

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

⑪ N° de publication :

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 463 815

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 80 11714

⑤④ Procédé de carburation de métal spongieux.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). C 22 B 5/12; C 21 B 13/00 // F 27 B 15/00.

②② Date de dépôt..... 27 mai 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *EUA*, 20 août 1979, n° 067.665.

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 9 du 27-2-1981.

⑦① Déposant : HYLSA, SA, résidant au Mexique.

⑦② Invention de : Jorge Domingo Berrun-Castanon et Enrique Ramon Martinez-Vera.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Langner-Parry,
7, rue de la Paix, 75002 Paris.

Cette invention concerne la réduction gazeuse de minerais oxydés métalliques en particules en métaux en particules dans un réacteur à axe vertical et lit mobile, et elle
5 concerne plus particulièrement un procédé de production, par réduction gazeuse directe, d'un métal spongieux ayant un degré de carburation désiré prédéterminé. Dans la description suivante, le procédé est décrit à titre illustratif comme appliqué à la réduction de minerai de fer en fer spongieux.
10 Cependant, au fur et à mesure de la description, il sera évident pour l'homme de l'art que l'invention est également applicable au traitement de minerais autre que le minerai de fer.

De manière générale, la production de fer spongieux,
15 dans un réacteur à lit mobile et axe vertical, comprend généralement deux étapes principales, à savoir la réduction du minerai dans une zone de réduction à l'aide d'un gaz réducteur chaud approprié, typiquement un gaz principalement composé d'oxyde de carbone et d'hydrogène, à des températures
20 de l'ordre de 850° à 1100°C, et de préférence 900° à 1000°C, et le refroidissement du fer spongieux résultant avec un agent de refroidissement gazeux jusqu'à une température de l'ordre de 100° à 200°C, de préférence inférieure à 100°C. Un procédé de ce type est décrit dans le brevet des E.U.A.
25 n° 3.765.872, où l'on utilise un réacteur vertical comportant une zone de réduction dans sa partie supérieure et une zone de refroidissement dans sa partie inférieure. Le minerai à traiter descend dans la zone de réduction où il est réduit par un courant ascendant de gaz réducteur chaud, après quoi
30 le minerai réduit traverse une zone de refroidissement où il vient en contact avec un courant ascendant de gaz de refroidissement. Le fer spongieux refroidi est enlevé à la partie inférieure du réacteur.

Le fer spongieux produit par un procédé du type
35 décrit dans le brevet des E.U.A. n° 3.765.872 est couramment utilisé comme source de fer pour la fabrication d'acier dans un four à arc électrique. Un tel fer spongieux contient une certaine proportion d'oxyde de fer qui peut être aussi

élevée que 5 % à 15 % en poids, car il n'est pas économique d'essayer d'atteindre une métallisation à 100 % du minerai dans le réacteur de réduction gazeuse. Lorsque le degré de
5 réduction du matériau contenant du fer approche une métallisation de 100 %, il devient de plus en plus difficile, et cela nécessite un temps de séjour bien trop long dans le réacteur, de chasser l'oxygène restant du matériau. Bien que la vitesse de réaction de réduction puisse être
10 accrue à un certain degré en augmentant la température, une telle augmentation de température est limitée par le fait que la température doit être maintenue en-dessous de la température de frittage si l'on veut que le fer spongieux puisse facilement être enlevé du réacteur.

15 Cette limitation de température ne s'applique pas au four électrique dans lequel le matériau contenant du fer est manipulé sous forme fondue. Il est ainsi théoriquement possible de charger le four électrique avec du fer spongieux ayant une métallisation d'environ 85 % et d'ajouter à la
20 charge du four une quantité de carbone élémentaire suffisante pour réagir avec l'oxygène restant dans le minerai de fer. Il est cependant difficile d'effectuer un contact intime entre le carbone élémentaire et les particules de fer spongieux dans le four électrique, en particulier parce que
25 le carbone a une densité nettement inférieure à celle du fer et tend à s'en séparer.

On sait que ce problème peut être résolu en carburant le fer spongieux dans le réacteur de réduction. Ainsi, on peut faire fonctionner le réacteur de réduction pour que
30 le fer spongieux qui y est produit soit carburé, avec formation de carbure ferrique. En général, la teneur désirée en carbone du fer spongieux tombera dans la plupart des cas entre 1 % et 4 % en poids. Une telle carburation peut se produire dans la zone de réduction ou dans la zone de
35 refroidissement, ou dans les deux. La carburation dans la zone de réduction est décrite, par exemple, dans le brevet des E.U.A. n° 3.748.120, où l'on fait varier le degré de carburation en ajustant le rapport du réducteur à l'oxydant

dans le gaz réducteur chaud utilisé pour réduire le minerai de fer. Ce mode de carburation est sujet à l'inconvénient que la composition optimale de gaz réducteur pour la carburation et celle nécessaire pour la réduction du minerai sont normalement différentes et que les deux buts que l'on cherche à obtenir sont à un certain degré incompatibles. On a ainsi trouvé qu'il est avantageux d'effectuer au moins la carburation finale dans la zone de refroidissement car la carburation dans la zone de refroidissement peut être réglée de façon plus satisfaisante.

Comme décrit dans le brevet des E.U.A. n° 3.765.872, on peut faire fonctionner la zone de refroidissement du réacteur de réduction de manière à provoquer la carburisation des particules de fer spongieux au fur et à mesure de leur refroidissement. Une telle carburation peut être effectuée en utilisant un gaz contenant du carbone, en particulier un gaz contenant de l'oxyde de carbone qui, dans l'intervalle de températures d'environ 400° à 700°C, réagit avec le fer spongieux en formant du carbure de fer qui se concentre principalement sur les parties extérieures des particules de fer spongieux. D'autres brevets décrivant la carburation du fer spongieux avec un gaz contenant du carbone comprennent le brevet des E.U.A. n° 3.136.624 et le brevet canadien n° 508.951.

Comme indiqué dans le brevet des E.U.A. n° 3.765.872, la fonction de carburation et la fonction de refroidissement de la zone de refroidissement sont toutes deux importantes. Si le fer spongieux produit est insuffisamment refroidi avant son exposition à l'air atmosphérique, il a tendance à s'oxyder à nouveau. On peut faire varier et régler commodément la vitesse de refroidissement en faisant circuler un gaz de refroidissement dans une boucle qui comprend la zone de refroidissement du réacteur, et en faisant varier la vitesse de recyclage et/ou la température du gaz de refroidissement, pour obtenir le degré de refroidissement désiré. Le degré de carburation peut être réglé de façon appropriée en réglant la composition du gaz. Il est évident que, si la

vitesse de refroidissement et le degré de carburation doivent être rendus optimaux dans la zone de refroidissement, il faut régler deux paramètres réglables distincts.

5 Selon le brevet des E.U.A. n° 3.765.872, ce réglage indépendant est obtenu en prévoyant une boucle de refroidissement par laquelle on recycle un gaz de refroidissement, et en introduisant et en prélevant du gaz de refroidissement de cette boucle. Un débit régulé prédéterminé de gaz de
10 refroidissement ayant une composition prédéterminée est introduit dans la boucle et le réglage désiré est obtenu de l'une ou l'autre de deux façons. Selon un mode de réalisation, du gaz de refroidissement nouveau est introduit dans la boucle à une vitesse constante et on mesure la différence de
15 pression entre la zone de refroidissement et la zone de réduction et on l'utilise comme paramètre de commande pour régler le débit du gaz que l'on enlève de la boucle de refroidissement. Avec ce type de réglage, on minimise le débit de gaz entre les zones de réduction et de refroidisse-
20 ment pour empêcher l'écoulement de gaz inter-zones de modifier la composition du gaz de refroidissement en circulation. Selon un second mode de réalisation, le débit du gaz enlevé est réglé de manière que le débit de gaz d'appoint introduit dans la boucle est approximativement
25 égal au débit du gaz enlevé de la boucle de refroidissement.

Bien que les dispositifs de réglage décrits dans le brevet des E.U.A. n° 3.765.872 fournissent un degré de réglage du refroidissement et de la carburisation plus grand qu'il n'était possible jusqu'alors, ils laissent encore à
30 désirer. Comme indiqué précédemment, le degré auquel le fer spongieux est carburé dépend, de façon importante, de la composition du gaz de refroidissement. Donc, la variable de réglage utilisée doit de préférence être plus liée à la composition du gaz de refroidissement qu'elle ne l'est dans
35 les systèmes de réglage utilisés jusqu'à présent.

C'est donc un but de la présente invention de fournir un procédé amélioré de réglage de la carburation du fer spongieux dans un réacteur à lit mobile. C'est un autre but

de l'invention de fournir un procédé plus précis d'obtention d'une concentration désirée en carbure ferrique dans le fer spongieux produit dans un tel réacteur. D'autres buts et avantages de l'invention seront en partie évidents et en partie indiqués ci-après.

Les buts de la présente invention sont obtenus de façon générale en refroidissant le fer spongieux réduit à l'aide d'un gaz contenant du carbone que l'on fait circuler dans une boucle comprenant la zone de refroidissement du réacteur, en enlevant du gaz de la boucle, en mesurant la densité du gaz en circulation et en utilisant la densité mesurée comme paramètre de réglage pour réguler efficacement l'addition du gaz d'appoint contenant du carbone à la boucle de refroidissement. Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ce réglage est obtenu en introduisant du gaz d'appoint contenant du carbone dans la boucle de refroidissement à un débit constant prédéterminé et en enlevant le gaz de la boucle à un débit correspondant aux changements de la densité du gaz en circulation et en régulant ainsi, indirectement, le débit gazeux entre les zones de réduction et de refroidissement.

Comme indiqué plus complètement ci-dessous, on a trouvé que la densité du gaz de carburation utilisé dans la zone de refroidissement est liée fonctionnellement au degré de carburation qui est atteint par le fer spongieux traversant cette zone et l'on peut donc utiliser effectivement la densité du gaz comme paramètre de réglage permettant de régler la carburation du fer spongieux produit.

Les buts et avantages de l'invention seront mieux compris et appréciés en se référant aux dessins annexés qui illustrent un appareil permettant de mettre en oeuvre le procédé de l'invention et dans lesquels :

La Figure 1 représente un dispositif de réduction gazeuse à lit mobile et axe vertical mettant en oeuvre un mode de réalisation préféré de la présente invention ;

La Figure 2 est une modification du dispositif de la Figure 1, où le gaz évacué est soutiré de la boucle de

refroidissement en un point situé après le point d'addition du gaz réducteur d'appoint à la boucle ; et

La Figure 3 est un graphique montrant la relation
5 entre la densité et le pourcent de carburation pour le dispositif de la Figure 1.

Considérons les dessins et, plus particulièrement, la Figure 1 ; le numéro 10 désigne de façon générale un réacteur de réduction à axe vertical comportant dans sa
10 partie supérieure une zone de réduction 12 et dans sa partie inférieure une zone de refroidissement 14. Le minerai à réduire pénètre dans le réacteur par un raccord d'entrée 16 au sommet du réacteur et le fer spongieux quitte le réacteur près de sa partie inférieure par un raccord d'évacuation 18.

15 Le minerai est réduit dans la zone de réduction 12 du réacteur par un gaz réducteur chaud composé principalement d'oxyde de carbone et d'hydrogène. Le gaz réducteur peut être obtenu d'une source quelconque appropriée. Par exemple, il peut s'agir d'un gaz réformé préparé par transformation
20 catalytique d'un mélange de vapeur d'eau et de gaz naturel d'une manière connue, ou bien on peut utiliser un gaz de four à coke.

Considérons le côté gauche de la Figure 1 ; le gaz réducteur pénètre dans le dispositif par une conduite 20 et
25 circule dans le picage 22 contenant le débitmètre 24 vers la boucle de gaz réducteur du système. Plus particulièrement, le gaz réducteur passe de la conduite 22 dans une conduite 26 vers un réchauffeur à serpentin 28 qui peut être chauffé au gaz ou chauffé de toute autre façon pour élever la température du gaz réducteur jusqu'à une valeur de l'ordre de 850°
30 à 950°C. Le gaz chaud du réchauffeur 28 est fourni au réacteur par l'intermédiaire de la conduite 30 et passe dans une chambre annulaire 34 définie par une chicane 36 cylindrique interne et la paroi du réacteur. Le gaz réducteur chaud
35 circule vers le haut à travers le lit de minerai dans la zone de réduction 12 et sort du réacteur par la conduite 38. Dans la zone de réduction, le minerai de fer est largement réduit en fer spongieux.

Le gaz effluent du réacteur passe par l'intermédiaire de la conduite 38 dans un réfrigérant à trempe 40 où il est refroidi et déshydraté par contact direct avec l'eau de
5 refroidissement. Le gaz refroidi passe du réfrigérant 40 par l'intermédiaire de la conduite 42 au côté aspiration d'une pompe 44 et de là, dans la conduite 26 pour compléter la boucle du gaz de réduction. La quantité de gaz mis en circulation dans la boucle de gaz réducteur par la pompe 40
10 est réglée en prévoyant une dérivation 46 autour de la pompe, dérivation comportant un débitmètre 48.

Une certaine quantité du gaz épuisé effluent de la zone de réduction du réacteur est enlevée de la boucle de gaz réducteur par une conduite 50 comprenant une soupape de
15 retenue 52 et un régulateur 54 de contre-pression. Le gaz quittant le système par la conduite 50 peut être utilisé comme combustible, par exemple dans le réchauffeur 28, ou transféré à un stockage ou utilisé pour tout autre but approprié.

20 La zone de refroidissement 14 du réacteur fait également partie d'une boucle d'écoulement de gaz et un gaz de refroidissement contenant du carbone y circule pour effectuer la carburation du matériau métallifère dans la zone de refroidissement. Le gaz contenant du carbone que
25 l'on utilise pour effectuer la carburation du matériau métallifère dans la zone de refroidissement peut avoir la même composition que le gaz réducteur utilisé dans la zone de réduction. Plus particulièrement, comme représenté sur la Figure 1, une partie du gaz réducteur pénétrant dans le
30 système par la conduite 20 peut passer par la conduite 56 contenant le débitmètre 58 jusqu'à la conduite 60 de la boucle de gaz de refroidissement.

Le gaz circulant dans la conduite 60 est introduit à la partie inférieure de la zone de refroidissement du
35 réacteur. Plus particulièrement, le réacteur comporte une chicane 62 tronconique qui coopère avec la paroi du réacteur pour délimiter un espace annulaire 64 dans lequel le gaz de refroidissement en circulation est introduit par

la conduite 60. Le gaz de refroidissement circule de façon ascendante à travers le lit de minerai réduit dans la zone de refroidissement 14 jusqu'à un espace annulaire 66 délimité par la paroi du réacteur et une autre chicane tronconique annulaire 68. Lorsque le gaz contenant le carbone s'élève à travers la zone de refroidissement 14, il réagit avec le fer spongieux et carburise le fer spongieux contenu dans cette zone et le refroidit également.

De l'espace annulaire 66, le gaz quitte le réacteur par une conduite 70 et passe dans un réfrigérant 72 où il est refroidi et déshydraté par contact direct avec de l'eau de refroidissement. Le gaz effluent refroidi du réfrigérant 72 traverse la conduite 74 jusqu'au côté aspiration d'une pompe 76 d'où il passe dans la conduite 60 pour compléter la boucle de refroidissement. Le recyclage du gaz dans la boucle par la pompe 76 est réglé en prévoyant une dérivation 78 autour de la pompe, dérivation comportant un débitmètre 80.

Comme indiqué précédemment, la présente invention est basée sur la découverte que le degré de carburation qui se produit dans la zone de refroidissement du réacteur peut être effectivement déterminé en mesurant et en réglant la densité du gaz en circulation. La valeur mesurée de la densité peut être utilisée de plusieurs façons pour réguler effectivement l'addition du gaz contenant du carbone à la boucle de refroidissement. Selon un mode de réalisation du procédé représenté sur la Figure 1, un débit constant prédéterminé de gaz contenant du carbone d'appoint neuf est introduit dans la boucle de refroidissement par la conduite 56 et l'on fait varier la composition du gaz dans la boucle de refroidissement par des variations de l'écoulement entre les zones de réduction et de refroidissement. Comme cet écoulement interzones ne peut pas être mesuré facilement, ni réglé directement, il est nécessaire d'utiliser un procédé indirect de réglage de ce débit. Plus particulièrement, dans le système de la Figure 1, on mesure la densité du gaz passant dans la conduite 60 à l'aide d'un dispositif de mesure de densité classique 82, ou bien elle peut être

déterminée d'après la composition du gaz d'une manière connue dans le domaine. La valeur mesurée de la densité est utilisée pour régler une soupape 84 dans une conduite 88 par laquelle du gaz est soutiré de la boucle de refroidissement. Ainsi, en régulant le débit de l'effluent de la boucle de refroidissement à l'aide de la soupape 84, on régule indirectement le débit gazeux interzones.

Comme indiqué sur la Figure 1, le gaz contenant du carbone d'appoint nouveau introduit dans le système est utilisé comme gaz réducteur dans la zone de réduction 12 et comme gaz de refroidissement dans la zone de refroidissement 14. Donc, le gaz soutiré de la boucle de refroidissement par la conduite 88 a une valeur réductrice substantielle et est avantageusement transmis à la boucle de gaz réducteur en reliant la conduite 88 à la conduite 26 de la boucle de réduction, comme représenté.

Pour mieux mettre en évidence la nature de la présente invention, on donne dans le Tableau I ci-dessous des compositions types du gaz en pourcentage molaire à sec, que l'on peut s'attendre à trouver dans les diverses parties du système de la Figure 1. Les densités correspondantes sont également données. Dans le Tableau, "A" est la composition dans la conduite 56 comme indiqué sur la Figure 1, "B" est la composition dans la conduite 60 ; "C" est la composition dans la conduite 70 et "D" est la composition dans la conduite 30.

TABLEAU I

| | <u>A</u> | <u>B</u> | <u>C</u> | <u>D</u> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| H ₂ | 73 | 71 | 71 | 45 |
| CO | 13 | 7 | 6 | 26 |
| CO ₂ | 8 | 4 | 3 | 20 |
| CH ₄ | 6 | 18 | 20 | 9 |
| Densité | 0,33 | 0,277 | 0,263 | 0,635 |

On peut s'attendre à ce que les compositions gazeuses et les densités telles qu'indiquées dans le Tableau I,

donnent, dans un système comme celui représenté sur la Figure 1, une carburation du fer spongieux de l'ordre d'environ 2 %.

- 5 On a trouvé en général que le pourcentage de carburation du fer spongieux varie directement avec la densité du gaz contenant du carbone circulant dans la zone de refroidissement et que la relation, entre la densité et la carburation, dépend de la pression. Considérons la Figure 3 des dessins ;
10 cette Figure 3 est un graphique montrant une relation type entre la densité et la carburation du fer spongieux dans un système tel que représenté sur la Figure 1 quand on opère à une pression d'environ 2 bars. Comme la relation entre la carburation et la densité est modifiée par un certain nombre
15 de paramètres du procédé, elle doit être déterminée de préférence expérimentalement pour chaque système et chaque série de conditions de fonctionnement pour lesquelles on doit utiliser le procédé de l'invention.

- D'après les valeurs du Tableau I, il est évident que
20 le gaz circulant dans la boucle de refroidissement contient environ 70 % d'hydrogène, l'oxyde de carbone, le gaz carbonique et le méthane représentant au total environ 30 %. Comme les gaz contenant du carbone sont consommés dans le procédé de carburation, la densité du gaz a tendance à
25 descendre au fur et à mesure que se fait la réaction de carburation. Donc, pour maintenir des conditions d'équilibre, il faut ajouter à la boucle de refroidissement un gaz ayant une proportion relativement élevée de composants contenant du carbone et une densité correspondante relativement élevée.
30 Bien qu'il soit possible de fournir l'oxyde de carbone et d'autres gaz contenant du carbone d'appoint nécessaire en introduisant dans la boucle de refroidissement du gaz réducteur neuf supplémentaire provenant d'une source extérieure, on a trouvé que l'on peut obtenir une opération plus
35 efficace en utilisant pour au moins une partie des besoins d'appoint, un gaz ayant la composition du gaz introduit dans la zone de réduction. Comme indiqué de façon illustrative dans le Tableau I ci-dessus, le gaz introduit à la partie

inférieure de la zone de réduction a une teneur en oxyde de carbone, en gaz carbonique et en méthane nettement supérieure à celle des mêmes composants dans le gaz réducteur d'appoint.

5 Donc, le gaz dans la zone de réduction est un agent plus efficace que le gaz réducteur d'appoint, en ce qui concerne l'augmentation de la densité et l'efficacité de la carburation du gaz passant dans la boucle de refroidissement.

Selon un mode de réalisation préféré du dispositif,
10 tel que représenté sur la Figure 1, et décrit ci-dessus, le débit du gaz d'appoint neuf introduit dans la boucle de refroidissement et le débit du gaz quittant la boucle de refroidissement sont ajustés de façon à ce qu'une certaine quantité de gaz descende de la zone de réduction du réacteur
15 dans la zone de refroidissement. A cette fin, le débit du gaz réducteur d'appoint neuf dans la conduite 56 est maintenu essentiellement constant et le débit du gaz effluent dans la conduite 88 est régulé pour que le gaz de densité relativement élevée provenant de la zone de réduction descende dans
20 la zone de refroidissement. En mesurant la densité du gaz circulant dans la zone de refroidissement, et en utilisant la densité mesurée comme variable de réglage pour régler le débit du gaz effluent provenant de la boucle de refroidissement, on régule indirectement le débit du gaz de densité
25 supérieure provenant de la zone de réduction vers la zone de refroidissement, pour maintenir la densité du gaz dans la zone de refroidissement à la valeur nécessaire pour effectuer le degré désiré de carburation du fer spongieux qui traverse cette zone.

30 Il est évident que du gaz est effectivement enlevé de la boucle de refroidissement en raison : (a) de la carburation du fer spongieux selon l'équation $2\text{CO} + \text{C} + \text{CO}_2$, (b) de la condensation de la vapeur d'eau dans le réfrigérant 72 et (c) de l'écoulement du gaz dans la conduite 88.

35 Dans certains cas, la somme de (a), (b) et (c) peut être inférieure à la quantité de gaz d'appoint pénétrant dans la boucle par la conduite 56. Il est donc possible d'avoir un écoulement interzones ascendant aussi bien que descendant,

entre les zones de réduction et de refroidissement.

Considérons maintenant la Figure 2 des dessins ;
le système qu'elle représente est, de manière générale,
5 similaire à celui de la Figure 1. Le réacteur 110 comporte
une zone de réduction 112 dans sa partie supérieure et une
zone de refroidissement 114 dans sa partie inférieure.
Le gaz réducteur pénètre dans le système par la conduite 120
et passe dans la conduite 164 jusqu'au côté aspiration d'une
10 pompe 170 grâce à laquelle il est pompé dans la conduite 172
jusqu'à la partie inférieure de la zone de refroidissement.
Le gaz de refroidissement monte dans la zone de refroidisse-
ment 114, puis sort du réacteur par la conduite 182 pour
aller au réfrigérant 184 d'où il est recyclé à la pompe 170
15 par la conduite 186. Le dispositif 188 de mesure de densité,
comme le dispositif correspondant 82 de la Figure 1, mesure
la densité du gaz passant entre la sortie de la pompe et le
réacteur. Cependant, dans le système de la Figure 2,
la conduite de gaz d'appoint de débit fixé est reliée au
20 côté aspiration de la pompe 170 plutôt qu'à son côté
évacuation.

Du gaz est continuellement soutiré de la boucle de
refroidissement par une conduite 190 contenant une soupape
de régulation 192 et la sortie du dispositif 188 de mesure
25 de la densité est utilisée pour réguler la position de
la soupape 192. Ainsi, comme dans le système de la Figure 1,
la densité mesurée du gaz en circulation est utilisée pour
réguler le débit de gaz quittant la boucle de refroidissement
et donc pour régler indirectement l'introduction dans la
30 boucle d'un gaz qui est relativement riche en constituants
de carburation.

Il est évidemment entendu que la description
précédante est donnée uniquement à titre illustratif et
que de nombreuses variantes sont possibles dans le domaine
35 de l'invention. Comme indiqué précédemment, l'invention est
basée sur la découverte que le degré de carburation du fer
spongieux dans la zone de refroidissement du réacteur peut
être réglé avantageusement en mesurant la densité du gaz en

circulation et en utilisant la densité mesurée comme paramètre de réglage pour réguler effectivement la vitesse d'addition des gaz contenant du carbone au gaz de refroidissement dans la boucle. Selon le mode de réalisation préféré de l'invention décrit ci-dessus, ce réglage est obtenu indirectement en utilisant la valeur mesurée de la densité pour réguler le débit du gaz effluent de la boucle. Il est cependant évident que l'on pourrait maintenir constant le débit du gaz enlevé de la boucle et que l'on pourrait utiliser la sortie du dispositif de mesure de densité pour réguler le débit de gaz d'appoint frais ou le rapport du gaz d'appoint frais au débit de gaz enlevé si on le désire. Dans ce cas également, un écoulement interzones de gaz réducteur dans le réacteur peut être obtenu en réglant de façon appropriée les débits de gaz d'appoint et de gaz effluent. D'autres modifications seront évidentes pour l'homme de l'art.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de réduction de minerais métalliques en particules en particules de métal ayant un degré désiré de carburation dans un réacteur à lit mobile et axe vertical, qui consiste à établir et à maintenir une zone de réduction destinée à réduire ledit minerai métallique en particules dans la partie supérieure dudit lit, et une zone de refroidissement destinée à refroidir les particules de métal réduit dans la partie inférieure dudit lit ; à introduire un gaz réducteur chaud dans un point de ladite zone de réduction et à le faire s'écouler à travers le minerai en particules dans ladite zone de réduction vers un second point espacé dans ladite zone de réduction de façon à réduire ledit minerai ; à enlever le gaz réducteur épuisé dudit réacteur au second point dans ladite zone de réduction ; à faire circuler un gaz de refroidissement contenant du carbone dans une boucle contenant ladite zone de refroidissement et une conduite extérieure audit réacteur comportant un réfrigérant destiné à refroidir ledit gaz de refroidissement et une pompe destinée à faire circuler ledit gaz de refroidissement ; à ajouter à ladite boucle du gaz d'appoint contenant du carbone et à réguler effectivement la vitesse d'addition du gaz d'appoint contenant du carbone à ladite boucle, caractérisé en ce qu'on détermine la densité du gaz de refroidissement et qu'on règle la vitesse d'addition effective du gaz d'appoint en fonction des variations de la densité ainsi déterminée pour maintenir la densité du gaz circulant dans ladite zone de refroidissement, et donc le degré de carburation qui s'y produit, à une valeur désirée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le débit effectif d'addition du gaz contenant du carbone dans la boucle de refroidissement est réglé en ajoutant le gaz contenant du carbone d'appoint à la boucle à un débit prédéterminé, en enlevant du gaz de la boucle et en régulant le débit de l'enlèvement de gaz en fonction des variations de la densité mesurée du gaz de refroidissement en circulation.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le gaz enlevé de la boucle de refroidissement est chauffé et combiné avec le gaz réducteur introduit dans la zone de réduction.

4. Procédé selon l'une ou l'autre des revendications 2 et 3, caractérisé en ce que le gaz est enlevé de la conduite externe en un point de la boucle de refroidissement situé entre le réfrigérant et le point auquel on ajoute le gaz réducteur d'appoint neuf à ladite conduite externe.

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que du gaz d'appoint contenant du carbone provenant d'une source externe est ajouté à la conduite externe entre le réfrigérant et la pompe.

6. Procédé selon l'une ou l'autre des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que le gaz est prélevé en un point de la boucle de refroidissement situé entre la pompe et la zone de refroidissement.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que le gaz prélevé de la boucle de refroidissement est prélevé de la conduite externe après refroidissement dudit gaz.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, caractérisé en ce que le gaz contenant du carbone d'appoint fourni à la zone de refroidissement comprend à la fois le gaz réducteur neuf et du gaz contenant du carbone provenant de la zone de réduction.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que du gaz réducteur neuf est fourni à la boucle de refroidissement à un débit régulé prédéterminé et le gaz est prélevé de ladite boucle de refroidissement à un débit qui fait que le gaz contenant du carbone descend de la zone de réduction dans la zone de refroidissement.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, caractérisé en ce que le gaz d'appoint neuf est fourni à la boucle de refroidissement à un débit régulé prédéterminé et que le gaz est prélevé de ladite boucle de refroidissement à un débit régulé qui fait que le gaz contenant du carbone monte de la zone de refroidissement dans la zone de réduction.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'on mesure la densité du gaz en circulation dans la conduite externe après refroidissement du gaz.

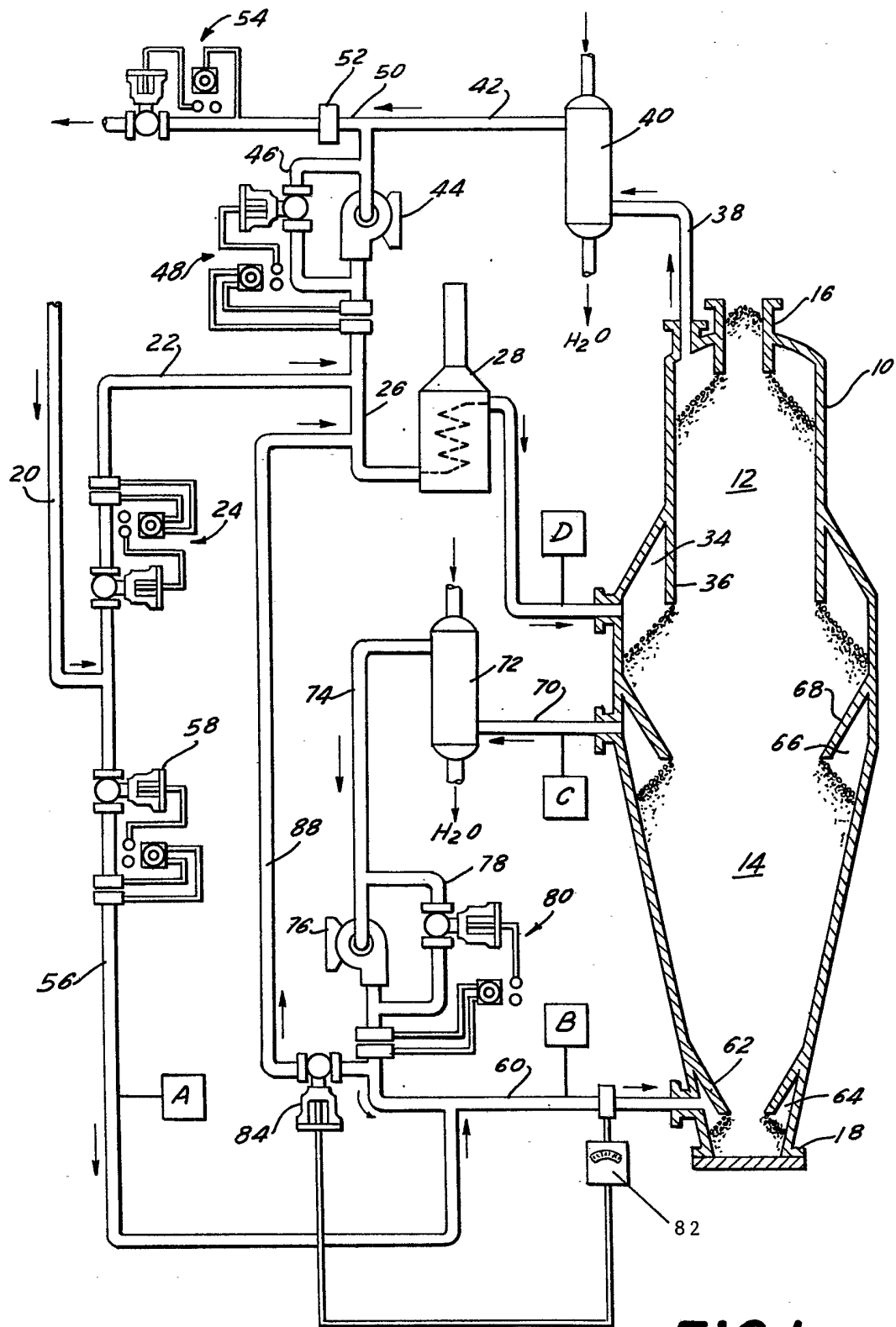


FIG. 1

FIG. 2

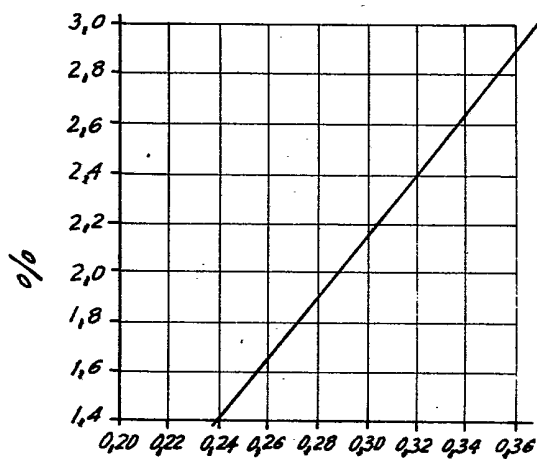
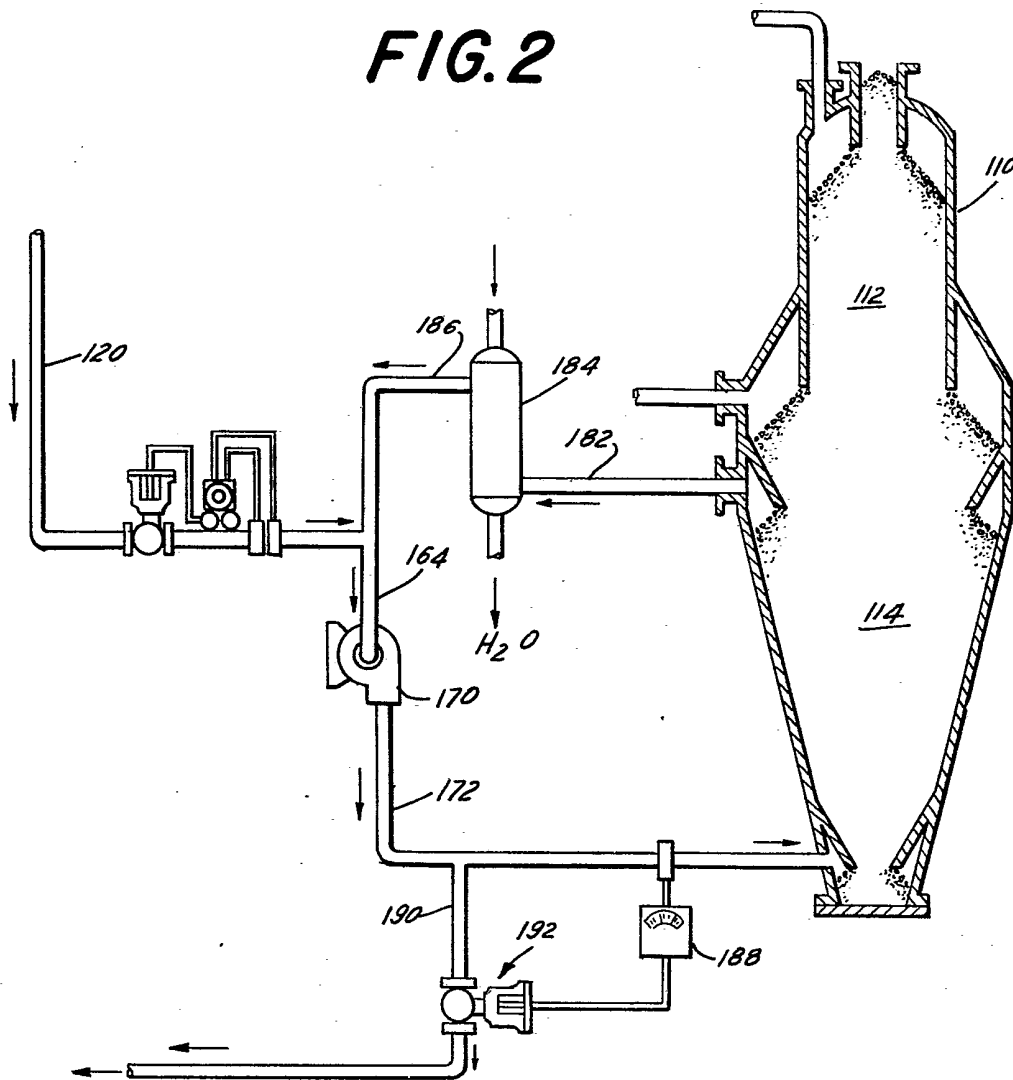


FIG. 3