir, tels que des vannes, et des moyens de retenue des grosses particules, prévus à l'intérieur du second réservoir. Ce second réservoir peut également être installé en parallèle avec le premier réservoir.

Le second réservoir permet de recueillir les particules solides récupérées en sortie des moyens de séparation, pendant la vidange du premier réservoir cité.

On peut ainsi stocker temporairement les particules solides en sortie des moyens de séparation, et on peut également filtrer les particules solides pour retenir les particules grossières, par exemple des plaques de coke détachées des parois.

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, la source de gaz sous pression est reliée au conduit d'injection des particules dans l'installation. C'est alors le courant de gaz vecteur utilisé pour l'injection des particules dans l'installation qui sert également à l'augmentation de pression dans le réservoir. On évite ainsi, du fait de l'équilibrage de la pression du réservoir par le gaz vecteur, une surpression susceptible de compacter les parti-

cules solides. Le gaz vecteur est par exemple une fraction de la charge ou de la vapeur d'eau surchauffée.

En variante, les moyens de recyclage des particules solides comprennent des moyens d'injection d'un débit de gaz dépourvu d'aromatiques lourds dans la partie inférieure des moyens de séparation, pour former avec les particules solides récupérées une suspension gaz-solide en sortie de ces moyens, et un éjecto-compresseur relié à la sortie des moyens précités de séparation et alimenté par un débit de gaz auxiliaire à pression élevée, pour recomprimer la suspension gaz-solide vers son point d'injection dans l'installation.

On a en effet constaté que l'on pouvait réaliser des injections de fines particules à l'entrée d'un éjecteur et réaliser cependant une recompression de la suspension gaz-solide ainsi formée. Il est possible de recomprimer des suspensions très chargées (200 ou 300% en poids de solide très finement divisé) avec des taux de compression de l'ordre de 1,5 à 1,8 ; l'éjecteur réalise non seulement un déplacement ou une projection des particules, mais également une remontée en pression très importante de ces particules, permettant leur recyclage en compensant les pertes de charge dans l'installation à décocker.

Cet éjecteur sera de préférence construit en matériau résistant à l'érosion (fonte ou matériau céramique).

Lorsque le four de vapocraquage comprend un collecteur d'alimentation des tubes dans lesquels circule la charge d'hydrocarbures à craquer, l'invention prévoit des moyens d'injection des particules solides dans la charge d'hydrocarbures vaporisée en amont ou à l'entrée du collecteur, des moyens réalisant un écoulement turbulent dans le collecteur à une vitesse suffisante pour éviter sensiblement tout dépôt de particules solides dans le collecteur, des embouts d'alimentation montés à l'extrémité des tubes et s'étendant à l'intérieur du collecteur, chaque embout comprenant une section d'entrée qui est orientée vers l'extrémité amont du collecteur et qui a une composante dans un plan perpendiculaire à la direction moyenne de l'écoulement dans le collecteur; avantageusement, on prévoit également des moyens de captation de particules solides à l'extrémité aval du collecteur.

Grâce à la turbulence de l'écoulement dans le collecteur, on obtient une homogénéité correcte du mélange gaz-particules dans tout le collecteur. Les embouts qui sont prévus aux extrémités des tubes dans le collecteur permettent d'alimenter ces tubes de façon régulière et sensiblement constante en particules, quelle que soit la place des tubes dans le collecteur. La section d'entrée dans les embouts qui comporte une composante frontale face à l'écoulement, permet en effet d'éviter les change-

ments de direction trop prononcés à l'entrée dans les tubes, qui seraient la cause de phénomènes de séparation gaz-particules et conduiraient à une irrégularité de distribution des particules. Ces embouts constituent également des générateurs de turbulence très efficaces dans le collecteur. Enfin, les moyens de captation d'un excès de particules qui sont prévus à l'extrémité aval du collecteur permettent d'éviter une sur-alimentation du dernier tube du collecteur, ou une obstruction de celui-ci par un excès de particules.

Ces moyens peuvent être par exemple un filtre, une chambre de décantation, un cyclone, ou des moyens équivalents permettant d'éliminer un excès de particules, et notamment les particules les plus massives. Ces moyens peuvent être avantageusement placés dans la zone de l'extrémité aval du collecteur comprenant par exemple les deux derniers tubes, de façon à capter des particules relativement massives, progressant le long de la génératrice inférieure du collecteur, afin que ces particules n'alimentent pas le dernier tube avec un excès de solides qui conduirait à une capacité érosive très différente de la valeur moyenne.

Avantageusement, l'installation comprend, à l'extrémité aval du collecteur, des moyens de prélèvement d'une fraction du débit gaz-particules solides circulant dans le collecteur, et des moyens de recyclage, en amont ou à l'entrée du collecteur, de la fraction prélevée du débit gaz-particules solides.

Le collecteur se comporte alors comme un collecteur de longueur infinie, ne comprenant pas de "dernier" tube alimenté par la fraction résiduelle du mélange gaz-particules.

Une restriction de section, telle qu'un col ou un venturi ou un tube de plus faible diamètre, est avantageusement aménagée à l'entrée de chaque tube, en aval de l'embout précité. Cette restriction de section permet de régulariser et d'uniformiser les débits de gaz circulant dans les différents tubes.

Elle a également un effet avantageux sur le décokage des parois internes de ces tubes: si un tube s'encrasse plus vite qu'un autre, il y aura diminution de la section de passage (du fait du coke) et augmentation de la vitesse locale, du fait que la restriction de section à l'entrée du tube tend à conserver le débit dans le tube. Cette augmentation de la vitesse locale, due à cette restriction d'entrée, conduit à augmenter l'efficacité d'érosion des particules et donc à corriger la tendance à un encrassement accru du tube.

Enfin, l'installation peut comprendre avantageusement des moyens de mesure de la perte de charge dans les tubes du four de vapocraquage, des moyens de mesure du débit de la charge d'hydrocarbures à craquer ou de la vapeur d'eau de dilution, des moyens de correction de la perte

de charge en fonction de ce débit mesuré, et des moyens de régulation de la perte de charge corrigée par commande du débit de particules solides recyclées dans l'installation.

5 Ces moyens permettent de maintenir, sur les parois internes de l'installation, une couche de coke protectrice d'épaisseur déterminée, et d'éviter toute augmentation sensible de l'épaisseur de cette couche protectrice.

10 L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite à titre d'exemple en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

15 la figure 1 représente les courbes de variation de l'efficacité de séparation d'un cyclone, et de la capacité d'érosion des particules solides en fonction des dimensions de ces particules ;

20 la figure 2 représente schématiquement une installation de vapocraquage selon l'invention ;

la figure 3 représente schématiquement une autre installation de vapocraquage selon l'invention ;

25 la figure 4 représente schématiquement une partie des moyens de recyclage de particules solides ;

la figure 5 représente schématiquement une installation de vapocraquage complète selon une variante de réalisation de l'invention ;

30 la figure 6 représente schématiquement une partie d'une variante de réalisation des moyens de recyclage ;

la figure 7 est une vue partielle schématique d'une installation de vapocraquage comprenant des moyens de répartition de particules solides ; les figures 8, 9 et 10 représentent schématiquement des variantes de réalisation des embouts de tubes ;

35 la figure 11 est une vue schématique d'une partie d'une installation de vapocraquage, selon une autre variante de réalisation de l'invention.

On se reporte tout d'abord à la figure 1, pour mieux comprendre le principe de base de l'invention.

45 En figure 1, la référence I désigne la courbe de variation de l'efficacité de la séparation d'un cyclone en fonction de la dimension des particules solides amenées à ce cyclone. La référence II désigne la courbe de variation de la capacité d'érosion des particules solides en fonction de leur taille.

50 L'efficacité de séparation d'un cyclone tend asymptotiquement vers 100% lorsque la dimension des particules solides devient supérieure à une valeur d_1 pour laquelle l'efficacité de la séparation est de par exemple 99%.

55 La capacité d'érosion des particules solides ayant cette dimension est relativement faible, et le reste pour une plage de dimensions autour de d_1 .

Lorsque les dimensions des particules solides sont notablement inférieures à d1, l'efficacité de séparation du cyclone diminue fortement, tandis que la capacité d'érosion de ces particules devient sensiblement nulle. Inversement, lorsque la dimension des particules est largement supérieure à d1, l'efficacité de séparation du cyclone est presque égale à 100%, et la capacité d'érosion des particules est très grande et semblable à l'action d'un sablage, l'érosion étant violente et irrégulière.

L'invention prévoit de choisir une plage d1, d2 de dimension de particules pour laquelle l'efficacité de séparation du cyclone sera supérieure à une valeur déterminée, par exemple 95 ou 99%, et l'érosion produite par ces particules sera légère et régulière.

Une installation de vapocraquage selon l'invention a été représentée schématiquement en figure 2.

Cette installation comprend un four 10 à tubes 12 monopasse alimentés en hydrocarbures à l'une de leurs extrémités par un col lecteur 14 et comprenant à leur extrémité opposée, à la sortie du four, des chaudières de trempe individuelles 16 reliées à un collecteur de sortie 18.

La charge d'hydrocarbures à vaporiser est amenée à l'état liquide par une conduite 20 dans une zone de convection 22 du four permettant son chauffage et sa vaporisation. Une conduite 24 d'amenée de vapeur d'eau rejoint la conduite 20 dans cette zone 22 du four 10. Un conduit de préchauffage 26 permet d'amener le mélange d'hydrocarbures vaporisés et de vapeur d'eau au collecteur 14 d'alimentation des tubes 12 de vapocraquage.

Le collecteur de sortie 18 est raccordé à un cyclone 28, ou à plusieurs cyclones montés en série et/ou en parallèle, comprenant un conduit supérieur 30 de sortie des effluents gazeux et un conduit inférieur 32 de sortie des particules solides. Le conduit inférieur 32 débouche dans un réservoir 34 dont le fond est rempli d'un liquide 36, qui peut être de l'eau ou de préférence un liquide hydrocarboné léger sensiblement dépourvu de composés aromatiques lourds de pyrolyse. La base du réservoir 34 est reliée par une pompe 38 à des moyens d'injection du mélange particules solides-liquide en divers points de l'installation, notamment à l'entrée de la conduite 26 ou dans le collecteur d'alimentation 14. On peut également prévoir des points d'injection entre la sortie du four 10 et l'entrée des chaudières de trempe indirecte 16.

De manière préférée, les injections sont faites avec atomisation par de la vapeur d'eau, ou auto vaporisation par détente "flash". Dans ce cas la suspension doit être réchauffée avant injection, par des moyens non représentés. On peut aussi lui ajouter un courant d'hydrocarbures légers.

Les conditions d'atomisation et de débit de liquide sont calculées pour permettre une vaporisation complète de la suspension atomisée, dès son injection (vaporisation instantanée, pour éviter les collages de particules).

Une partie du mélange liquide-particules solides est ramenée, comme représenté schématiquement en 40, à la partie supérieure du réservoir 34, de telle sorte que le liquide puisse former un film continu recouvrant toute la paroi interne du réservoir 34 et piégeant les particules solides au fur et à mesure de leur sortie du conduit 32. De préférence, le liquide s'écoule en mouvement continu depuis une "ligne source" sur la paroi du réservoir 34, sans faire de gouttelettes.

Le liquide 40 est animé d'un mouvement de vortex pour augmenter l'effet de lavage et d'entraînement de particules sur la paroi mouillée du réservoir 34. Le liquide alimenté en 40 est avantageusement du liquide décanté, sensiblement débarrassé de particules, soutiré dans le réservoir 34 par une pompe spécifique non représentée.

Le liquide hydrocarboné utilisé dans le réservoir 34 peut être une fraction de la charge d'hydrocarbures à craquer, qui est amenée en partie inférieure du réservoir par une conduite 42. De l'essence de pyrolyse recyclée peut éventuellement être ajoutée à cette fraction de la charge d'hydrocarbures, comme indiqué schématiquement en 44, ou bien peut constituer le liquide 36 lui-même.

Un appoint de particules solides, éventuellement sous forme d'une suspension solides-liquide hydrocarboné ou eau, est prévue, par exemple en 46 sur la conduite 42.

Cette installation fonctionne de la façon suivante :

La charge d'hydrocarbures à craquer est préchauffée, mélangée à la vapeur d'eau et vaporisée dans la partie 22 du four 10, puis elle subit un vapocraquage dans les tubes 12 du four, avec un temps de séjour très bref dans ces tubes. Les effluents gazeux de vapocraquage subissent ensuite une trempe indirecte dans les chaudières 16, passent dans le cyclone 28 où ils sont débarrassés des particules solides, puis gagnent les moyens de trempe directe par injection d'huile de pyrolyse.

La formation de coke sur les parois internes de la conduite 26, du collecteur 14 et surtout des tubes 12 du four et des tubes des chaudières 16, est relativement importante.

Les particules solides véhiculées par la charge d'hydrocarbures vaporisée permettent de réaliser une élimination du coke, par une érosion légère et régulière de la couche de coke, au fur et à mesure que celle-ci se forme sur les parois de l'installation.

Les particules solides sont ensuite séparées, pour leur plus grande partie, des effluents de vapocraquage dans le cyclone 28, puis gagnent le ré-

servoir 34 où elles sont mélangées au liquide 36 pour former une suspension liquide-solide. La pompe 38 permet de recycler ces particules dans l'installation, en recomprimant la suspension solide-liquide jusqu'à un niveau de pression adapté à celui des points d'injection.

Les particules solides qui n'ont pas été séparées du courant gazeux dans le cyclone 28 sont piégées ensuite par le liquide injecté dans le courant gazeux pour réaliser sa trempe directe.

De façon générale, on utilise des particules solides ayant une dimension moyenne inférieure à 150 μm environ, le taux de particules solides dans le courant gazeux étant inférieur à 10% en poids, par rapport au gaz. De préférence, on utilise des particules ayant des dimensions moyennes comprises entre 5 et 85 μm , ou mieux entre 15 et 60 μm , avec un taux solides-gaz compris entre 0,1 et 8%, par exemple entre 0,1% et 3%.

La "dimension moyenne" des particules est par exemple telle que 50% en masse des particules ont un diamètre inférieur à cette dimension.

On peut utiliser des particules sensiblement sphériques, par exemple de silice-alumine, telles que des particules de catalyseur de craquage catalytique déjà usé (silico-aluminates, produits par atomisation).

Ces particules de catalyseur de craquage (silico-aluminates, zéolithiques), de forme sensiblement sphérique, se sont en fait révélées très efficaces pour l'élimination du coke et sensiblement inoffensives pour le métal du réacteur de test.

En variante, on peut utiliser deux types de particules, dont les unes sont des particules métalliques catalyseur de coke, par exemple de fer, d'acier ou de nickel ou d'un alliage contenant du nickel, qui sont relativement molles dans les conditions du vapocraquage, et dont les autres sont plus dures et plus érosives (par exemple catalyseur de craquage ou alliage métallique réfractaire et dur).

On peut également prévoir le préchauffage de ces particules avant leur injection dans l'installation, pour éviter tout problème de condensation à leur introduction dans le four de vapocraquage. La température de préchauffage sera de préférence supérieure à celle du point de rosée local (au point d'injection).

Le décokage de l'installation au moyen de ces particules peut être continu ou discontinu.

On peut, avantageusement, laisser se former sur les parois internes de l'installation une première couche de coke, d'épaisseur relativement faible, par exemple comprise entre 0,5 et 4 mm, ou de préférence entre 1 et 3 mm, qui durcit assez rapidement. Cette couche très dure protège efficacement les parois métalliques de l'installation. Le coke qui aurait ensuite tendance à se déposer sur cette couche protectrice est éliminé au fur et à

mesure, par érosion par les particules solides véhiculées par la charge d'hydrocarbures.

On notera également que le gaz vecteur qui véhicule les particules solides dans l'installation est riche en vapeur d'eau, qui joue un rôle important dans la constitution d'une couche d'oxyde (essentiellement d'oxyde de chrome) sur la surface interne des tubes du four. On pense que cette pellicule d'oxyde très dure protège également le métal des tubes contre l'érosion par les particules solides selon l'invention.

Ainsi donc le procédé met à profit trois phénomènes physiques différents :

- du fait du gaz érosif, constitué de très fines particules en faible quantité, qui se distribuent sans interagir toute la masse du gaz circulant à vitesse élevée, on obtient une érosion légère du coke, à haut degré d'homogénéité, sans fragmentation.
- les tubes sont protégés par une précouche de coke durcie, formant écran, moins sensible à l'érosion par le gaz érosif, et d'épaisseur contrôlée.
- les très fines particules utilisées sont très peu agressives pour le métal des tubes dans les conditions oxydantes locales.

Les effluents gazeux traversant le cyclone sont à une température intermédiaire, en général inférieure à 600 °C environ, de sorte que le cyclone peut être réalisé en acier peu allié, donc peu coûteux. Son efficacité de séparation des particules solides est meilleure qu'à température élevée, en raison d'une plus faible viscosité des gaz. Enfin la séparation des particules solides est réalisée à une température où la vitesse des réactions de craquage est faible. Elle ne se traduit donc pas par les réactions chimiques secondaires de surcraquage, ce qui se produirait si la séparation des particules solides était réalisée immédiatement à la sortie du four 10.

On a représenté en figure 3 une autre installation de vapocraquage selon l'invention.

Cette installation est du type à serpentin multipasse, le four de vapocraquage 10 étant équipé de tubes 52 comprenant des longueurs droites reliées entre elles par des coudes 54. Un collecteur 56 réunit les tubes entre eux à la sortie du four 10 et est raccordé à une chaudière de trempe indirecte 58. Un cyclone 28 reçoit les effluents gazeux sortant de la chaudière de trempe et réalise la séparation des particules solides.

L'injection des particules dans l'installation peut se faire entre trois points : à l'entrée du four 10, au début de la dernière longueur droite des tubes, et à l'entrée de la chaudière de trempe 58.

La figure 4 représente schématiquement une variante de réalisation des moyens de recyclage de particules solides.

Dans cette variante, le cyclone 28 est relié en partie inférieure, par une vanne d'isolement 60 à l'entrée supérieure 62 d'un réservoir 64 comprenant des moyens 66, par exemple un tamis vibrant, de séparation et de retenue des particules solides grossières, ainsi qu'un orifice 68 d'évacuation de ces particules (trappe de visite).

La partie inférieure du réservoir 64, dans laquelle se rassemblent les particules solides fines, est reliée par un organe tournant 70 motorisé, du type vis ou écluse rotative ou analogue, et par une vanne d'isolement 72 à l'entrée d'un autre réservoir 74 dont la sortie, en partie inférieure, comporte un organe tournant 76 motorisé et une vanne d'isolement 78, qui sont identiques à l'organe 70 et à la vanne 72 précités. La sortie du réservoir 74 est reliée par la vanne 78 à un conduit 80 de recyclage des particules solides dans l'installation de vapo-craquage. Une source 82 de gaz sous pression alimente le conduit 80 par un débit de gaz à vitesse moyenne ou relativement faible (par exemple un débit de vapeur d'eau surchauffée, circulant à 20 m/s).

Une vanne à trois voies 84 permet de relier le réservoir 74, soit à la source de gaz sous pression 82, soit au conduit 30 de sortie du cyclone. Des vannes d'arrêt 86 et 88 sont prévues dans les conduits reliant la vanne à trois voies 84 à la source de gaz sous pression 82 et au conduit 30, respectivement.

Un réservoir indépendant 90, rempli de particules solides neuves de granulométrie moyenne déterminée, permet, par l'intermédiaire d'un organe tournant motorisé 92 et d'une vanne d'isolement 94, d'injecter un appoint de particules solides dans le conduit 80. La partie supérieure du réservoir 90 est reliée à la sortie de ce réservoir par un conduit 96 réalisant un équilibrage de pression.

L'organe tournant 92 permet de régulariser le débit des particules d'appoint.

Le premier réservoir 64 (ou le réservoir 74) peut être muni, en partie inférieure, d'un conduit de purge 98 permettant de soutirer une certaine quantité de particules solides usées, tandis qu'un conduit 100 d'entrée contrôlée de gaz de barrage débouche en partie supérieure du réservoir 64. Le gaz de barrage est exempt d'aromatiques lourds et peut être de la vapeur d'eau. Il permet d'éviter le cokage du réservoir 64 et du tamis 66, en évitant la présence de gaz craqués.

Ces moyens de recyclage fonctionnent de la façon suivante :

On suppose d'abord que la vanne amont 60 du premier réservoir 64 est ouverte, que l'organe tournant 70 de sortie de ce réservoir ne tourne pas, et que la vanne d'isolement aval 72 est fermée. Les particules solides qui sont séparées des effluents gazeux dans le cyclone 28 sont recueillies et col-

lectées dans le réservoir 64, après avoir été filtrées par le tamis 66 qui retient les particules de plus grande taille. Le gaz de barrage amené par le conduit 100 s'oppose à toute entrée d'aromatiques lourds dans ce réservoir, sans empêcher la chute gravitaire des particules dans le conduit 32.

Pendant cette phase, le réservoir inférieur 74 qui avait été précédemment rempli de particules solides provenant du réservoir supérieur 64, est progressivement vidé de ses particules solides qui sont réinjectées dans le conduit 80. Pour cela, la vanne d'isolement aval 78 de ce réservoir est ouverte, l'organe tournant 76 est entraîné en rotation, et le volume interne du réservoir 74 est relié à la source de gaz sous pression 82 par l'intermédiaire de la vanne 84, la vanne d'arrêt inférieure 86 étant ouverte. Le gaz délivré par la source 82 est à une pression qui est au moins égale ou légèrement supérieure à la pression au point d'injection des particules solides dans l'installation, et qui est supérieure à la pression dans le conduit de sortie 30 du cyclone 28. La pression interne du réservoir 74 est donc augmentée, par rapport à celle du réservoir supérieur 64, et se trouve en équilibre avec la pression dans le conduit de recyclage 80. La source 82 délivre dans ce conduit un débit de gaz à vitesse relativement faible comprise entre 5 et 25 mètres par seconde, par exemple de la vapeur d'eau surchauffée circulant à une vitesse entre 10 et 20 mètres par seconde, qui permet de véhiculer les particules solides en suspension gazeuse diluée jusqu'en au moins un point d'injection dans l'installation. Lorsque le réservoir 74 est vide ou sensiblement vide, on cesse d'entraîner l'organe tournant 76, on ferme la vanne 78, on relie le réservoir 74 au conduit 30 de sortie du cyclone par l'intermédiaire de la vanne à trois voies 84. Le réservoir 74 se trouve alors à la même pression que le réservoir supérieur 64, et il suffit d'ouvrir la vanne d'isolement 72 et d'entraîner l'organe tournant 70 pour que les particules solides contenues dans le réservoir 64 puissent être transférées dans le réservoir 74.

Ensuite, on cesse d'entraîner l'organe tournant 70, on ferme à nouveau la vanne 72, on relie le réservoir 74 à la source de gaz sous pression 82, on ouvre la vanne et on entraîne à nouveau l'organe tournant 76 pour injecter les particules solides dans le conduit 80.

Chaque fois que nécessaire, le conduit de purge 98 permet de retirer un courant de particules solides du réservoir 64, courant constitué par un mélange de particules abrasives provenant du réservoir d'appoint et ayant subi une certaine attrition du fait de leur circulation dans l'installation et par des particules de coke détachées des parois internes de l'installation.

Dans la variante de réalisation de la figure 5, les deux réservoirs 64, 74 sont agencés en parallèle entre la sortie du cyclone 28 et le conduit 80 de recyclage et sont utilisés en alternance pour respectivement stocker les particules solides sortant du cyclone et les injecter dans le conduit 80. Une vanne a volet 101 prévue en sortie du cyclone 28 permet d'alimenter en particules l'un ou l'autre réservoir.

Pour le reste, le fonctionnement est semblable à celui des moyens de recyclage de la figure 4. Les particules solides peuvent être recyclées dans l'installation à l'entrée du conduit 26, à l'entrée des chaudières de trempe indirecte 16, ainsi que dans la conduite 24 pour nettoyer le conduit de vaporisation de la charge, située dans la partie 22 du four 10 (par exemple quand la charge est entièrement vaporisée, et avant son mélange avec la vapeur d'eau).

L'installation représentée en figure 5 comprend encore des moyens 142 de mesure de la perte de charge réelle dans des tubes 12 du four, pour connaître l'augmentation de cette perte de charge due à la formation d'une couche de coke sur la paroi interne du tube. Les moyens 142 de mesure de la perte de charge dans des tubes du four sont reliés, par un circuit de correction 144 associé à des moyens 146 de mesure du débit de la charge d'hydrocarbures, à un circuit logique 148 de commande permettant de réguler la perte de charge réelle dans les tubes du four à une valeur comprise entre 110 et 300% environ, de la valeur de cette perte de charge dans un tube propre dans les mêmes conditions de fonctionnement du four (même charge d'hydrocarbures et même débit de vapeur d'eau). De préférence, on maintient la perte de charge réelle dans les tubes du four (corrigée en fonction du débit) à une valeur comprise entre 120 et 200 % environ, par exemple de 130 à 180 %, de la perte de charge dans des tubes propres. Pour cela, le circuit de commande 148 peut agir sur les moyens suivants :

- la quantité de particules solides d'appoint délivrée par le réservoir 90
- la purge du réservoir 64 par le conduit 98,
- la fréquence des cycles et le débit de recyclage des particules solides à partir des réservoirs 64, 74.

Cette régulation de la perte de charge réelle corrigée dans les tubes du four correspond à une régulation de l'épaisseur de la couche de coke maintenue sur les parois internes des tubes, cette épaisseur pouvant être comprise entre 0,3 et 6 mm par exemple, de préférence entre 0,5 et 4 mm, ou mieux entre 1 et 3 mm, pour protéger les tubes contre les risques d'érosion par les particules solides.

Les divers moyens de l'invention qui ont été décrits en référence aux figures 4 et 5 sont applicables aux installations de vapocraquage d'hydrocarbures en général, quels que soient les types de tubes utilisés dans le four et les types de séparation et de recyclage de particules solides.

On a représenté en figure 6 une autre variante de réalisation des moyens de recyclage.

Dans cette variante, la sortie inférieure 32 du cyclone 28 est raccordée à une entrée axiale 102 d'un éjecto-compresseur 104 dont une entrée périphérique 106 est alimentée par un débit de gaz moteur sous pression élevée. L'espace annulaire entre l'alimentation axiale 102 et la paroi externe de l'éjecto-compresseur 104 forme une tuyère d'accélération du gaz moteur (à haute pression) amené par l'entrée périphérique 106. La sortie de l'éjecto-compresseur est raccordée à un conduit d'injection de la suspension gaz-solide dans l'installation.

Un conduit 108 permet par ailleurs d'injecter, en partie inférieure du cyclone 28, un débit de gaz auxiliaire $q+q'$ pour former une suspension gaz-solide en sortie du cyclone 28.

Dans ces conditions, l'éjecto-compresseur 104 prélève dans le cyclone 28 le débit q de gaz auxiliaire nécessaire pour former la suspension gaz-solides. Le surplus q' de gaz auxiliaire injecté dans le cyclone sort de celui-ci en partie supérieure, avec le courant de gaz Q entré dans le cyclone. Il y a donc prise en charge des particules récupérées dans le cyclone par un débit de gaz auxiliaire q , de nature différente des gaz craqués, recompression de la suspension dans l'éjecto compresseur, et recyclage de la suspension recomprimée dans l'installation.

La recompression de la suspension gaz-solide qui est réalisée par l'éjecto-compresseur 104 est suffisante pour compenser les pertes de charge entre les points d'injection dans l'installation et le point d'entrée dans l'éjecto-compresseur 104.

Le gaz auxiliaire qui alimente l'éjecto-compresseur peut être de la vapeur d'eau, ou bien un gaz lourd ayant une composition chimique telle que la vitesse du son dans ce gaz est notablement plus faible que la vitesse du son dans la vapeur d'eau. On peut ainsi limiter la vitesse de l'écoulement dans l'éjecto-compresseur, qui est liée à la vitesse du son, et donc limiter l'érosion de l'éjecto-compresseur. Ce gaz sera cependant choisi dépourvu d'aromatiques lourds qui augmenteraient le cokage du four après recyclage.

Le gaz auxiliaire peut par exemple être composé, en majeure partie, de fractions des effluents de pyrolyse recyclées après hydro-traitement, bouillant dans la gamme des C4 et de l'essence de pyrolyse.

En variante, l'éjectocompresseur peut également être de type classique (alimentation axiale centrale en gaz moteur), et construit en matériaux résistant à l'abrasion (revêtement interne céramique, ou carbure). Une filtration des particules lourdes peut être faite avantageusement à l'entrée de cet éjectocompresseur.

La figure 7 représente schématiquement des moyens de distribution ou répartition de particules solides dans les tubes 12 du four de vapocraquage. Ces tubes 12 sont des tubes rectilignes parallèles de petit diamètre, dont les extrémités sont raccordées à un collecteur d'alimentation 14 et à un collecteur de sortie (non représenté), pouvant se situer après un échangeur de trempe primaire.

Le collecteur 14 est alimenté par la charge d'hydrocarbures vaporisés et de vapeur d'eau qui se trouve par exemple à une température de l'ordre de 550 °C et dans laquelle on injecte une petite quantité de particules solides de faible granulométrie qui sont stockées sous forme de suspension dans un liquide tel que de l'eau ou des hydrocarbures légers ou moyens, dans un réservoir 110. Une pompe 112 permet de prélever le mélange liquide-particules solides dans le réservoir 110 pour l'injecter en amont du collecteur 14, dans un conduit 114 dans lequel circule la charge d'hydrocarbures vaporisée et de vapeur d'eau.

Les tubes 12 du four forment une ou plusieurs rangées parallèles et débouchent à intervalles réguliers dans le collecteur 14, celui-ci ayant une section qui décroît progressivement de son extrémité amont à son extrémité aval par rapport au sens d'écoulement de la charge, pour maintenir une vitesse minimum du mélange dans le collecteur et éviter les dépôts de particules.

L'extrémité de chaque tube 12 débouchant dans le collecteur 14 comprend un embout d'alimentation 116 s'étendant à l'intérieur du collecteur et présentant une section d'entrée ou un orifice 118 orienté vers l'extrémité amont du collecteur et ayant une composante notable dans un plan perpendiculaire à la direction moyenne d'écoulement de la charge dans le collecteur. Chaque tube 12 comprend, immédiatement en aval de l'embout d'alimentation 116, une restriction de section 120 telle qu'un col ou un venturi, permettant d'uniformiser et de rendre sensiblement constants les débits de gaz dans les tubes 12. Avantageusement, on utilisera un venturi sonique.

Juste en amont du dernier tube 12, et en dessous du collecteur 14, se trouve une chambre de décantation 137 qui permet de collecter des particules lourdes progressant le long de la génératrice inférieure du collecteur 14.

L'extrémité aval 122 du collecteur 14 est raccordée par un conduit 124 de dimensions appropriées, à un éjecto-compresseur 126 comprenant

un conduit axial 128 d'alimentation d'un débit de gaz moteur tel que de la vapeur d'eau. Une vanne 130 permet de régler le débit de gaz moteur.

La sortie de l'éjecto-compresseur 126 est raccordée par un conduit 132 à l'extrémité amont du collecteur 14 ou au conduit 114 d'amenée de la charge d'hydrocarbures.

Avantageusement, la vanne 130 de réglage du débit de gaz moteur peut être commandée par un système 134 comprenant des moyens de détection de la température de peau des premiers et des derniers tubes 12 du four pour asservir le débit de gaz moteur à la différence de ces températures. Ce dispositif fonctionne de la façon suivante:

La charge d'hydrocarbures vaporisée et de vapeur d'eau, chargée de particules solides de faible granulométrie, s'écoule avec une turbulence élevée dans le collecteur 14. La vitesse moyenne d'écoulement dans ce collecteur est comprise entre 20 et 120 mètres par seconde, par exemple entre 30 et 80 mètres par seconde et est notablement inférieure à la vitesse de circulation dans les tubes 12, qui est comprise entre 130 et 300 mètres par seconde environ, en particulier entre 160 et 270 mètres par seconde. Cette vitesse d'écoulement dans le collecteur 14 est suffisante pour éviter toute ségrégation gaz-solides dans le collecteur et donc tout dépôt de particules solides dans le collecteur, à l'exception éventuellement de certaines particules lourdes, progressant le long de la génératrice inférieure.

Le prélèvement d'une fraction notable du débit gaz-particules solides à l'extrémité aval 122 du collecteur, transforme en quelque sorte ce collecteur en un collecteur de longueur infinie, d'où il résulte que l'extrémité aval du collecteur n'a plus d'influence sensible sur la répartition du débit gaz-particules dans les différents tubes 12, qu'ils soient proches ou éloignés de l'extrémité aval du collecteur.

L'amenée d'un débit de gaz moteur (par exemple vapeur d'eau) dans l'éjecteur 126 permet de prélever la fraction voulue du débit gaz-solides dans le collecteur et de recomprimer cette fraction pour la recycler par injection dans le conduit 114 ou à l'extrémité amont du collecteur. Le système 134 permet de régler le débit de gaz moteur par action sur la vanne 130, ce qui permet d'influer sur l'alimentation en particules solides des premiers tubes par rapport aux derniers tubes et donc de corriger une irrégularité de répartition, décelée par des différences entre les températures de peau de ces tubes.

En effet, les particules solides qui circulent dans les tubes 12 ont une action érosive sur la couche de coke qui se forme sur la paroi interne de ces tubes. Les variations de température de peau des tubes permettent d'évaluer le degré d'en-

crassement des tubes, et donc l'efficacité de l'érosion de la couche de coke par les particules solides. L'augmentation du débit de prélèvement conduit à une augmentation de la vitesse moyenne dans le collecteur, plus importante à l'extrémité aval du collecteur qu'à son début. Le débit de prélèvement en bout du collecteur peut donc être modulé, en fonction de l'information sur l'encrassement relatif des différents tubes. Plus simplement, on pourra le régler à une valeur adéquate.

Les restrictions de section 120 formées à l'extrémité amont des tubes 12 ont pour effet d'uniformiser et de rendre sensiblement constants les débits gazeux qui circulent dans ces tubes. Il en résulte une possibilité de régulation automatique du nettoyage de ces tubes par les particules solides. En effet, si un tube s'encrasse de manière anormale, avec obstruction partielle par du coke, le maintien du débit gazeux d'alimentation assuré par les éléments 120 conduira à augmenter la vitesse de circulation et donc l'efficacité érosive.

On prévoit également, pour régulariser et répartir correctement le débit gaz-particules dans les différents tubes, un embout d'alimentation factice 136 placé en amont des premiers tubes 12 et qui est identique aux embouts d'alimentation 116 de ces tubes. Les premiers tubes 12 vont donc se trouver, d'un point de vue aérodynamique, dans la même situation que les tubes suivants.

On a représenté, dans les figures 8, 9 et 10 des variantes de réalisation des extrémités des tubes 12 et de leurs embouts d'alimentation.

En figure 8, l'embout 116 est identique à ceux représentés en figure 7, mais la restriction de section 120 est formée par un venturi à col de préférence sonique. Ce venturi est formé en une matière particulièrement dure pour résister à l'érosion, par exemple en carbure de tungstène ou en carbure de silicium.

En figure 9, chaque tube 12 se termine par une extrémité 138 coupée en biseau, qui forme l'extrémité d'entrée du débit gaz-particules solides dans le tube.

En figure 10, chaque embout d'alimentation est constitué par un coude 140 à 90°, fixé sur la paroi interne du collecteur 14 et dans lequel débouche l'extrémité du tube 12 correspondant, comprenant la restriction de section 120.

Les tubes 12 peuvent être les tubes du four, ou les conduits flexibles (queues de cochon) alimentant les tubes du four.

La figure 11 représente une autre variante de réalisation d'une installation de vapocraquage selon l'invention.

Dans cette figure, le four 10 de vapocraquage comprend une série de tubes 12 rectilignes de petit diamètre, alimentés à leurs extrémités amont par un collecteur 14 situé à l'extérieur du four et

réunis à leurs extrémités aval par un collecteur 158, éventuellement calorifugé, situé à l'intérieur du four 10. Le collecteur 158 alimente un tube 160 de plus gros diamètre, rectiligne, dont l'extrémité de sortie est reliée à l'extérieur du four à une chaudière 162 de trempe indirecte des effluents gazeux de vapocraquage. La sortie de la chaudière 162 est reliée à des moyens 164 de trempe directe des effluents gazeux.

La récupération des particules injectées est réalisée entre la chaudière 162 et les moyens de trempe 164, par des moyens non représentés.

Dans cette installation, la charge de vapocraquage, constituée par un mélange d'hydrocarbures et de vapeur d'eau, est amenée au collecteur 14, circule dans les petits tubes 12, puis circule en sens inverse dans le tube 160 de plus gros diamètre, sort du four pour traverser l'échangeur de trempe indirecte 162 et gagne les moyens 164 de trempe directe, après récupération des particules. Cette installation est du type "split coil" à deux passes.

Pour le décokage de l'installation pendant son fonctionnement, des conduits 166 d'injection de vapeur d'eau, ou d'un mélange vapeur d'eau-hydrogène sont reliés aux extrémités amont des petits tubes 12, à l'extérieur du four 10. Chaque conduit 166 comprend une vanne ou un autre moyen analogue 168 d'ouverture et de fermeture, et est relié à un moyen 170 d'alimentation en vapeur d'eau, ou en mélange vapeur d'eau-hydrogène. Les vannes 168 des différents conduits 166 sont reliées à un moyen 172 de commande séquentielle d'ouverture et de fermeture, de telle sorte qu'une seule vanne 166 ou un très petit nombre de vannes puisse être ouvert à la fois, les autres vannes étant fermées. Le débit de vapeur d'eau ou de mélange vapeur d'eau-hydrogène injecté dans un petit tube 12 est réglé de telle sorte qu'il s'oppose à l'entrée de la charge de vapocraquage dans ce tube.

L'installation comprend également des moyens d'injection de particules solides érosives à l'extrémité amont du gros tube 160, de préférence aux extrémités amont du collecteur 158 alimentant ce gros tube. Ces moyens sont représentés schématiquement sur le dessin et désignés par la référence 174.

On peut également prévoir, comme représenté schématiquement en partie droite du dessin, des moyens 175 d'injection d'une très faible quantité de particules solides dans les tubes 12 de petit diamètre, à leurs extrémités amont. Une autre possibilité sensiblement équivalente consiste à injecter les particules dans le collecteur d'entrée 14 ou en amont de ce collecteur. Dans ce cas, on peut réaliser d'abord un décokage partiel des tubes 12 au moyen des particules solides, et terminer le

décokage par injection de vapeur d'eau.

Il est avantageux de prévoir des moyens 176 d'injection de particules solides supplémentaires immédiatement à l'entrée de la chaudière de trempe indirecte 162, pour améliorer son décokage.

On prévoit également d'injecter à ce niveau, c'est-à-dire à l'entrée de la chaudière 162, un gaz 178 plus froid que les effluents gazeux de vapocraquage, de façon à réaliser une pré-trempe de ces effluents, limité à 150 °C environ, et par exemple comprise entre 50 et 130 °C.

Le gaz de pré-trempe peut être de l'éthane craqué refroidi, ou éventuellement de l'essence de pyrolyse recyclée, de préférence hydro-traitée, par exemple des fractions C5 ou C6 ayant un faible indice d'octane après extraction du benzène.

La pré-trempe permet d'éviter ou de limiter un post-craquage des effluents à la sortie du four 10.

L'injection de vapeur d'eau dans les tubes 12 du four permet de décoker ces tubes par une réaction de gaz à l'eau. La vapeur d'eau sortant des tubes 12 à leur extrémités aval se mélange dans le collecteur 158 à la charge de vapocraquage. Ce décokage séquentiel des tubes 12 de la première passe du four se fait donc sans consommation spécifique de vapeur d'eau puisque cette vapeur d'eau est récupérée et utilisée comme vapeur de dilution dans la deuxième passe 160 du four. Les vannes 168 sont séquentiellement ouvertes, chacune pendant un intervalle de temps déterminé. Simultanément ou non, on peut injecter des particules solides érosives dans le collecteur 158 et à l'entrée de la chaudière 162.

Un cyclone, interposé entre la chaudière de trempe 162 et les moyens 164 de trempe directe, permet de séparer les particules solides érosives du courant d'effluents gazeux.

D'une manière générale, le procédé selon l'invention est parfaitement adapté à des installations de craquage monopasse, utilisant de petits tubes rectilignes, sans coudes, telles que décrites dans les figures 2 et 10.

L'installation de la figure 11 montre que l'invention peut être également parfaitement adaptée à une installation à deux ou plusieurs passes, sans risques d'érosion au niveau des changements de direction (quantités de particules réduites ou nulles à ce niveau). Enfin l'invention peut également être utilisée dans des installations à serpentins, notamment en utilisant une précouche de coke durcie et un bon contrôle des injections de particules.

L'invention réalise donc un progrès important pour l'industrie du vapocraquage.

Revendications

1. Procédé de décokage d'une installation de vapocraquage d'hydrocarbures, consistant à éliminer par érosion une partie au moins du coke déposé sur les parois internes de l'installation, en particulier dans un four (10) de vapocraquage et une chaudière (16, 58) de trempe indirecte, au moyen de particules solides véhiculées par un courant de gaz vecteur à vitesse élevée, caractérisé en ce que le décokage est réalisé pendant que l'installation est en opération de craquage des hydrocarbures, le gaz vecteur étant constitué au moins en partie par la charge d'hydrocarbures et de vapeur d'eau qui contient des particules solides ayant un diamètre moyen inférieur à 150 μm , avec un taux solides-gaz inférieur à 10% en poids et une vitesse de particules dans le four de 70 à 480 m/s, de sorte que le mélange gaz vecteur-particules solides se comporte comme un gaz doté d'une capacité d'érosion légère.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on refroidit, à la sortie du four (10) de vapocraquage, le mélange gaz vecteur-particules solides à une température intermédiaire inférieure à 600 °C environ, déterminée pour éviter toute condensation de liquide, on sépare ensuite au moins la plus grande partie des particules solides du gaz vecteur dans au moins un cyclone (28), on met en contact les particules séparées avec de l'eau ou un liquide hydrocarboné sensiblement dépourvu de composés aromatiques lourds de pyrolyse et on recycle par pompage le mélange particules solides-liquide dans l'installation de vapocraquage.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on refroidit, à la sortie du four (10) de vapocraquage, le mélange gaz vecteur-particules solides à une température intermédiaire inférieure à 600 °C environ, déterminée pour éviter toute condensation de liquide, on sépare ensuite au moins la plus grande partie des particules solides du gaz vecteur dans au moins un cyclone (28), on collecte dans au moins un réservoir les particules sortant du cyclone, on isole ledit réservoir, on le met sous pression au moyen d'un gaz sous pression et on recycle au moins une partie des particules dans l'installation de vapocraquage au moyen dudit gaz.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le diamètre moyen des particules solides est compris entre 5 et 100

μm environ et le taux solides/gaz est compris entre 0,01 et 10% en poids.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le diamètre des particules solides est compris entre 5 et 85 μm environ, le taux solides/gaz est compris entre 0,1 et 8% en poids, et la vitesse des particules dans le four est comprise entre 130 et 300 m/s. 5
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que les particules solides amenées dans l'installation sont injectées en plusieurs points de celle-ci, en particulier dans une ou plusieurs zones du four (10) de vapocraquage, ou à l'entrée de la chaudière (16, 58) de trempe indirecte, ou séquentiellement dans la vapeur de dilution pour obtenir un décokage de la zone de convection. 10 15
7. Procédé selon l'une des revendications 2, 4 à 6 caractérisé en ce que le liquide est une fraction de la charge d'hydrocarbures à craquer ou une essence de pyrolyse. 20 25
8. Procédé selon l'une des revendications 2, 4 à 7, caractérisé en ce que, pour mettre en contact le liquide avec les particules solides sortant du cyclone (28), on réalise un écoulement continu de liquide, à partir d'une ligne source sur une paroi située autour et en dessous de la zone d'arrivée des particules, pour former une paroi mouillée. 30 35
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les particules solides sont sensiblement sphériques, telles que des particules minérales ou métalliques formées par atomisation au gaz. 40
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que les particules sont des particules minérales poreuses à base de silice ou l'alumine, telles que des particules de catalyseur de craquage catalytique use. 45
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les particules solides sont un mélange contenant deux types de particules, les unes étant des particules métalliques catalyseur de coke, relativement molles dans les conditions de vapocraquage, les autres étant plus dures et plus érosives. 50
12. Installation de vapocraquage d'hydrocarbures, comprenant un four (10) de vapocraquage à tube (12) de circulation d'une charge d'hydro- 55

carbures, des moyens d'introduction de ladite charge et de vapeur d'eau connectés audit tube du four, des moyens (16, 58) de trempe indirecte des effluents gazeux sortant du four, et des moyens de trempe directe par injection de liquide, reliés à la sortie des moyens de trempe indirecte, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens d'injection de particules solides dans la charge d'hydrocarbures vaporisés qui circule dans l'installation pendant le fonctionnement de celle-ci, connectés audit tube, des moyens tels qu'un cyclone (28), de séparation des particules solides et du gaz, qui sont prévus en sortie des moyens (16, 58) de trempe indirecte, en amont des moyens de trempe directe.

13. Installation selon la revendication 12, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens de recyclage dans l'installation des particules solides séparées des gaz, et des moyens d'appoint en particules solides.
14. Installation selon la revendication 13, caractérisée en ce que les moyens de recyclage de particules solides comprennent des moyens (108) d'injection d'un débit de gaz dépourvu d'aromatiques lourds dans la partie inférieure des moyens de séparation (28), pour former une suspension gaz-solides en sortie de ces moyens, et un éjecto-compresseur (104) relié à la sortie des moyens précités de séparation (28) et alimenté par un débit de gaz auxiliaire à pression élevée pour recomprimer la suspension gaz-solides en vue de son injection dans l'installation.
15. Installation selon la revendication 13, caractérisée en ce qu'elle comprend un réservoir (74) de stockage des particules solides, dont l'entrée est raccordée à la sortie (32) des solides des moyens (28) de séparation précités, et dont la sortie est raccordée aux moyens (80) d'injection des particules dans l'installation, des moyens (72, 78) d'isolement de ce réservoir (74), tels que des vannes, et des moyens (84) de liaison de ce réservoir à une source (82) de gaz sous pression permettant d'augmenter la pression interne du réservoir (74) à une valeur au moins égale à celle d'un point d'injection des particules dans l'installation.
16. Installation selon la revendication 15, caractérisée en ce qu'elle comprend un second réservoir (64) monté en parallèle sur le premier réservoir cité (74) ou entre la sortie des moyens de séparation (28) et l'entrée du premier réservoir (74), des moyens (60, 72) d'iso-

lement du second réservoir, tels que des vannes, et des moyens (66) de retenue des grosses particules, prévus à l'intérieur du second réservoir (64), et en ce que la source (82) de gaz sous pression est reliée au conduit (80) d'injection des particules dans l'installation.

17. Installation selon l'une des revendications 12 à 16, comprenant un collecteur (14) d'alimentation des tubes (12) du four de vapocraquage (10), caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens d'injection des particules solides dans la charge d'hydrocarbures vaporisés en amont ou à l'entrée du collecteur (14) à une vitesse suffisante pour éviter tout dépôt de particules solides dans le collecteur, des embouts d'alimentation (116) montés à l'extrémité des tubes (12) et s'étendant à l'intérieur du collecteur (14), chaque embout comprenant une section d'entrée (118) qui est orientée vers l'extrémité amont du collecteur et qui a une composante dans un plan perpendiculaire à la direction moyenne de l'écoulement dans le collecteur.
18. Installation selon la revendication 17 caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens (124, 126, 137) de captation de particules solides à l'extrémité aval du collecteur.
19. Installation selon la revendication 18, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens (124, 126) de prélèvement à l'extrémité aval du collecteur, d'une fraction du débit gaz-particules solides circulant dans le collecteur, et des moyens de recyclage, en amont ou à l'entrée du collecteur, de la fraction prélevée du débit gaz-particules solides.
20. Installation selon l'une des revendications 12 à 19, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens (142) de mesure de la perte de charge dans les tubes du four de vapocraquage, des moyens (146) de mesure du débit de la charge de craquage ou de la vapeur d'eau de dilution, des moyens (144) de correction de la perte de charge en fonction de ce débit mesuré, et des moyens (148) de régulation de la perte de charge corrigée par commande du débit de particules solides recyclées dans l'installation.
21. Installation selon l'une des revendications 12 à 20, dans laquelle le four (10) de vapocraquage comprend plusieurs passes d'une charge d'hydrocarbures et de vapeur d'eau, une passe au moins étant constituée d'une série de tubes (12) de petit diamètre, réunis par un collecteur (158) à un tube (160) de plus gros diamètre

constituant la dernière passe, ladite installation comprenant en outre des conduits (166) d'injection de vapeur d'eau reliés aux extrémités amont des tubes (12) de petit diamètre et comportant des organes (168) tels que des vannes d'ouverture et de fermeture de ces conduits, des moyens (172) de commande de ces organes, permettant de décoker tour à tour les tubes (12) de petit diamètre par injection de vapeur d'eau dans ces tubes, et des moyens (174) d'injection de particules solides érosives dans le collecteur (158) reliant les tubes de petit diamètre au tube (160) de gros diamètre.

Claims

1. A method of decoking a hydrocarbon steam-cracking installation, the method consisting in eliminating by erosion at least a portion of the coke deposited on the inside walls of the installation, in particular inside a steam-cracking furnace (10) and inside an indirect-quench boils (16, 58), the erosion being by means of solid particles conveyed by a high speed flow of a vector gas, the method being characterized in that the decoking is performed while the installation is in operation, the vector gas being constituted, at least in part, by the hydrocarbon feedstock mixed with steam, the vector gas containing solid particles having a mean diameter of less than 150 μm , with a ratio of solids to gas less than 10% by weight and a particle speed in the furnace of 70 to 480 m/s, such that the mixture of vector gas and solid particles behaves as a gas having the capacity to perform light erosion.
2. A method according to claim 1, characterized in that the mixture of vector gas and solid particles is cooled at the outlet from the steam-cracking furnace (10) to an intermediate temperature less than about 600 °C, said temperature being chosen to prevent any liquid condensing, at least a major portion of the solid particles then being separated from the vector gas in at least one cyclone (28), the pressure of at least a portion of the solid particles separated from the gas in the cyclone (28) then being raised, and the particles being recycled through the steam-cracking installation.
3. A method according to claim 1, characterized in that the mixture of vector gas and solid particles is cooled at the outlet from the steam-cracking furnace (10) to an intermediate temperature less than about 600 °, said temperature being chosen to prevent any liquid con-

- densing, at least a major portion of the solid particules then being separated from the vector gas in at least one cyclone, the particules leaving the cyclone being collected in at least a tank, the tank is isolated and then put under pressure by means of a gas under pressure and at least one part of the particles are recycled through the installation by means of said gas.
4. A method according to claim 1 to 3, characterised in that the mean diameter of the solid particles lies in the range about 5 μm to about 100 μm , with the ratio of solids to gases lying in the range about 0.01% to about 10% by weight.
 5. A method according to claim 4, characterized in that the mean diameter of the solid particles lies in the range about 5 μm to about 85 μm , the ratio of solids to gas lies in the range 0.1% to 8% by weight, and the speed of the particles in the furnace lies in the range 130 m/s to 300 m/s.
 6. A method according to any preceding claim, characterized in that the solid particles fed to the Installation are injected into a plurality of points thereof, in particular into one or more zones of the steam-cracking furnace (10), or at the inlet to the indirect-quench boiler (16, 58), or sequentially into the dilution steam in order to obtain decoking in the convection zone.
 7. A method according to anyone of claims 2, 4 to 6 characterised in that the liquid is a fraction of the hydrocarbon feed or a pyrolysis gasoline.
 8. A method according to any one of claims 2, 4 to 7 characterised in that in order to put the liquid into contact with the solid particles leaving the cyclone (28) the liquid is caused to flow continuously from a source line over a wall situated around and below the particle-arrival zone, thereby forming a wetted wall.
 9. A method according to any preceding claim, characterized in that the solid particles are substantially spherical, such as metallic or inorganic particles formed by gas spraying.
 10. A method according to claim 9, characterized in that the particles are porous inorganic particles based on silica or alumina, such as worn particles of catalyst for catalytic cracking.
 11. A method according to any preceding claim, characterized in that the solid particles are a mixture containing two types of particles one of the types being coke catalyzing metallic particles which are relatively soft under steam-cracking conditions, and the other particles being harder and more erosive.
 12. An installation for steam cracking hydrocarbons, the installation comprising a steam-cracking furnace (10) having tubes (12) for conveying a flow of hydrocarbon feedstock, indirect quench means (16, 58) for quenching the gaseous products leaving the furnace, and liquid-injection direct-quench means connected to the outlet from the indirect-quench means, the installation being characterized in that it includes means for injecting solid particles into the vaporized hydrocarbon feedstock flowing through the installation while the installation is in operation, which are connected to said tubes, and separator means, such as a cyclone (28), for separating the solid particules from the gas, said means being provided at the outlet from the indirect-quench means (16, 58) and upstream from the direct-quench means.
 13. An installation according to claim 12, characterized in that it includes means for recycling through the installation solid particles separated from the gas, and means for a make up with solid particles.
 14. An installation according to claim 13, characterized in that the means for recycling solid particles comprise means (108) for injecting a flow of gas free from heavy aromatic compounds into the bottom portion of the separator means (28), thereby forming a gas-solid suspension at the outlet from said means, and an ejector-compressor (104) connected to the outlet from the above-mentioned separator means (28) and fed with a flow of auxiliary gas at high pressure for recompressing the gas-solid suspension for the purpose of reinjecting it into the installation.
 15. An installation according to claim 13, characterized in that it includes a tank (74) for storing solid particles, the tank having an inlet connected to an outlet (32) for solids from the above-mentioned separator means (28) and having an outlet connected to means (80) for injecting particles into the installation, isolation means (72, 78) for said tank (74), such as valves, and means (84) for connecting said tank to a source (82) of gas under pressure enabling the internal pressure of the tank (74)

to be raised to a value not less than the pressure at a point where particles are injected into the installation.

16. An installation according to claim 15, characterized in that it includes a second tank (64) disposed in parallel with the first-mentioned tank (74) or between the outlet from the separator means (38) and the inlet of the first tank (74), isolation means (60, 72) for the second tank, such as valves, with means (66) for retaining large particles being provided inside the second tank (64), and in that the source (82) of gas under pressure is connected to a duct (80) for injecting particles into the installation. 5 10 15
17. An installation according to any one of claims 12 to 16, including a feed manifold (14) for the tubes (12) of the steam-cracking furnace (10), the installation being characterized in that it includes means for injecting solid particles into the vaporized hydrocarbon feedstock upstream from or at the inlet to the manifold (14), means for establishing a turbulent flow inside the manifold (14) at a sufficiently high speed to avoid depositing any solid particles inside the manifold, feed endpieces (116) mounted at the ends of the tubes (12) and extending into the manifold (14), each endpiece having an inlet section (118) directed towards the upstream end of the manifold and including a component in a plane perpendicular to the mean flow direction inside the manifold. 20 25 30 35 40
18. An installation according to claim 17, characterized in that it includes means (124, 126, 137) for collecting solid particles at the downstream end of the manifold. 45
19. An installation according to claim 18, characterized in that it includes means (124, 126) for tang off a fraction of the gas and solid particle flow in the manifold from the downstream end thereof, and recycling means for recycling the taken-off fraction of the gas and solid particle flow upstream from or at the inlet to the manifold. 50 55
20. An installation according to any one of claims 12 to 19, characterized in that it includes means (142) for measuring the pressure drop inside the tubes of the steam-cracking furnace, means (146) for measuring the flow rate of the feedstock for cracking, means (144) for correcting the pressure drop as a function of the measured flow rate, and means (148) for regulating the corrected pressure drop by control-

ling the flow rate of solid particles recycled into the installation.

21. An installation according to any one of claims 12 to 20, having a plurality of passes for the hydrocarbon and steam feedstock through the steam-cracking furnace (10), at least one of the passes being constituted by a series of small-diameter tubes (12) connected by a manifold (158) to a larger-diameter tube (160) constituting the last pass, the installation being characterized in that it includes steam injection ducts (166) connected to the upstream ends of the small diameter tubes (12) and including members (168) such as valves for opening and closing these ducts, means (172) for controlling these members and enabling the small-diameter tubes (12) to be decoked in turn by injecting steam into these tubes, end means (174) for injecting erosive solid particles into the manifold (158) connecting the small-diameter tubes to the larger-diameter tube (160).

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entkoken einer Anlage zum Dampfcracken von Kohlenwasserstoffen, das in der Entfernung durch Erosion von zumindest einem Teil des auf den Innenwänden der Anlage, im besonderen in einem Ofen (10) zum Dampfcracken und einem Kühler (16, 58) zum indirekten Abschrecken, abgelagerten Koks mittels von einem Trägergas mit hoher Geschwindigkeit transportierten Feststoffpartikeln besteht, dadurch gekennzeichnet daß die Entkokenung durchgeführt wird, während die Anlage zum Cracken von Kohlenwasserstoffen betrieben wird, das Trägergas zumindest zu einem Teil vom Kohlenwasserstoff-Einsatzstoff und von Wasserdampf gebildet wird und Feststoffpartikel mit einem mittleren Durchmesser von unter 150 µm mit einem Verhältnis Feststoff-Gas von weniger als 10 Gew.-% enthält mit einer Partikelgeschwindigkeit im Ofen von 70 bis 480 m/s, so daß sich das Gemisch Trägergas-Feststoffpartikel wie ein mit einer leichten Erosionskapazität versehenes Gas verhält.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß am Ausgang des Ofens (10) zum Dampfcracken die Mischung Trägergas-Feststoffpartikel auf eine Zwischentemperatur von weniger als etwa 600 °C abgekühlt wird, die festgelegt ist, um jede Kondensation von Flüssigkeit zu vermeiden, anschließend zumindest der größte Teil der Feststoffpartikel vom Trägergas in mindestens einem Zyklon (28) abgetrennt wird, die abgetrennten Partikel mit Was-

ser oder einer Flüssigkeit aus annähernd von schweren aromatischen Verbindungen aus der Pyrolyse befreiten Kohlenwasserstoffen in Kontakt bringt und durch Pumpen das Gemisch Feststoffpartikel-Flüssigkeit in die Anlage zum Dampfcracken zurückführt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet daß am Ausgang des Ofens (10) zum Dampfcracken die Mischung Trägergas-Feststoffpartikel auf eine Zwischentemperatur von weniger als etwa 600 °C abgekühlt wird, die festgelegt ist, um jede Kondensation von Flüssigkeit zu vermeiden, anschließend zumindest der größte Teil der Feststoffpartikel vom Trägergas in mindestens einem Zyklon (28) abgetrennt wird, die den Zyklon verlassenden Partikel in mindestens einem Vorratsgefäß gesammelt werden, das gesamte Vorratsgefäß abgetrennt wird, es mittels eines Gases unter Druck gesetzt wird und zumindest ein Teil der Partikel mittels des besagten Gases in die Anlage zum Dampfcracken zurückgeführt wird. 5 10 15 20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Durchmesser der Feststoffpartikel zwischen einschließlich etwa 5 und 100 µm liegt und des Verhältnis Feststoff/Gas zwischen einschließlich 0,01 und 10 Gew.-% liegt. 25 30
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser der Feststoffpartikel zwischen einschließlich etwa 5 und 85 µm und das Verhältnis Feststoff/Gas zwischen einschließlich 0,1 und 8 Gew.-% liegt und die Geschwindigkeit der Partikel im Ofen zwischen einschließlich 130 und 300 m/s liegt. 35
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die in die Anlage eingeführten Feststoffpartikel an mehreren Stellen derselben eingeblasen werden, im besonderen in einer oder mehreren Zonen des Ofens (10) zum Dampfcracken oder am Eingang des Kühlers (16, 58) zum indirekten Abschrecken oder aufeinanderfolgend in den Dampf zur Verdünnung, um eine Entkorkung der Konvektionszone zu erhalten. 40 45 50
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2, 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeit eine Fraktion des zu crackenden Kohlenwasserstoff-Einsatzstoffs oder ein Pyrolysebenzin ist. 55
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2, 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß, um die Flüssigkeit mit den den Zyklon (28) verlassenden Feststoffpartikeln in Kontakt zu bringen, eine kontinuierliche Strömung der Flüssigkeit erzeugt wird, ausgehend von einer Quelleitung auf eine Wand, die um die und unter der Eintrittszone der Partikel liegt, um eine nasse Wand zu erzeugen.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Feststoffpartikel annähernd kugelförmig sind, wie zum Beispiel mineralische Partikel oder metallische Partikel, die durch Versprühen mit Gas gebildet wurden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Partikel poröse mineralische Partikel auf der Grundlage von Silikat oder Aluminat sind, wie zum Beispiel Partikel von verbrauchten Katalysatoren zum katalytischen Cracken.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Feststoffpartikel ein Gemisch sind, das zwei Partikeltypen umfaßt, wobei die einen unter den Bedingungen des Dampfcrackens relativ weiche metallische Verkokungskatalysatorpartikel und die anderen härter und stärker erosiv sind.
12. Anlage zum Dampfcracken von Kohlenwasserstoffen, die einen Dampfcrackofen (10) mit Rohren (12) zum Durchfließen eines Kohlenwasserstoff-Einsatzstoffs, Mittel zur Einführung des besagten Einsatzstoffes und von Wasserdampf, die mit dem besagten Rohr des Ofens verbunden sind, Mittel (16, 58) zum indirekten Abschrecken der gasförmigen, den Ofen verlassenden Austragsstoffe und Mittel zum direkten Abschrecken durch Einspritzen von Flüssigkeit, die mit dem Ausgang der Mittel zum indirekten Abschrecken verbunden sind, umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel zum Einblasen von Feststoffpartikeln in den verdampften, in der Anlage während ihres Betriebs fließenden Kohlenwasserstoff-Einsatzstoff umfaßt, die mit dem besagten Rohr verbunden sind, und Mittel, wie zum Beispiel einen Zyklon (28), Abtrennung der Feststoffpartikel und des Gases, die am Ausgang der Mittel (16, 58) zum indirekten Abschrecken stromaufwärts der Mittel zum direkten Abschrecken vorgesehen sind.
13. Anlage nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel umfaßt, um die vom Gas abgetrennten Feststoffpartikel in die Anlage

ge zurückzuführen und Mittel für zusätzliche Feststoffpartikel.

14. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zum Zurückführen der Feststoffpartikel Mittel (108) zum Einblasen einer Gasmenge, die von schweren Aromaten befreit ist, in den unteren Teil der Mittel zum Abtrennen (28) umfassen, um am Ausgang dieser Mittel eine Suspension Gas-Feststoff zu erzeugen, und eine Strahlpumpe (104), die mit dem Ausgang der besagten Mittel zum Abtrennen (28) verbunden ist und mit einer Menge an Hilfsgas unter höherem Druck versorgt wird, um die Suspension Gas-Feststoff im Hinblick auf ihr Einblasen in die Anlage wieder zu komprimieren. 5 10 15
15. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein Vorratsgefäß (74) zur Lagerung der Feststoffpartikel umfaßt, dessen Eingang an den Ausgang (32) der Feststoffe aus den vorgenannten Mitteln (28) zum Abtrennen angeschlossen ist, und dessen Ausgang an Mittel (80) zum Einblasen der Partikel in die Anlage angeschlossen ist, Mittel (72, 78) zum Abtrennen dieses Vorratsgefäßes (74) wie z. B. Ventile und Mittel (84) zum Verbinden dieses Vorratsgefäßes mit einer Quelle (82) von Gas unter Druck, die es erlaubt, den Innendruck im Vorratsgefäß (74) auf einen Wert zu erhöhen, der mindestens gleich demjenigen am Einblaspunkt der Partikel in die Anlage ist. 20 25 30
16. Anlage nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein zweites Vorratsgefäß (64) umfaßt, das parallel zu dem ersten genannten Vorratsgefäß (74) oder zwischen dem Ausgang der Mittel zum Abtrennen (28) und dem Eingang des ersten Vorratsgefäßes (74) angebracht ist, Mittel (60, 72) wie z. B. Ventile und Mittel (66) zum Zurückhalten von großen Partikeln, die im Inneren des zweiten Vorratsgefäßes (64) vorgesehen sind, und dadurch, daß die Quelle (82) von Gas unter Druck mit der Leitung (80) zum Einblasen der Partikel in die Anlage verbunden ist. 35 40 45
17. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 16, die einen Verteiler (14) zur Versorgung der Rohre (12) des Dampfcrackofens (10) umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel zum Einblasen von Feststoffpartikeln in den verdampften Kohlenwasserstoff-Einsatzstoff stromaufwärts oder am Eingang des Verteilers (14), mit einer ausreichenden Geschwindigkeit, um jegliche Ablagerung der Feststoffpartikel im Verteiler zu vermeiden, am Ende der Rohre 50 55

(12) angebrachte Versorgungsstutzen (116), die sich ins Innere des Verteilers (14) erstrecken, wobei jeder Stutzen einen Eingangsabschnitt (118) umfaßt, der zum stromaufwärts gelegenen Ende des Verteilers ausgerichtet ist und der in einer senkrechten Ebene zur mittleren Strömungsrichtung im Verteiler ein Bauteil besitzt, umfaßt.

18. Anlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel (124, 126, 137) zum Abscheiden von Feststoffpartikeln am stromabwärts gelegenen Ende des Verteilers umfaßt.
19. Anlage nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel (124, 126) am stromabwärts gelegenen Ende des Verteilers zur Entnahme einer Fraktion der in den Verteiler fließenden Menge Gas-Feststoffpartikel und Mittel stromabwärts oder am Eingang des Verteilers zur Rückführung der entnommenen Fraktion der Menge Gas-Feststoffpartikel umfaßt.
20. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel (142) zur Messung des Druckverlusts in den Rohren des Dampfcrackofens, Mittel (146) zur Messung des Durchsatzes an zu crackendem Einsatzstoff oder an verdünnenden Wasserdampf, Mittel (144) zur Korrektur des Druckverlusts in Abhängigkeit von diesem gemessenen Durchsatz und Mittel (148) zur Regelung des korrigierten Druckverlusts durch Regelung der Menge in die Anlage zurückgeführter Feststoffpartikel umfaßt.
21. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 20, bei der der Ofen (10) zum Dampfcracken mehrere Durchgänge für einen Kohlenwasserstoff-Einsatzstoff und Wasserdampf besitzt, mindestens ein Durchgang besteht aus einer Reihe von Rohren (12) mit kleinem Durchmesser, die von einem Sammler (158) in ein Rohr (160) mit größerem Durchmesser zusammengeführt werden, das den letzten Durchgang darstellt, die besagte Anlage umfaßt außerdem Leitungen (166) zum Einblasen von Wasserdampf, die mit den stromaufwärts gelegenen Enden der Rohre (12) mit kleinem Durchmesser verbunden sind und Instrumente (168) umfassen, wie zum Beispiel Ventile zum Öffnen und Schließen dieser Leitungen, Mittel (172) zur Steuerung dieser Instrumente, die es erlauben, ein Rohr (12) mit kleinem Durchmesser nach dem anderen durch Einblasen von Wasserdampf in diese Rohre zu entkoken und Mittel (174) zum Einblasen der erosiven Feststoffpartikel in den Sammler (158), der die Rohre mit kleinem

Durchmesser mit dem Rohr (160) mit großem Durchmesser verbindet.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

20

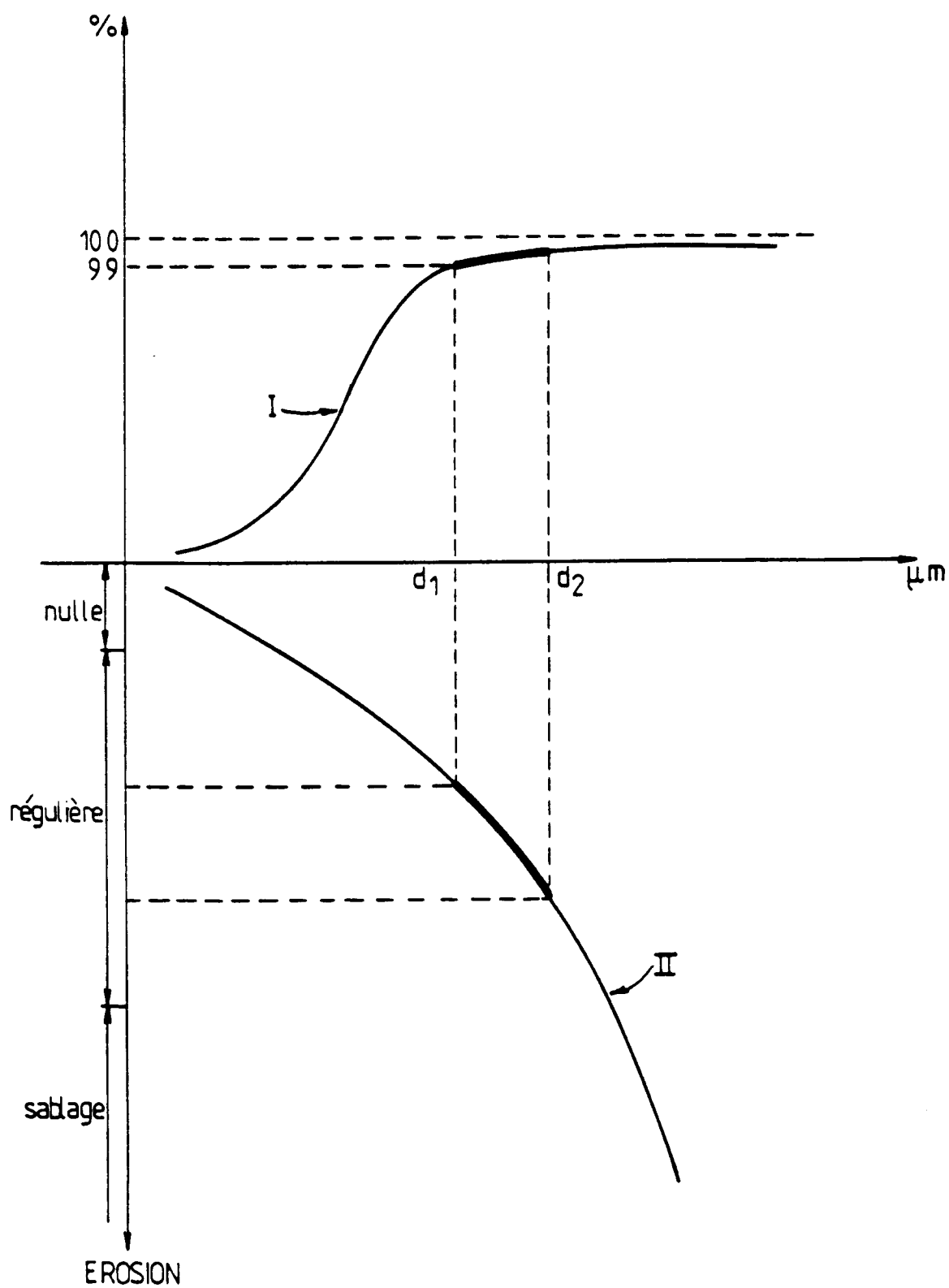


FIG.1

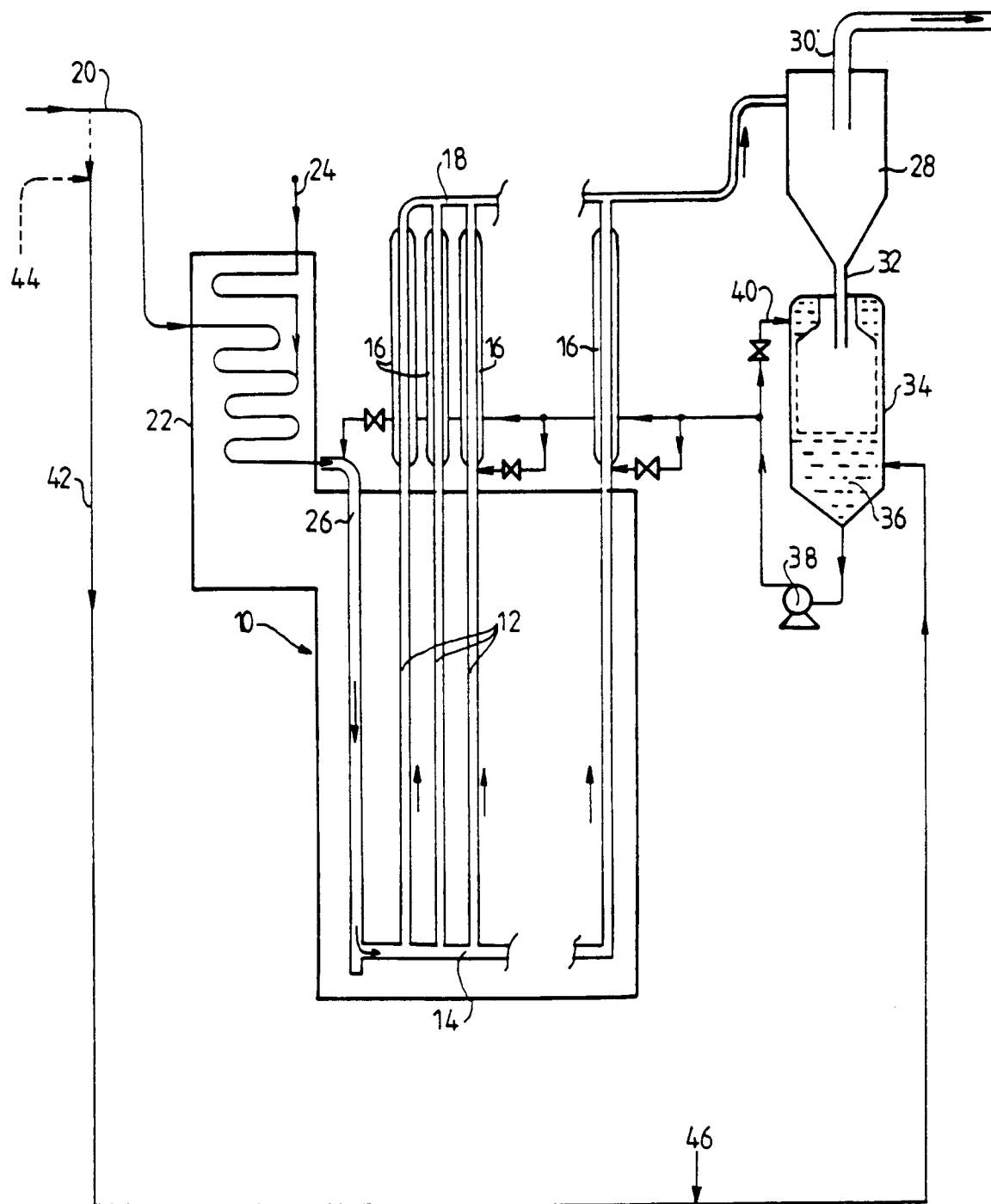


FIG. 2

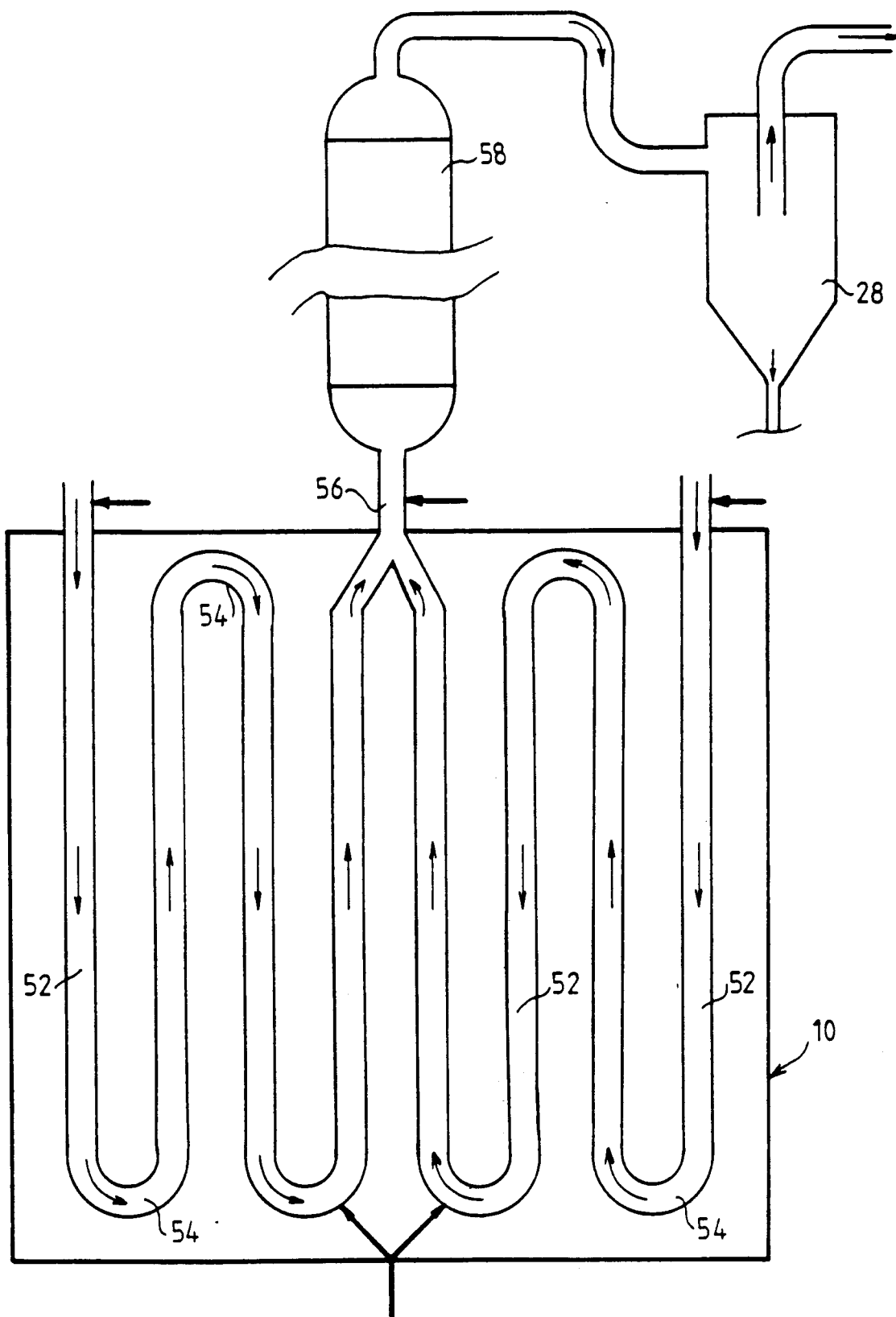


FIG. 3

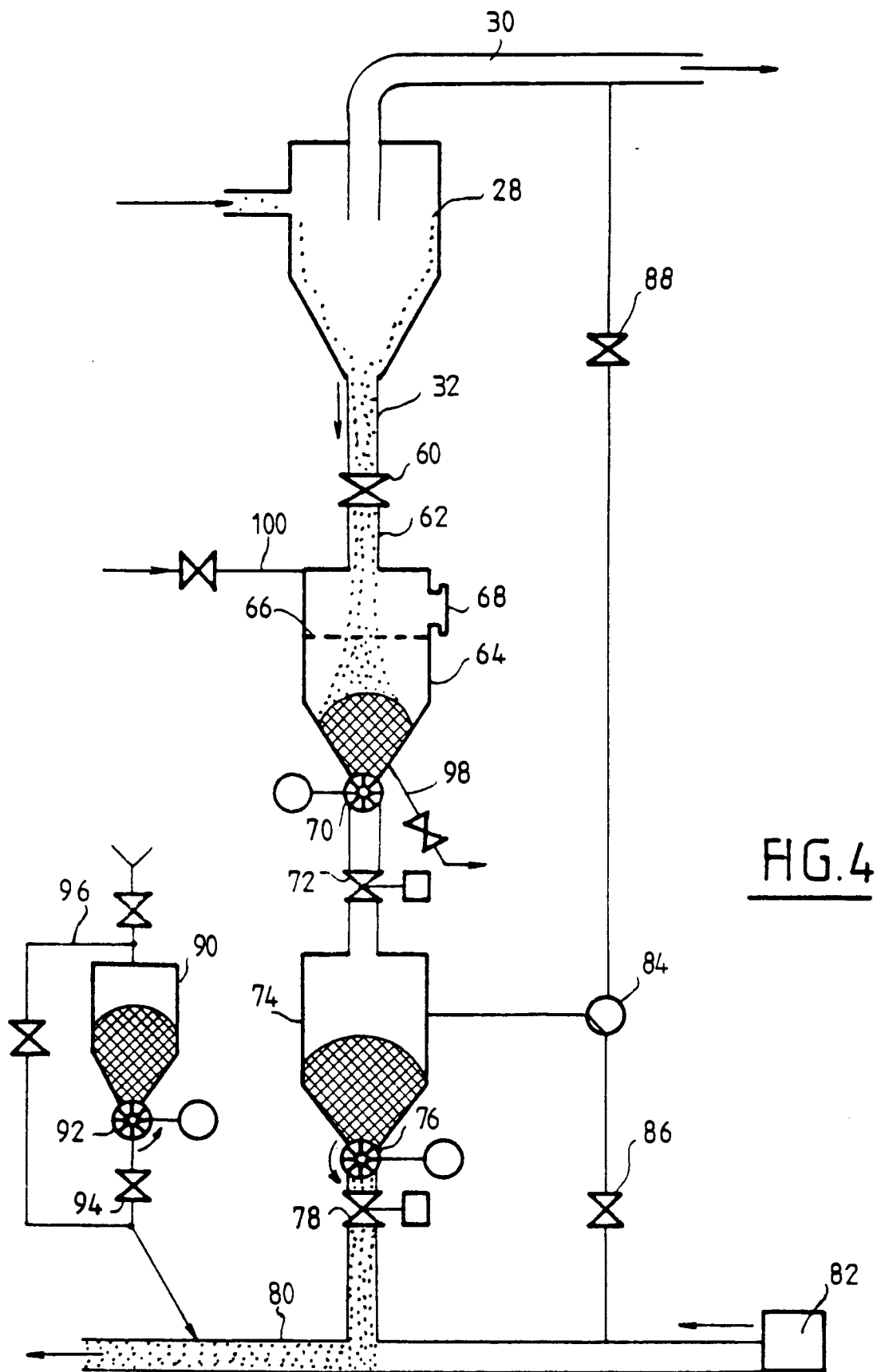
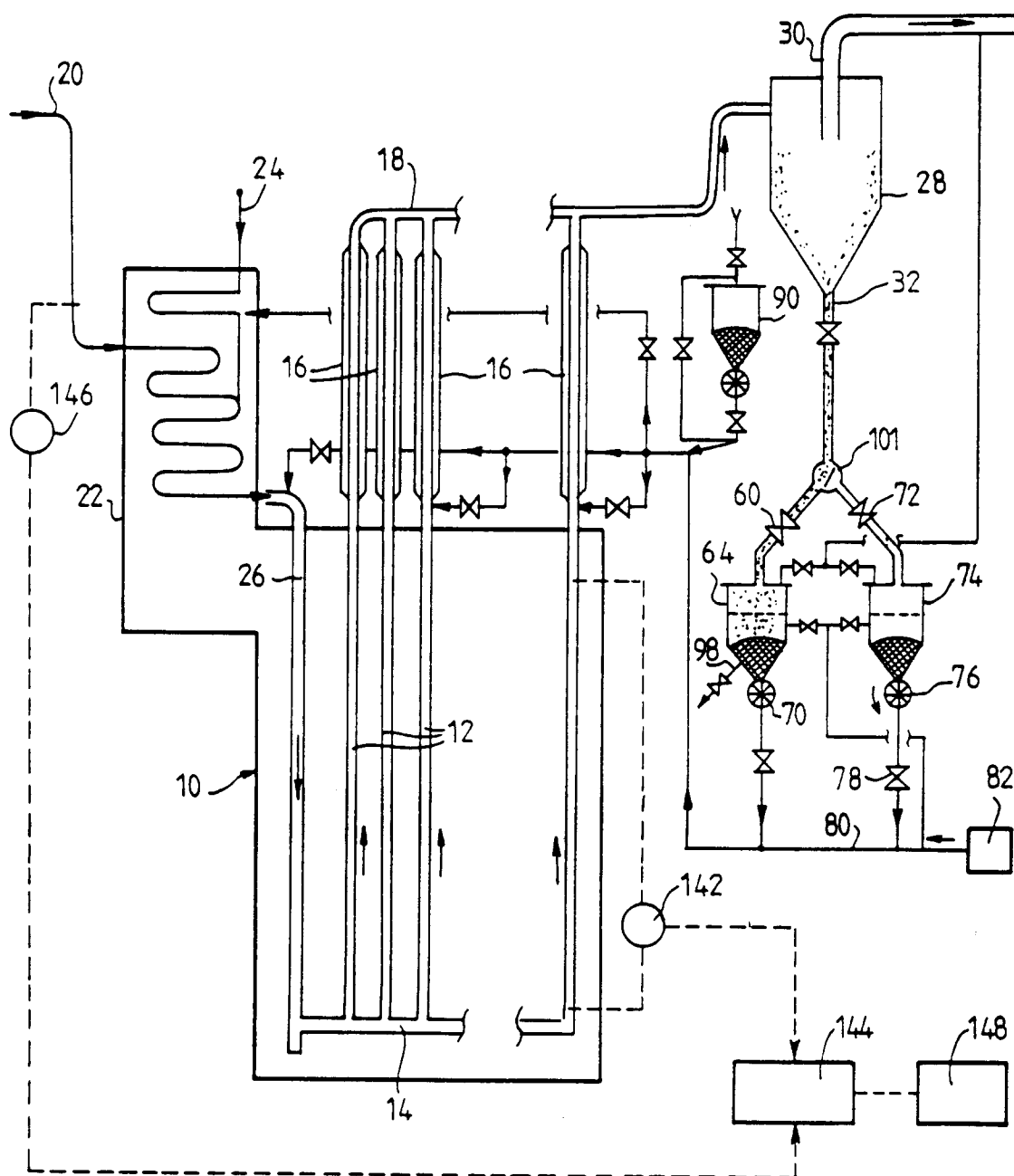


FIG. 5

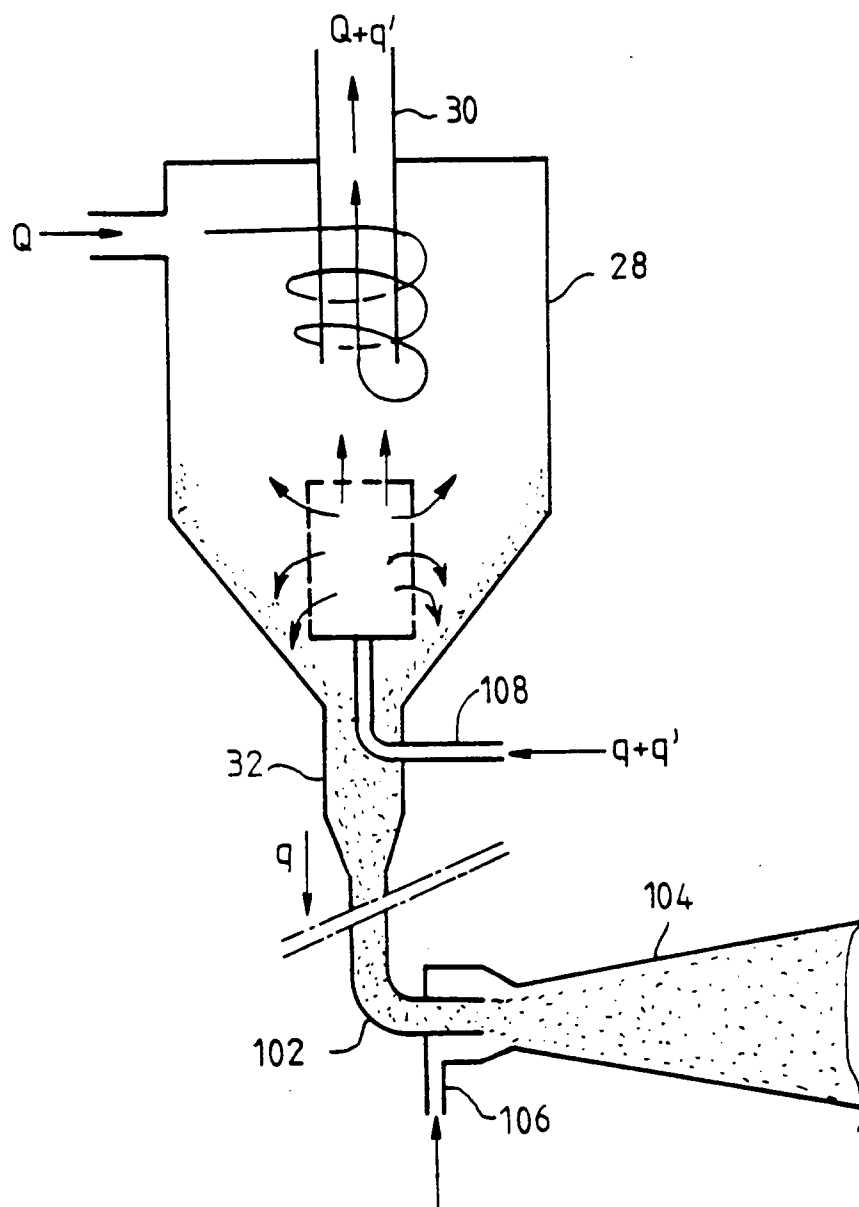


FIG. 6

FIG. 7

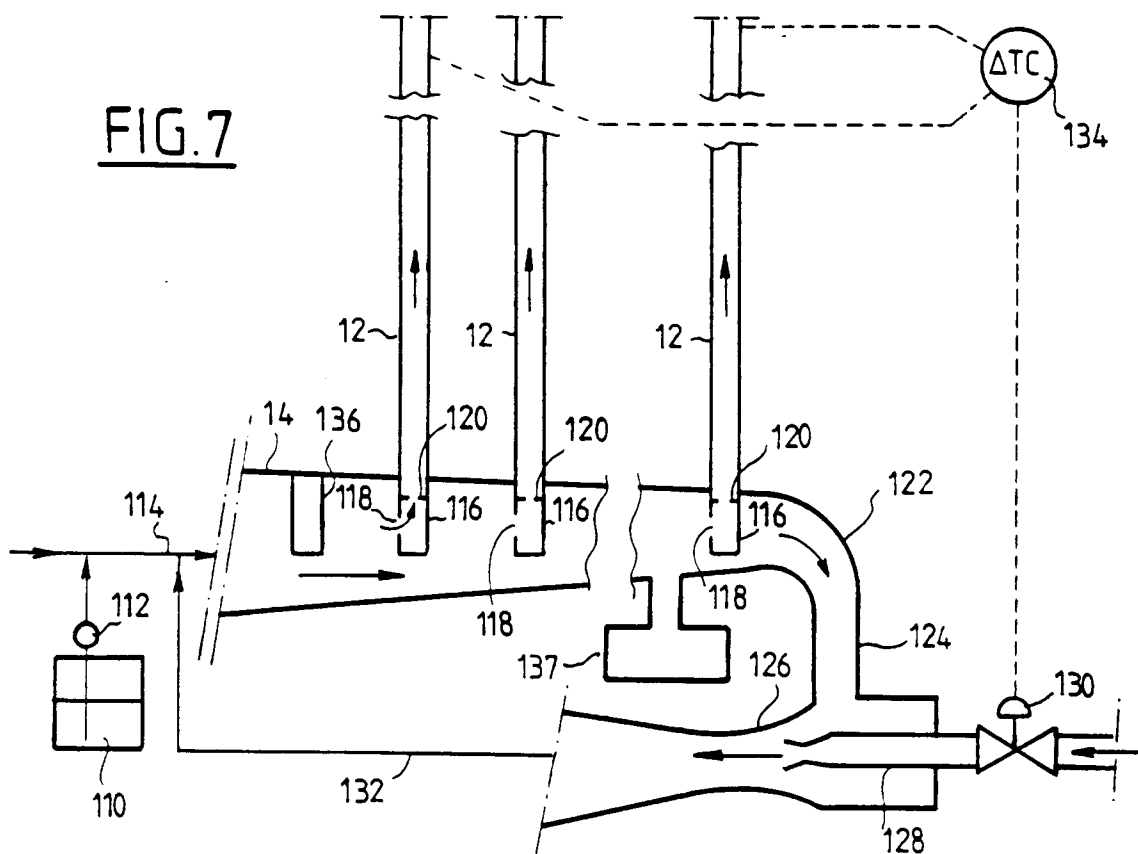


FIG.8

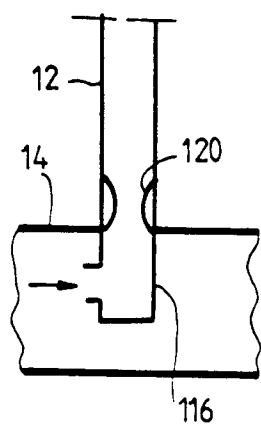


FIG.9

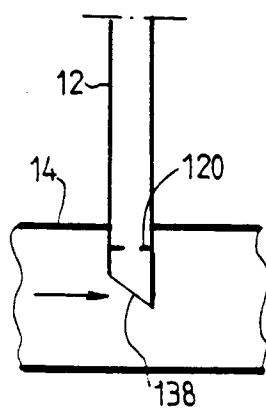


FIG. 10

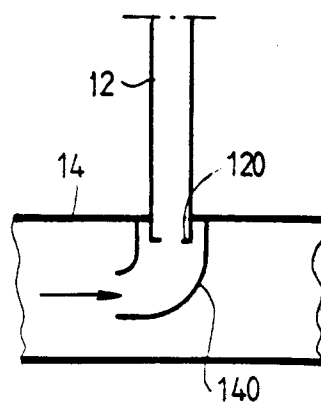


FIG. 11

