



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer :

**0 010 792
B1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift :
28.04.82

(51) Int. Cl.³ : **C 10 J 3/02, C 10 L 5/38**

(21) Anmeldenummer : **79200567.0**

(22) Anmeldetag : **08.10.79**

(54) Verfahren zum Vergasen feinkörniger Brennstoffe.

(30) Priorität : **02.11.78 DE 2847416**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung :
14.05.80 (Patentblatt 80/10)

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung : **28.04.82 Patentblatt 82/17**

(84) Benannte Vertragsstaaten :
BE DE FR GB NL

(56) Entgegenhaltungen :

CH - A - 101 977
DE - A - 1 186 825
DE - A - 2 256 383
DE - A - 2 540 165
DE - B - 1 771 433
DE - B - 2 629 182
FR - A - 417 929
FR - A - 1 445 980
GB - A - 128 273
GB - A - 1 435 089
GB - A - 2 016 038
CATAL. REV. SCI. ENG. Vol. 14, Nr. 1, 1976
New York, US
JOHNSON : « The use of catalysts in coal gasification », Seiten 131-152

(73) Patentinhaber : **METALLGESELLSCHAFT AG**
Reuterweg 14 Postfach 3724
D-6000 Frankfurt/M.1 (DE)

(72) Erfinder : **Baron, Gerhard, Dr.-Ing.**
Nachtigallenweg 1
D-6238 Hofheim (DE)
Erfinder : **Sauter, Dieter, Dr.-phil.**
Am Jungfernborn 25
D-6369 Nidderau 5 (DE)
Erfinder : **Hafke, Carl, Dr.-Ing**
Waldecker Strasse 19
D-6000 Frankfurt/Main (DE)
Erfinder : **Sindel, Wolfgang**
Homburger Landstrasse 767
D-6000 Frankfurt/Main (DE)

(74) Vertreter : **Fischer, Ernst, Dr.**
Reuterweg 14
D-6000 Frankfurt am Main 1 (DE)

EP 0 010 792 B1

Anmerkung : Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Verfahren zum Vergasen feinkörniger Brennstoffe

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vergasen fester, backender Brennstoffe unter einem Druck zwischen 5 und 150 bar mit freien Sauerstoff, Wasserdampf und/oder Kohlendioxid enthaltenden Vergasungsmitteln im Festbett, das sich langsam nach unten bewegt, dem die Vergasungsmittel von unten zugeführt und unter dem die unverbrennlichen mineralischen Bestandteile des Brennstoffs als feste Asche oder flüssige Schlacke abgezogen werden, wobei feinkörnige, backende Brennstoffe mit einer Flüssigkeit zu weitgehend kugelförmigen Pellets mit einem Durchmesser von 5 bis 50 mm geformt und als Vergasungsbrennstoffe verwendet werden.

Die Vergasung körniger Kohle ist bekannt und z.B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 4. Auflage (1977) Band 14, Seiten 383 bis 386, dargestellt. Einzelheiten des Vergasungsverfahrens mit festbleibender Asche sind US 3 540 867 und 3 854 895 sowie DE 22 01 278 zu entnehmen. Die Verfahrensvariante mit Abzug flüssiger Schlacke ist in GB 1 507 905, 1 508 671 und 1 512 677 erläutert. Bei diesen bekannten Verfahren wird körniger Brennstoff mit einer Korngröße etwa im Bereich von 3 bis 60 mm in die Vergasung gegeben.

Aus US-A-3 692 505 und DE-A-25 40 165 kennt man die Vergasung von Pellets, die vor allem Feinkohle enthalten. In FR-A-1445 980 wird die Herstellung von Formkoks aus Kohlepellets beschrieben. Zum Verhindern des Zusammenbackens kann man diese Pellets vor der Verkokung mit Koksmehl überpudern.

Aufgabe der Erfindung ist es, die eingangs genannten Pellets so auszubilden, daß sie in der Vergasung eine ausreichende Formstabilität besitzen, ohne aber den Angriff der Vergasungsmittel störend zu behindern. Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß die aus feinkörnigem Brennstoff mit einer Korngröße unter 7 mm geformten Pellets vor der Vergasung mit einer geschlossenen, 0,2 bis 2 mm starken Hüllschicht aus feinkörnigem, nicht backendem Material, nämlich Zement, Fremd- oder Eigenasche, Dolomit, Bentonit, Kalk, Montmorillonit oder Zeolithen versehen werden. Die Hüllmaterialien sind also alle mineralischer Natur. Der feinkörnige Brennstoff kann bei der Gewinnung des Brennstoffs entstanden oder auch durch Zerkleinerung hergestellt sein. Bevorzugt verwendet man für die Pelletierung einen feinkörnigen Brennstoff mit einer Korngröße von etwa 0,01 bis 5 mm. Durch die Pelletierung kann nun auch staubförmiger Brennstoff für die Druckvergasung im Festbett verwendet werden, und zwar allein oder zusammen mit körniger Kohle einer Korngröße oberhalb von 3 mm bis etwa 60 mm. Vorzugsweise machen die Pellets den überwiegenden Teil des der Vergasung aufgegebenen Brennstoffs aus.

Gibt man körnige, backende Kohle in die Festbettvergasung, so entsteht im oberen Teil des Festbettes bei Erreichen der Erweichungstempe-

ratur der Kohle eine wenig gasdurchlässige Zone, da die Kohlekörner zerfließen oder zumindest teigig werden. Durch Rührarme versuchte man bisher, diese Kohleschicht in der Festbettvergasung aufzulockern und damit gasdurchlässig zu machen.

Es hat auch nicht an Bestrebungen gefehlt, der Kohle die Backeigenschaften zu nehmen, etwa dadurch, daß man sie oxidativ bei Temperaturen von etwa 200 bis 350 °C vorbehandelte. Man strebte dabei an, das gesamte Kohlekorn u.a. auch durch Porendiffusion von Sauerstoff in der gewünschten Weise zu beeinflussen. Diesen Bemühungen war ein gewisser Erfolg beschieden, doch waren zu lange Behandlungszeiten für die Oxidation der Kohle nötig. Ein Vergasungsbetrieb mit hohen Durchsatzleistungen war deshalb wirtschaftlich nicht möglich, da ein zu großer Aufwand nötig war.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren werden Schwierigkeiten dieser Art beseitigt. Die Hüllschicht um die Pellets sorgt nun dafür, daß die Pellets im oberen Teil des Festbettes, wo relativ niedrige Temperaturen herrschen, eine ausreichend stabile Form behalten. Gleichzeitig ist die Hüllschicht gasdurchlässig und läßt flüchtige Bestandteile aus dem Pelletinneren entweichen. Steigen die Temperaturen weiter, so bleibt die Hüllschicht weitgehend erhalten, wobei leichte Risse nicht nachteilig sind, wenn der Brennstoff plastisch wird und nur in eine hochviskose Masse übergeht. Bei stärkerer Erweichung ist die Hüllschicht entsprechend zu verstärken oder der Kohle können vor dem Pelletieren katalytisch wirksame Substanzen zugegeben werden, die das Back- und Blähvermögen der Kohle herabsetzen. Nach Durchlaufen der Backzone reißt die Pelletshülle durch die starke Entgasung der Kohlesubstanz weiter auf, so daß der nun entstandene Kohlekoks in seiner gesamten Oberfläche einschließlich der Makro- und Mikrostruktur den Vergasungsreaktionen ausgesetzt ist. Ein wichtiges Ergebnis ist es auch, daß das Produktgas der Vergasung wesentlich weniger teerige Bestandteile enthält, als dies bei der bisher bekannten Vergasung von backenden Kohlen unter erhöhtem Druck möglich war.

Die Pelletes können auf bekannte Weise hergestellt werden, so z.B. im geneigten Drehteller oder auch im Drehrohr. Mit diesen Vorrichtungen lassen sich die Pellets auch mit der gewünschten Hüllschicht versehen. Die Pellets können einen Durchmesser von 10 bis 30 mm und vorzugsweise von 8 bis 15 mm aufweisen.

Zum Formen der Pellets kann man verschiedenartige Flüssigkeiten verwenden. Geeignet sind z.B. Wasser, Sulfitablauge, Wasserglas, Melasse, Stärkelösungen, Gaswasser aus der Vergasung oder Verkokung fester Brennstoffe, oder auch Kalkmilch. Der Pelletierflüssigkeit oder auch dem feinkörnigen, zu pelletierenden

festen Brennstoff kann man katalytisch wirksame Substanzen zur Erhöhung der Reaktionsfähigkeit zusetzen. Solche Substanzen sind insbesondere NaCl, KCl, NaCO₃, K₂CO₃, Oxide oder Sulfide von Molybdän, Wolfram, Zinn, Chrom, Nickel, Kobalt oder Eisen oder feingemahlene dünnsschichtige Zeolithe. Diese katalytisch wirksamen Substanzen sind in der Lage, im Kontakt mit Gasen und Dämpfen aus den Pellets erwünschte Umwandlungen zu bewirken, z.B. aus schwerer siedenden leichter siedende Kohlenwasserstoffe zu machen.

Um die Back- und Bläheigenschaften des zu vergasenden festen Brennstoffs herabzusetzen, können der Pelletierflüssigkeit oder dem zu pelletierenden Brennstoff geeignete Substanzen zugegeben werden. Solche Substanzen sind z.B. Na₂B₄O₇, NaNO₂, K₂CrO₄, K₂CO₃ oder KNO₃.

Zum Erzeugen der Hüllschicht für die Pellets können nicht backende Kohle, Asche, z.B. aus der Vergasung oder aus fremder Produktion, Dolomit, Bentonit, Kalk, Montmorillonit, Zement oder andere anorganische Stoffe verwendet werden. Besonders geeignet sind auch Gemische von feingemahlenden Zeolithen. Am besten werden diese Stoffe feinkörnig oder staubförmig vor dem Ende des Pelletierens zugegeben.

Die Hüllschicht der Pellets soll eine Stärke von etwa 0,1 bis 2 mm, vorzugsweise von 0,2 bis 0,5 mm, aufweisen. Aus wirtschaftlichen Gründen ist man bestrebt, die Hüllschicht möglichst dünn zu halten. Sie muß aber vor allem bei stark backenden Kohlen genügend fest und dick sein, um ein Durchbrechen fließfähiger Kohle zu verhindern.

Gegebenenfalls kann man die mit der Hüllschicht versehenen Pellets vor dem Eintragen in die Vergasung trocknen. Dies geschieht am besten bei Temperaturen unterhalb des Erweichungspunktes der Kohle, vorzugsweise zwischen 40 und 150 °C. Der pelletierte Brennstoff hat im allgemeinen einen Gehalt an unverbrennlichen, mineralischen Bestandteilen von 5 bis 40 Gew.% und vorzugsweise von 10 bis 30 Gew.%.

Das Produktgas der Vergasung läßt sich auf vielfältige Weise verwenden. Nach Reinigung und Konditionierung kann das Gas z.B. für Synthesen oder als Hydriergas verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit ist, das Gas, gegebenenfalls nach Entfernen störender fester oder gasförmiger Bestandteile, als Brenngas zu nutzen und es in einem kombinierten Dampf-Gasturbinen-Kraftwerk einzusetzen.

Beispiele

Für Versuche wurde eine mittelmäßig backende und blähende Gasflammkohle mit 20 Gew.% Asche und 8 Gew.% Feuchtigkeit verwendet. Die Backzahl nach Roga (ISO 335 - 1974) betrug 25, die Blähzahl nach DIN 51741 betrug 2,5. Die Kohle lag in einer Körnung zwischen 0 und 1 mm vor und hatte einen mittleren Korndurchmesser von 0,291 mm. Zum Formen der Pellets wurde ein Pelletierteller von 1 m

Durchmesser mit einer Neigung von etwa 50° und einer Drehzahl von 20 Umdrehungen pro Minute verwendet. Es wurden jeweils Pellets mit Hüllschicht hergestellt, deren Durchmesser im Bereich von 10 bis 20 mm lagen. Die Pellets wurden bei 110 °C getrocknet und danach die Druckfestigkeit gemessen. Zum Simulieren der Verhältnisse in der Festbettvergasung erfolgte eine Verkokung unter schockartiger Erhitzung auf 800 °C unter einem Stickstoffdruck von 20 bar.

Beispiel 1

Als Pelletierflüssigkeit diente Wasser, so daß der Wassergehalt der fertigen Pellets bei 15 Gew.% lag. Die Hüllschicht hatte eine Dicke von 0,3 mm und bestand aus feingemahlener Eigenasche der Kohle. Die Punktdruckfestigkeit der getrockneten Pellets betrug ca. 70 N. Nach der Druckverkokung waren die Pellets nicht zusammengebacken, die Hülle war aufgeplatzt, der Pelletkern war gefügest. Die Pellets waren für die Druckvergasung hervorragend geeignet.

Beispiel 2

Als Pelletierflüssigkeit diente eine 5 %ige Calciumsulfatablauge, für die Hüllschicht wurde feingemahlener Dolomit verwendet, die Hüllschicht hatte eine Dicke von etwa 0,3 mm. Die Punktdruckfestigkeit der getrockneten Pellets erreichte etwa 80 N, die Versuchsergebnisse nach der Druckverkokung stimmten mit denen des Beispiels 1 überein. Zusätzlich wurden durch die Dolomitschicht etwa 50 % des in der Kohle enthaltenen Schwefels gebunden.

Beispiel 3

Als Pelletierflüssigkeit diente eine 20 %ige Wassergaslösung, für die Hüllschicht wurde Zement verwendet und eine Dicke von etwa 0,4 mm erreicht. Die getrockneten Pellets hatten einen Punktdruckfestigkeit von etwa 60 N. Nach der Druckverkokung hafteten die Pellets nicht aneinander und waren gefügest. Die Hüllschicht war rissig und teilweise abgeplatzt. Die Pellets der Beispiele 2 und 2 waren für die Vergasung im Festbett geeignet, ohne daß im Oberteil des Gaserzeugers eine besondere Auflockerungseinrichtung hätte vorgesehen werden müssen.

Beispiel 4

Für diesen Versuch wurde ebenfalls eine mittelmäßig backende und blähende Gasflammkohle mit 22 Gew.% Asche bei 8 Gew.% Feuchtigkeit eingesetzt. Die Backzahl nach Roga (ISO 335 - 1974) betrug 25, die Blähzahl nach DIN 51741 betrug 3. Die Kohle lag in einer Körnung zwischen 0 - 1 mm vor, wobei der mittlere Korndurchmesser 0,280 mm betrug.

Die auf dem Pelletierteller der vorausgegangenen Beispiele hergestellten Pellets hatten einen Durchmesser von 10 bis 20 mm. Als Hüllschicht

wurde Dolomit mit einer Schichtstärke von 0,3 mm aufgetragen. Als Pelletierflüssigkeit diente eine 10 %ige Kaliumcarbonatlösung. Die Pellets hatten vor dem Auftragen der Hüllschicht einen Feuchtigkeitsgehalt von ca. 15 Gew.%. Vor dem Einsatz in die Verkokung und Vergasung hatten die Pellets einen Kaliumcarbonatgehalt von unter 0,6 Gew.%.

Es wurde bei der Untersuchung des Produktgases festgestellt, daß von dem in der Kohle enthaltenen Teer nach ISO 647 - 1974 nur noch ca. 50 % der flüssigen Kohlenwasserstoffe den Gasraum nach Austritt aus den Pellets erreicht hatten und dass das Siedeende dieser flüssigen Kohlenwasserstoffe, das normalerweise oberhalb von 450 °C liegt, nur noch Kohlenwasserstoffe enthielt, die unterhalb 240 °C siedeten.

Weiterhin wurde bei einem Reaktionsfähigkeitstest unter 20 bar und einer gleichbleibenden Temperatur von 800 °C festgestellt, daß bei einem Massenstrom von 20 l_N/h 3,8 Vol.% CO₂ zersetzt wurden, während unter sonst gleichen Bedingungen, aber ohne Verwendung von Kaliumcarbonat, nur Werte von 2,3 Vol.% erreicht wurden.

Beispiel 5

In einem weiteren Versuch wurde eine Kohle eingesetzt, deren Backzahl nach Roga (ISO 335 - 1974) 52 betrug, während die Blähzahl nach DIN 51 741 bei 7 lag. Die Kohle hatte eine Körnung zwischen 0 - 1 mm mit mittlerem Korndurchmesser von 0,264 mm.

Sie wurde nach der Pelletierung mit feinkörniger Eigenasche in einer Schichtstärke von 0,25 mm versehen. Als Pelletierflüssigkeit wurde eine 5 %ige Natriumtetraboratlösung verwandt. Durch diese Maßnahme wurde das Back- und Blähvermögen der Kohle soweit herabgesetzt, daß bei der Druckverkokung ein Zusammenbacken der Pellets ausblieb. Die Reaktionsfähigkeit der so hergestellten Pellets wurde durch diese Maßnahme günstig beeinflusst.

Ansprüche

1. Verfahren zum Vergasen fester, backender Brennstoffe unter einem Druck zwischen 5 und 150 bar mit freien Sauerstoff, Wasserdampf und/oder Kohlendioxid enthaltenden Vergasungsmitteln im Festbett, das sich langsam nach unten bewegt, dem die Vergasungsmittel von unten zugeführt und unter dem die unverbrennlichen mineralischen Bestandteile des Brennstoffs als feste Asche oder flüssige Schlacke abgezogen werden, wobei feinkörnige, backende Brennstoffe mit einer Flüssigkeit zu weitgehend kugelförmigen Pellets mit einem Durchmesser von 5 bis 50 mm geformt und als Vergasungsbrennstoffe verwendet werden, dadurch gekennzeichnet, daß die aus feinkörnigem Brennstoff mit einer Korngröße unter 7 mm geformten Pellets vor der Vergasung mit einer geschlossenen, 0,2

bis 2 mm starken Hüllschicht aus feinkörnigem, nicht backendem Material, nämlich Zement, Fremd- oder Eigenasche, Dolomit, Bentonit, Kalk, Montmorillonit oder Zeolithen versehen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Flüssigkeit zum Formen der Pellets Wasser, Sulfitablauge, Wasserglas, Melasse, Stärkelösungen, Gaswasser aus der Vergasung oder Verkokung fester Brennstoffe oder Kalkmilch verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Pelletierflüssigkeit oder den feinkörnigen, zu pelletierenden festen Brennstoffen katalytisch wirksame Substanzen zur Erhöhung der Reaktionsfähigkeit, insbesondere NaCl, KCl, Na₂CO₃, K₂CO₃ oder Oxide von Molybdän, Wolfram, Zinn, Chrom, Nickel, Kobalt oder Eisen zugesetzt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder einem der folgenden, dadurch gekennzeichnet, daß der Pelletierflüssigkeit oder den feinkörnigen, zu pelletierenden festen Brennstoffen Stoffe zugesetzt werden, welche die Back- und Bläheigenschaften des festen Brennstoffs herabsetzen, insbesondere Na₂B₄O₇, NaNO₂, K₂CrO₄, K₂CO₃ oder KNO₃.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder einem der folgenden, dadurch gekennzeichnet, daß die mit der Hüllschicht versehenen Pellets vor dem Eintragen in die Vergasung getrocknet werden, insbesondere bei Temperaturen unterhalb des Erweichungspunktes der Kohle, vorzugsweise zwischen 40 und 150 °C.

Claims

1. A process of gasifying caking solid fuels under a pressure between 5 and 150 bars with gasifying agents which contain oxygen, water vapor and/or carbon dioxide, wherein the fuel forms a fixed bed which slowly moves downwardly, the gasifying agents are introduced into the fixed bed from below, and the incombustible mineral constituents of the fuel are withdrawn under the fixed bed as solid ash or liquid slag, fine-grained caking fuels are formed with the aid of a liquid into substantially spherical pellets which are 5 to 50 mm in diameter, characterized in that the pellets which are formed from fine-grained fuel with a grain size below 7 mm, before gasification are provided with a substantially closed covering layer of fine-grained non-caking material selected from cement, ash obtained from the same or a different fuel, dolomite, bentonite, lime, montmorillonite or zeolites, said covering layer has a thickness of 0.2 to 2 mm.

2. A process according to claim 1, characterized in that water, spent sulfite liquor, water-glass, molasses, starch solutions, aqueous condensate obtained by gasifying or coking solid fuels, or milk of lime is used in forming the pellets.

3. A process according to claim 1 or 2, characterized in that catalytically active substances serv-

ing to increase the reactivity and consisting particularly of NaCl, KCl, NaCO₃, K₂CO₃, or oxides of molybdenum, tungsten, tin, chromium, nickel, cobalt or iron are added to the pelletizing liquid or to the fine-grained solid fuels to be pelletized.

4. A process according to claim 1 or any of the following claims, characterized in that substances which decrease the caking and swelling properties of the solid fuel and consist particularly of Na₂B₄O₇, NaNO₂, K₂CrO₄, K₂CO₃ or KNO₃ are added to the pelletizing liquid or the fine-grained solid fuels to be pelletized.

5. A process according to claim 1 or any of the following claims, characterized in that the pellets provided with the covering layer are dried, particularly at temperatures below the softening point of the coal and preferably between 40 and 150 °C, before they are supplied to the gasifier.

Revendications

1. Procédé de gazéification de combustibles solides, prenant en masse, sous une pression comprise entre 5 et 150 bars, au moyen d'oxygène libre, de vapeur d'eau et/ou d'agents de gazéification contenant du dioxyde de carbone, dans un lit fixe qui descend lentement, dans lequel on introduit les agents de gazéification par le bas et en dessous duquel les composants minéraux incombustibles du combustible sont écartés à l'état de cendres solides ou de scories liquides, procédé dans lequel les combustibles finement divisés et prenant en masse sont transformés en boulettes à peu près sphériques de 5 à 50 mm de diamètre au moyen d'un liquide et sont utilisés comme combustible de gazéification, caractérisé en ce qu'avant la gazéification, les boulettes formées à partir de combustible fin

de calibre inférieur à 7 mm sont pourvues d'une couche de recouvrement fermée, épaisse de 0,2 à 2 mm et composée d'un matériau fin et ne prenant pas en masse, à savoir du ciment, des cendres du produit lui-même ou d'origine étrangère, de la dolomie, de la bentonite, de la chaux, de la montmorillonite ou des zéolithes.

2. Procédé suivant la revendication 1 caractérisé en ce qu'on utilise de l'eau, une lessive résiduaire de la pâte au sulfite, du verre soluble, de la mélasse, des solutions d'amidon, de l'eau résiduaire de la gazéification ou de la cokéfaction de combustibles solides ou du lait de chaux comme liquide pour la formation des boulettes.

3. Procédé suivant l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on ajoute au liquide servant à fabriquer les boulettes ou au combustible solide fin que l'on veut transformer en boulettes, des substances catalytiques augmentant la réactivité, particulièrement du NaCl, du KCl, du Na₂CO₃, du K₂CO₃ ou des oxydes de molybdène, de tungstène, d'étain, de chrome, de nickel, de cobalt ou de fer.

4. Procédé suivant la revendication 1 ou l'une des suivantes, caractérisé en ce qu'on ajoute au liquide servant à fabriquer les boulettes ou au combustible solide que l'on veut transformer en boulettes, des éléments qui diminuent les propriétés de prise en masse et de gonflement du combustible solide, particulièrement du Na₂B₄O₇, du NaNO₂, du K₂CrO₄, du K₂CO₃ ou du KNO₃.

5. Procédé suivant la revendication 1 ou l'une des suivantes, caractérisé en ce qu'on sèche les boulettes pourvues de la couche de recouvrement avant de les introduire dans la gazéification, particulièrement à des températures inférieures au point de ramollissement du charbon, de préférence entre 40 et 150 °C.