

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

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

**2 465 778**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 79 23224**

(44) Procédé perfectionné de transformation thermique d'un combustible solide broyé.

(51) Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). C 10 J 3/58.

(22) Date de dépôt ..... 18 septembre 1979.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 13 du 27-3-1981.

(71) Déposant : GOSUDARSTVENNY NAUCHNO-ISSLEDOVATELSKY ENERGETICHESKY INSTITUT  
IMENI G.M. KRZHIZHANOVSKOGO, résidant en URSS.

(72) Invention de : Chukhanov Zinovy Fedorovich, Chukhanov Zinovy Zinovievich, Tsuprov Sergei  
Andreevich, Samsonov Vladimir Ivanovich et Karasev Vadim Alexeevich.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Lavoix,  
2, place d'Estienne-d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

## 1.

La présente invention concerne le domaine de la transformation complexe des combustibles pour la production d'énergie et les besoins des fabrications, et notamment les procédés de transformation thermique des combustibles solides broyés.

L'invention trouvera des applications étendues dans la production de combustibles transportables, d'énergie électrique, ainsi que de matières premières chimiques et techniques.

On connaît un procédé de transformation thermique d'un combustible solide, dans lequel le caloporteur employé pour chauffer le combustible est constitué par des billes de corindon de 10 à 12 mm de diamètre, réchauffées dans la première chambre d'un réacteur à deux chambres par des gaz de foyer. Dans la seconde chambre, dans laquelle le caloporteur solide chaud arrive en continu par le haut, le combustible solide broyé, montant en mélange avec un gaz et de la vapeur à travers un lit dense de caloporteur, subit un séchage complémentaire, cokéfié et partiellement gazifié. Les produits marchands obtenus sont un petit coke, un goudron et un gaz (Perepelitsa A.L. et autres, "Emploi d'un caloporteur solide dans le système de cokéfaction continue des houilles du bassin d'Irkoutsk").

On connaît un procédé de transformation thermique d'un combustible solide broyé, dans lequel on admet de bas en haut un courant de combustible en suspension dans un gaz, ce combustible étant chauffé par un contre-courant de particules de caloporteur (sable, grenaille, etc.) plus grosses et chauffées, tombant en chute libre et ne se mélangant pas au combustible. Simultanément avec le combustible solide, on admet dans le réacteur de la vapeur d'eau et, simultanément avec la pyrolyse, il se produit une gazéification du charbon. Dans ce procédé le caloporteur est réchauffé par des fumées ne se mélangant pas aux produits de la pyrolyse et de la gazéification (certif. d'auteur de l'URSS № 82 492).

Le procédé indiqué est caractérisé par la dilution des produits de la pyrolyse par de la vapeur et du gaz à l'eau, ce qui complique l'épuration et l'utilisation des

## 2.

produits de la pyrolyse, ainsi que la conception des appareils.

On connaît un procédé de pyrolyse d'un combustible solide constitué par du charbon broyé, comprenant le séchage du charbon, son chauffage jusqu'à une température de 5 500°C dans une première zone de pyrolyse par la chaleur de fumée, avec obtention de petit coke et de produits de pyrolyse, l'admission du petit coke dans une seconde zone de pyrolyse et son chauffage jusqu'à une température de 1000°C 10 par un caloporeur gazeux, avec extraction des produits de pyrolyse résiduels et du petit coke, suivie de leur séparation et de leur évacuation sous forme de produits marchands (certif. d'auteur de l'URSS N° 335 267).

Ce procédé est caractérisé en ce que le résidu 15 solide comportant du petit coke et des cendres, obtenu à l'issue de la pyrolyse et de la gazéification, est d'ordinaire utilisé dans les foyers d'installations industrielles de production d'énergie, ce qui complique la marche de ces installations (chaudières), par suite de la formation de 20 dépôts de scories et de la pollution de l'environnement par les émissions nuisibles d'oxydes de soufre et d'azote, ainsi que de particules de centre. Le rendement du procédé en produits organiques de valeur est bas et ces produits sont chargés d'impuretés ballast.

On s'est proposé de créer un procédé de transformation thermique d'un combustible solide broyé qui, grâce au changement des opérations de traitement, serait d'une intensité bien plus forte, tout en assurant une augmentation du rendement et de la qualité des produits à obtenir, ainsi 30 d'un abaissement de la pollution de l'environnement par les émissions nuisibles, et supprimerait l'encrassement des chaudières par les dépôts de scories dans les tranches des installations industrielles de production d'énergie.

La solution consiste en un procédé de transformation thermique d'un combustible solide broyé, comprenant 35 le séchage dudit combustible et sa pyrolyse en deux étages, suivie de la séparation des produits sous forme de gaz et de vapeurs et du petit coke obtenus, caractérisé en ce qu'au moins une partie dudit petit coke est soumise à un

## 3.

chauffage supplémentaire jusqu'à une température de 800 à 1500°C par les fumées et/ou par combustion partielle du petit coke, puis séparée des fumées qui sont ensuite amenées au premier étage de pyrolyse et au séchage du combustible à 5 transformer, et en ce que le petit coke chauffé est gazifié par de la vapeur d'eau, les produits de la gazéification étant ensuite séparés du petit coke qui est ensuite admis comme caloporteur au premier étage de pyrolyse.

Le procédé faisant l'objet de l'invention est très 10 efficace : son rendement énergétique est élevé (jusqu'à 84 à 88%), le combustible étant utilisé d'une manière complexe, en tant que matière première chimique, technique et énergétique. En outre, le procédé proposé permet d'exploiter rationnellement le potentiel de température du caloporteur, 15 en accroissant ainsi l'efficacité du processus. L'utilisation, pour la pyrolyse, d'un caloporteur solide tel que le petit coke, refroidi lors de la gazéification, rend possible la réalisation de la pyrolyse à un régime de température plus doux, c'est-à-dire avec une différence de température 20 abaissée entre le caloporteur et le pyrolyseur de premier étage, ce qui permet d'accroître le rendement de la pyrolyse à grande vitesse en produits liquides de valeur la plus élevée.

Etant donné que le petit coke va à la gazéification 25 en excès, par rapport à la quantité conditionnée par le bilan thermique du réacteur de gaz à l'eau, le taux de décomposition de la vapeur d'eau est élevé et le rendement de la production de gaz à l'eau augmente.

Il est avantageux, pour intensifier le processus 30 et améliorer la qualité des produits de la pyrolyse, de transformer un combustible de granulométrie ne dépassant pas 1,5 mm. Il est souhaitable, pour la régulation automatique du rendement en gaz à l'eau, la suppression des excès de consommation et de l'accumulation du petit coke 35 dans l'installation, de réaliser la gazéification avec régulation de l'admission de vapeur d'eau.

Le procédé suivant l'invention est réalisé comme décrit plus bas et expliqué par un dessin représentant le schéma de réalisation du processus de transformation.

## 4.

D'après le dessin, le combustible solide broyé, d'une granulométrie ne dépassant pas 1,5 mm, est débité par une trémie 1 dans un broyeur à marteaux 2, dans lequel on admet pour le séchage du charbon, à travers une tubulure 3, 5 un agent de séchage constitué par des gaz, autant que possible sans oxygène. Une conduite 4 transmet le charbon en suspension dans les gaz à un cyclone 5, dans lequel le combustible sec à transformer est séparé. L'agent de séchage dé poussiér é et mélangé à l'eau du combustible est insufflé 10 par un ventilateur 6 dans le foyer d'une chaudière 7 d'une installation industrielle de production d'énergie.

Le combustible sec à transformer passe à travers une trémie intermédiaire d'isolation 8, à niveau réglable du pulvérisé, et entre dans le pyrolyseur 9 du premier 15 étage dans lequel on admet également, au moyen d'une conduite 10, un calopore mixte (solide+gaz), qui chauffe le combustible à transformer jusqu'à une température de 500 à 800°C. Les produits de la pyrolyse, conjointement avec une petite partie de petit coke pulvérulent entraîné, 20 sont transmis à un cyclone 11, qui sépare le petit coke.

Le petit coke séparé est transmis à des trémies intermédiaires 12, 13, puis utilisé comme calopore pour la pyrolyse, ou bien comme combustible marchand transportable.

Le mélange gaz-vapeurs sortant du cyclone 11 est 25 transmis par une conduite 14 à un système d'épuration et de condensation, à la sortie duquel on obtient des produits liquides marchands de valeur et un gaz.

Le petit coke soutiré du pyrolyseur 9 est transmis au pyrolyseur du second étage 15, dans lequel il est chauffé jusqu'à une température de 600 à 1100°C par un brûleur à gaz 16, alimenté en gaz et en air par des entrées 17. Le gaz sortant du pyrolyseur 15 du second étage et de la trémie 13 par des tubulures est évacué par des conduites de gaz 18, 19.

35 Le petit coke chaud sortant du pyrolyseur 15 du second étage est introduit dans le foyer 20 du système, qui est raccordé à un cyclone 21. Il est aussi possible de ne transmettre qu'une partie du petit coke chaud du pyrolyseur 15 du second étage au foyer 20 du système, le reste du

## 5.

petit coke étant soutiré du système sous forme de produit marchand, par la trémie 13. A travers un brûleur 22, alimenté en gaz et en air par des entrées 17, on admet au foyer 20 la principale (seconde) partie du caloporeur ga- 5 zeux, qui chauffe et véhicule le petit coke qui constitue le caloporeur solide, dans le foyer 20 du système et le transmet au cyclone 21.

Le petit coke, séparé à une température de 800 à 1500°C dans le cyclone 21, est transmis au réacteur 24 de 10 gaz à l'eau à travers une trémie intermédiaire 23. Dans le réacteur 24, la partie prescrite de petit coke est gazéifiée par admission de vapeur d'eau d'échappement, amenée par une conduite 25 et passant à travers une grille 26. Cette admission s'effectue à l'aide d'un régulateur 27 au 15 moyen d'un système universellement connu, tenant compte de la qualité du combustible et décrit, par exemple, dans l'ouvrage "Contrôle du combustible dans les centrales électriques" de A.A.Avdeev, B.S.Beloselsky, M.N.Krasnov, éditions "Energia", Moscou 1973.

20 La vapeur d'eau admise dans le réacteur 24 de gaz à l'eau se transforme en gaz à l'eau de haute qualité, qui est une matière première chimique et un combustible de valeur. Le petit coke en suspension dans le gaz à l'eau et sortant du réacteur 24 de gaz à l'eau est transmis à un 25 cyclone 28, dans lequel il est séparé du gaz à l'eau. Ce petit coke passe ensuite à travers une trémie 29 et est injecté comme caloporeur dans la conduite 10 où il se mélange à la première partie du gaz sortant du cyclone 21. Le reste (selon le bilan) du gaz sortant du cyclone est 30 admis en tant que partie de l'agent de séchage introduit à travers la tubulure 3 pour le séchage du combustible solide à transformer.

Ce mélange, dit "mélange mixte", est introduit dans le pyrolyseur 9 du premier étage, ce qui boucle tout 35 le cycle. Le petit coke et les fumées peuvent être introduits séparément dans le pyrolyseur 9 du premier étage.

Le gaz à l'eau (principalement de l'hydrogène et des oxydes de carbone) sortant du cyclone 28 est transmis à l'épuration par une conduite 30, puis il va à l'utilisa-

## 6.

tion, par exemple dans une tranche de production d'énergie d'une installation industrielle, une turbine à gaz ou un réacteur chimique pour la production d'hydrogène, d'un gaz de synthèse, de méthanol ou d'autres produits.

5 Le procédé suivant l'invention permet de produire un gaz à l'eau très bon marché, car l'excès de petit coke dans le réacteur 24 de gaz à l'eau permet d'assurer un fort taux (jusqu'à 80 à 95 %) de décomposition de la vapeur d'eau et un grand rendement énergétique, ainsi que de sim-  
10 plifier tout le système. La régulation automatique de la quantité produite de gaz à l'eau à la valeur prescrite, de la température du processus et du débit de caloporteur, c'est-à-dire de petit coke, en circulation, s'effectue par variation de la quantité de petit coke soutirée au proces-  
15 sus à travers la trémie intermédiaire 13, par la conduite 31, et de l'admission de vapeur au réacteur 24 de gaz à l'eau, compte tenu des variations éventuelles de la qualité du combustible et du régime de marche de la tranche de production d'énergie.

20 Un point très important, caractérisant le nouveau procédé, réside dans le fait que les gaz parvenant au foyer de la chaudière de l'installation produisant de l'énergie sont complètement dépoussiérés et débarrassés du soufre et des rejets solides de combustible mises à part les parti-  
25 culs entraînées de combustible solide broyé, ce qui transforme les chaudières en chaudières à gaz et supprime pratiquement la formation de dépôts de scories sur les surfaces de chauffe. Le procédé donne d'excellentes performances économiques pour la tourbe, y compris la tourbe de forte  
30 humidité. L'encombrement des chaudières diminue fortement.

Le régime de température de la pyrolyse et de la gazéification se règle aussi par variation de la quantité et de la température du caloporteur gazeux produit par les brûleurs à gaz 21,16.

35 Etant donné que le foyer de la chaudière 7 de l'installation industrielle de production d'énergie reçoit les gaz en mélange avec l'agent de séchage fortement chargé de vapeur d'eau à l'issue du séchage du combustible à transformer, la température de combustion s'abaisse et le taux

7.

d'oxydes d'azote nuisibles dans les fumées de la tranche de production d'énergie diminue fortement, tant par suite de l'abaissement de la quantité d'oxydes externes (dus à la combustion de l'azote dans le foyer) que par suite de l'abaissement de la quantité d'oxydes internes (formés à partir de l'azote du combustible) résultant de la transformation des combustibles mentionnés dans l'installation industrielle de production d'énergie. Ceci permet non seulement d'assurer une utilisation complexe poussée du combustible à transformer dans une installation industrielle de production d'énergie, mais aussi de supprimer presque complètement la pollution de l'environnement par les émissions de l'installation industrielle de production d'énergie, tant en ce qui concerne les constituants gazeux (oxyde de soufre et d'azote) qu'en ce qui concerne les constituants solides (particules de cendre) rejetés à l'atmosphère.

Le procédé faisant l'objet de l'invention permet aussi d'utiliser les combustibles énergétiques liquides de basse qualité, en les injectant dans le foyer du système ou dans le réacteur de gaz à l'eau, selon l'usage du gaz à l'eau produit.

On donne ci-après des exemples concrets de réalisation du procédé faisant l'objet de l'invention.

#### Exemple 1

On considère le fonctionnement d'une installation industrielle de production d'énergie avec transformation thermique d'un charbon. La puissance d'une unité de l'installation est de 500 t de charbon brut à l'heure.

Le charbon brut (de travail) à transformer thermiquement à un pouvoir calorifique de 3560 kcal et contient 35% en poids d'eau, 6,5% en poids de cendres et 48% en poids de substances volatiles. Le charbon est débité par la trémie (1) dans le broyeur-séchoir 2 dans lequel on introduit pour chaque 100 kg de charbon, à travers la tubulure 3, 95 kg de gaz qui constitue l'agent de séchage, chaud ( $1050^{\circ}\text{C}$ ) ne contenant pas d'oxygène libre. Le charbon est séché et broyé jusqu'à l'état pulvérulent (refus sur tamis de 100 microns à 20% en poids). Le charbon sec, à une température de  $200^{\circ}\text{C}$ , est séparé par le cyclone 5 du gaz con-

## 8.

tenant 35 kg de vapeur d'eau du charbon, 95 kg d'agent de séchage et 0,3 kg de charbon pulvérisé.

Une quantité de charbon sec de 65 kg passe à travers la trémie intermédiaire 8 et entre dans le pyrolyseur 9 du premier étage où il est chauffé jusqu'à une température de 700°C par le caloporeur mixte (petit coke + gaz) provenant des cyclones 21, 28, du foyer 20 du système et du réacteur 24 de gaz à l'eau respectivement. On introduit dans le pyrolyseur 9 du premier étage 156 kg de petit coke à une température de 850°C et 32,5 kg de caloporeur gazeux. L'achèvement de la pyrolyse du charbon s'effectue à 780°C dans le pyrolyseur 15 de second étage.

Dans le pyrolyseur, à partir des 65,0 kg de charbon sec on obtient : 29,8 kg de mélange vapeurs-gaz et 35,2 kg de petit coke. Le petit coke est séparé du mélange vapeurs-gaz qui est dirigé vers l'épuration et le système de condensation. A l'issue de la pyrolyse du charbon on obtient, outre le petit coke : 18,3 kg de gaz de pyrolyse, 8 kg de goudron, 0,5 kg d'essence de gaz et 3 kg d'eau de pyrolyse.

Le gaz de pyrolyse a un pouvoir calorifique de 4850 kcal/m<sup>3</sup> et sa composition volumique est : CO<sub>2</sub> = 22%, CO = 27%, H<sub>2</sub> = 20%, CH<sub>4</sub> = 21%, autres hydrocarbures = 10%. 81 200 kcal sont transmises au gaz de pyrolyse et 67 800 kcal, au goudron et à l'essence de gaz. 63 % de la chaleur potentielle du charbon ou 58% de la chaleur fournie à l'installation passent au petit coke (35,2 kg) se formant lors de la pyrolyse du charbon. Le chauffage supplémentaire du petit coke dans le pyrolyseur 15 du second étage s'effectue grâce à la combustion de 1,5 kg de gaz et de 2,2 kg de petit coke. La quantité de petit coke marchand obtenue est de 14,4 kg (12 kg de carbone). Outre les 156 kg de petit coke qui constitue le caloporeur, introduits dans le pyrolyseur et circulant dans l'installation, on fait brûler dans le foyer du système 8,3 kg de petit coke et l'on chauffe jusqu'à 800°C 6,7 kg de petit coke nouvellement formé à partir du charbon.

Le petit coke chauffé dans le foyer 20 du système est séparé du caloporeur gazeux et introduit dans le

## 9.

réacteur 24 de gaz à l'eau, où, à partir de la vapeur d'eau (18 kg) et de l'excès de petit coke pulvérulent égal à 162kg (156 + 6), on obtient 24 kg de gaz à l'eau (à l'issue de la réaction  $H_2O + C$ ). Dans le cyclone 28, le gaz à l'eau est 5 séparé du petit coke, puis, après refroidissement il va à l'épuration et à l'utilisation dans l'unité de production d'énergie, en tant que produit marchand pour la production d'hydrogène ou de gaz réducteur, ou bien pour la synthèse d'un gaz.

10 Le gaz caloporteur (semi-gaz) est obtenu dans le foyer 20 du système, dans lequel le brûleur 22 injecte 43kg d'air pour la combustion du gaz et du petit coke. Après séparation du caloporteur solide dans le cyclone 21, le semi-gaz est utilisé en tant que caloporteur gazeux. En 15 fonction de la régulation du débit de gaz à l'eau, une partie du semi-gaz (19kg) est admise au broyeur à marteaux 2 à travers la tubulure 3 en tant qu'agent de séchage. La quantité totale d'agent de séchage admise dans le foyer de la chaudière 7 est de 95 kg (19 kg de semi-gaz et 76 kg 20 de fumées de la chaudière).

En tout, à partir de 100 kg de charbon, 18 kg de vapeur, 76 kg d'agent de séchage et 43 kg d'air, on obtient 8,5 kg de goudron et d'essence de gaz, 18,3 kg de gaz de pyrolyse, 24 kg de gaz à l'eau, 52 kg de semi-gaz, 25 14,4 kg de petit coke, 3 kg d'eau de pyrolyse, 35 kg d'eau provenant du charbon, 95 kg d'agent de séchage (dont 19kg des 52 kg de semi-gaz) et 4,1 kg de scories avec des cendres.

Exemple 2

Cet exemple illustre une variante du procédé dans 30 le cas où la production de petit coke marchand est indésirable par suite de sa teneur accrue en cendres, en soufre, et pour d'autres raisons. Pour opérer de cette façon, comparativement à l'exemple 1 on augmente de deux fois l'admission de vapeur d'eau dans le réacteur 24 de gaz à l'eau, et 35 l'on cesse le soutirage de coke sous forme de produit marchand à travers la sortie 31. Le chauffage du petit coke dans le foyer 20 du système s'effectue jusqu'à une température de 1500°C. Pour 100 kg de charbon on introduit 36 kg de vapeur, 76 kg d'agent de séchage et 82 kg d'air. A

**2465778**

10.

l'issue de la transformation dans l'installation on obtient:  
8,5 kg de goudron et d'essence de gaz, 18,3 kg de gaz de  
pyrolyse, 48 kg de gaz à l'eau, 95 kg d'agent de séchage,  
3 kg d'eau pyrolyse, 35 kg d'eau provenant du charbon et  
5 6,5 kg de scories et de cendres. Cet exemple est écologique-  
ment plus efficace. Pour les combustibles à forte teneur  
en cendres, ce régime est le seul possible.

11.

REVENDICATIONS

1.- Procédé de transformation thermique d'un combustible solide broyé comprenant le séchage dudit combustible et sa pyrolyse en deux étages, suivie de la séparation des produits sous forme de gaz et de vapeurs et du petit coke obtenus, caractérisé en ce qu'au moins une partie dudit petit coke est soumise à un chauffage supplémentaire jusqu'à une température de 800 à 1500°C par les fumées et/ou par combustion partielle du petit coke, puis séparée des fumées qui sont ensuite amenées au premier étage de pyrolyse et au séchage du combustible à transformer, et en ce que le petit coke chauffé est gazéifiée par de la vapeur d'eau, après quoi les produits de la gazéification sont séparés du petit coke, qui est ensuite admis comme caloporteur au premier étage de pyrolyse.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on transforme un combustible solide broyé de granulométrie ne dépassant pas 1,5 mm.

3.- Procédé selon les revendications 1, 2, caractérisé en ce que la gazéification s'effectue avec régulation de l'admission de vapeur d'eau.

