

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

**2 572 097**

21 N° d'enregistrement national :

**85 05729**

51 Int Cl<sup>4</sup> : C 22 B 5/10 // C 22 C 35/00, 38/18.

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 16 avril 1985.

30 Priorité : SE, 19 octobre 1984, n° 84 05 230.7.

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 17 du 25 avril 1986.

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : Société dite : SKF STEEL ENGINEERING AB. — SE.

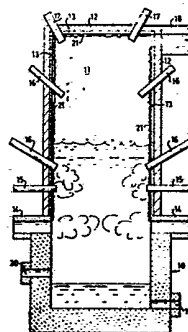
72 Inventeur(s) : Sven Santen, Jerome Feinman et Sune Eriksson.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : Cabinet Bugnion associés.

54 Procédé de production de métaux et/ou de laitiers.

57 Un minerai d'oxyde finement pulvérisé est introduit par des conduits 17 dans un réacteur 11, éventuellement avec des générateurs de laitier, et est traité dans trois zones dans le réacteur. La matière est préchauffée et éventuellement fondue dans une zone supérieure d'oxydation, par la combustion d'oxydes de carbone et d'hydrogène gazeux, provenant de la zone intermédiaire située au-dessous, avec un gaz contenant de l'oxygène. Dans une zone intermédiaire consistant en un bain de laitier, la matière préchauffée et éventuellement fondue est au moins partiellement réduite par l'injection simultanée de matière carbonée et/ou de matière contenant des hydrocarbures 15, 16, et l'énergie thermique fournie principalement au moyen de gaz chauffé dans un générateur de plasma 14. La matière est enfin astreinte à descendre dans une zone inférieure à la partie inférieure du réacteur d'où elle peut être soutirée par intermittence, avec le laitier, par une ouverture de coulée 19.



FR 2 572 097 - A1

D

La présente invention est relative à un procédé de transformation de métaux, et/ou pour produire du laitier à partir de minerais d'oxydes. On se réfèrera dans la description et les exemples qui vont suivre à la production de ferrochrome à partir de minerai de chromite de fer. Cependant, l'invention n'est nullement limitée à ces matériaux, mais elle peut être appliquée à un grand nombre de matériaux différents ferreux et non ferreux.

Le ferrochrome est habituellement produit à partir de minerai de chromite de fer dans des fours à arc électrique, en utilisant du coke comme agent réducteur. Ces procédés présentent des inconvénients, tels que par exemple l'agent réducteur doit être du coke métallurgique de qualité élevée, et il est difficile de produire des métaux avec une faible teneur de carbone et le minerai finement pulvérisé doit habituellement être aggloméré pour qu'il puisse être utilisé dans des procédés permettant de récupérer un pourcentage élevé de métal.

Il a été développé des procédés perfectionnés basés sur la technologie du plasma, dans lesquels une grande partie de la quantité de coke nécessaire est remplacée par du carbone en poudre et dans lesquels on préfère utiliser un minerai finement pulvérisé. Ces nouveaux procédés constituent un grand pas vers l'avant par comparaison avec les procédés classiques utilisant des fours à arc électrique, mais ils nécessitent toujours un agent réducteur consistant en au moins 25% de coke métallurgique, et ces procédés ne peuvent pas être utilisés en eux-mêmes pour fabriquer des produits ayant une faible teneur de carbone.

Le but de l'invention est de conserver les avantages des nouveaux procédés de réduction et de fusion basés sur l'énergie du plasma comme décrit plus haut, tout en supprimant en même temps leur dépendance du coke métal-

lurgique et permettant la fabrication de produits métalliques ayant une teneur en carbone relativement faible.

Un autre but de l'invention est d'obtenir un procédé qui soit plus souple que les procédés connus en ce qui concerne la répartition de l'énergie nécessaire pour la réduction et la fusion, entre l'énergie électrique et une énergie dérivée de la combustion des combustibles fossiles.

Ces buts ainsi que d'autres sont obtenus au moyen du procédé suivant l'invention, dans lequel des minerais d'oxyde finement pulvérisés, éventuellement avec des générateurs de laitier, est traité dans un réacteur comprenant trois zones, une zone supérieure d'oxydation dans laquelle le matériau est pré-chauffé et éventuellement fondu par la combustion d'oxyde de carbone et d'hydrogène gazeux depuis la zone intermédiaire située au-dessous, avec un gaz contenant de l'oxygène, une zone intermédiaire consistant en un bain de laitier dans lequel le matériau à base d'oxyde, pré-chauffé et éventuellement fondu, est au moins partiellement réduit par l'injection simultanée de matière carbonée et/ou d'une matière contenant un hydrocarbure et par l'énergie thermique fournie principalement par l'intermédiaire de générateurs de plasma, et une zone inférieure, au fond du réacteur, dans laquelle descend le métal formé pendant la phase de réduction et à partir de laquelle ce métal ainsi que le laitier sont prélevés par intermittence par l'intermédiaire d'ouvertures de coulée.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre faite en se référant aux dessins donnés uniquement à titre d'exemples et dans lesquels:

la Fig.1 est une vue schématique d'un mode de réalisation d'un appareil pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention;

la Fig.2 est un schéma fonctionnel du procédé suivant l'invention;

la Fig.3 est un schéma fonctionnel d'un procédé classique basé sur le plasma.

La Fig.1 montre une chambre 11 constituant une zone de réaction à haute température, ménagée à la partie supérieure d'un creuset 10 situé plus bas et comportant un chemisage réfractaire. La chambre 11 est entourée par des parois 12 refroidies par de l'eau et consistant en des panneaux présentant des conduits en métal à travers lesquels de l'eau de refroidissement peut circuler à grande vitesse et qui comportent un chemisage interne réfractaire 13 protégeant la surface du métal dirigée vers l'intérieur d'un contact direct avec la matière en fusion contenue dans la chambre 11.

La partie inférieure de la chambre 11 comporte des générateurs 14 de plasma qui alimentent le processus en énergie électrique, et des lances 15 d'alimentation en carbone distribuant l'agent réducteur pour le processus. Les lances 15 sont de préférence agencées dans la chambre 11 à un niveau plus élevé que celui des générateurs 14 de plasma. La chambre 11 comporte également des lances 16 à oxygène qui, à leur tour, peuvent être disposées au-dessus des lances 15 de carbone. L'oxygène gazeux est destiné à la combustion d'une partie des gaz engendrés à la suite de la conversion du carbone avec les oxydes métalliques dans le système, pour fournir de l'énergie pour chauffer et fondre ces oxydes. Des lances 17 d'alimentation sont prévues à la partie supérieure de la chambre 11, éventuellement dans la paroi supérieure de celle-ci, pour distribuer au réacteur du minerai et un matériau additif finement pulvérisés. Un conduit 18 à chemisage réfractaire est également prévu à la partie supérieure de la chambre 11 pour l'extraction des gaz de l'appareil. Le creuset 10 est également pourvu d'ouvertures 20 et 19 de coulée pour l'extraction du laitier et du métal respectivement.

Les différentes lances pour la distribution de l'oxygène gazeux et des agents réducteurs peuvent être

combinées les unes avec les autres et/ou avec les générateurs de plasma. Si de l'oxygène gazeux est distribué en conjugaison avec les générateurs de plasma à un niveau bas dans la chambre 11, de l'oxygène gazeux supplémentaire est distribué au-dessus de la surface du lit de laitier.

De plus, une ouverture combinée de sortie pour le laitier et le métal produit peut être ménagée à la partie inférieure du réacteur. La description qui suit, en référence à la Fig.1, est relative à un mode préféré de mise en oeuvre du procédé suivant l'invention.

Lorsque le creuset 10 et la chambre 11 ont été chauffés presque jusqu'à la température de fonctionnement par distribution d'un gaz de plasma approprié par l'intermédiaire des générateurs de plasma 14, et que des couches de métal en fusion et de laitier ont été produites par fusion de matériaux de démarrage appropriés, on commence l'injection de carbone et d'oxygène gazeux au moyen des lances 15 et 16 respectivement. Ceci provoque une circulation d'un gaz de traitement contenant  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , qui peut être au moins partiellement recyclé comme gaz de plasma plus approprié. Le refroidissement, l'épuration et la re-compression des gaz perdus du processus pour un recyclage en tant que gaz de plasma ou destinés à être utilisés comme combustibles sont réalisés par des dispositifs classiques non représentés au dessin.

Lorsque l'opération est démarrée dans la chambre 11, avec une circulation concomittante de laitier provenant du bain dans le creuset 10, dans la chambre 11, on commence l'alimentation en minerai et en produit additif au moyen des lances 17. La réaction entre le carbone et les oxydes dans le laitier en fusion engendre  $\text{CO}$  et  $\text{H}_2$  qui sont partiellement brûlés avec de l'oxygène gazeux dans la chambre 11. Un taux de combustion se produisant dans la chambre 11 est contrôlé afin d'obtenir une énergie suffisante pour pré-chauffer et fondre le minerai et les additifs ajoutés dans la chambre 11.

La quantité d'énergie fournie par les générateurs 14 de plasma est commandée en fonction des réactions endothermiques entre le laitier et le carbone. L'atmosphère réductrice est ainsi maintenue dans le creuset 10 et 5 la partie inférieure de la chambre 11 où se produisent la réduction et la fusion, et une atmosphère plus oxydante est maintenue dans les régions supérieures et intermédiaires de la chambre 11, où se produit le pré-chauffage et la fusion. Le laitier et le métal sont soutirés soit par intermittence soit en continu d'une façon classique par l'intermédiaire des ouvertures de coulée 19 et 20. Le flux de chaleur à travers le chemisage 13 dans les parois 12 refroidies par eau est de l'ordre de grandeur de 50 à 100 kWh/m<sup>2</sup>, qui provoque la formation d'une mince couche 21 15 de laitier solidifié sur la surface interne du chemisage 13. La température de la surface interne de cette couche solidifiée de laitier, qui peut avoir une épaisseur de 1 à 2 cm, correspond au point de fusion du laitier et agit ainsi comme une protection pour le chemisage 13 et les 20 parois 12 refroidies par eau, contre l'influence corrosive et erosive de la masse turbulente de réactifs solides, liquides et gazeux circulant dans la chambre 11.

Lorsqu'on produit du ferrochrome, une température d'environ 2.000°C est préférée dans la chambre 11 afin 25 de faire passer des réactifs fondus avec une température d'environ 1700°C vers la partie inférieure de la chambre 11.

On peut utiliser comme gaz de plasma de l'air, de l'air enrichi d'oxygène, de l'oxygène gazeux et/ou un 30 gaz provenant du processus et recyclé. Si on utilise un gaz recyclé provenant du processus, de la vapeur d'eau et de l'anhydride carbonique sont extraits de façon appropriée du gaz avant qu'il pénètre dans le générateur de plasma.

35 La zone supérieure est de préférence au moins partiellement séparée des autres zones, formant ainsi une

chambre de fusion instantanée. Une partie des gaz d'échappement chauds provenant du four peut ainsi être utilisée pour pré-chauffer et fondre le minerai d'oxydes finement pulvérisé pénétrant dans l'appareil. Ce minerai tombe  
5 alors dans le réacteur.

Le procédé suivant l'invention permet de contrôler le potentiel d'oxygène dans la zone de fusion en commandant le débit avec lequel les constituants oxydants sont distribués, tels que des oxydes métalliques et des  
10 gaz oxydants, c'est à dire de l'oxygène gazeux, de l'oxyde de carbone, de l'eau, etc. par rapport au débit avec lequel sont distribuées les substances réductrices, c'est à dire le carbone et/ou des matières contenant des hydrocarbures. La teneur en carbone ainsi que la formation de car-  
15 bures peut ainsi être commandée dans le métal produit. Il est également possible d'effectuer une réduction sélective des oxydes métalliques complexes telle qu'une réduction de Cu dans le système Cu-Fe-O, Cu-Zn dans le système Cu-Zn-Fe-O, de Cu-Zn-Pb dans le système Cu-Zn-Pb-O et de  
20 Fe dans le système Fe-Ti-O. Le procédé suivant l'invention est particulièrement approprié dans le système Fe-Ti-O pour la réduction de l'oxyde ferrique et la formation de fer métallique à partir d'ilmenite, et ainsi la production d'un laitier ayant une teneur élevée en  $TiO_2$  et une  
25 faible teneur en FeO sans la formation gênante de carbures de titane ou de carbures nitreux.

La Fig.2 est un schéma opérationnel pour un procédé suivant l'invention et la Fig.3 est un schéma opérationnel d'un procédé classique basé sur le plasma, tous  
30 deux destinés à la production de ferrochrome ayant une teneur élevée en carbone. Ces deux schémas opérationnels donnent une image claire des avantages du procédé suivant l'invention par rapport aux procédés classiques.

Les avantages du procédé suivant l'invention  
35 sont en outre illustrés dans le tableau suivant présentant une comparaison entre les paramètres de fonctionnement

pour le procédé déjà connu basé sur le plasma et le procédé suivant l'invention dans la production de ferrochrome ayant une teneur élevée en carbone.

TABEAU

	Fusion classique au plasma	Procédé suivant l'invention
5		
Minerai fourni (tonne)	2,293	2,293
carbone (tonne)	0,366	0,510
coke (tonne)	0,166	-
10 oxygène gazeux (mol)	-	12,388
électricité (kWh)	4,913	3,036
laitier (tonne)	1,217	1,213
alimentation en		
15 gaz combustible (GCal)	2,844	1,006
volume de combustible gazeux (mol)	44,69	24,59
quantité totale de gaz d'échappement (kmol)	97,94	73,70
20 gaz de plasma (kmol)	53,25	32,90

Le procédé suivant l'invention ne nécessite pas de coke par comparaison avec 30% en poids pour la fusion classique au plasma et 40% de moins d'énergie électrique directe. De plus, 65% de moins de combustible gazeux sont nécessaires pour le procédé suivant l'invention, ce qui peut être un avantage important dans des lieux où il n'y a pas d'utilisation pour un tel combustible soit extérieurement soit intérieurement. Le volume plus faible des gaz d'échappement dans le procédé suivant l'invention est un autre avantage du fait que l'appareillage pour le refroidissement, l'épuration et la recompression de ces gaz sont alors moins coûteux.

Certaines caractéristiques et conditions critiques pour un dimensionnement et un fonctionnement corrects du procédé sont également mentionnés. L'un des impératifs les plus importants est d'entretenir le fonctionnement



des panneaux refroidissants formant les parois et la paroi supérieure de la chambre de réaction. Ceci est obtenu en installant un chemisage en matériau conducteur réfractaire. Ceci provoque l'adhérence d'une mince enveloppe de laitier solidifié sur le chemisage, fournissant une protection supplémentaire au système. Les lances 15, 16 et 17 sont conçues et adaptées pour réduire l'influence directe sur les parois et pour optimiser la turbulence dans la chambre de réaction 11. Ceci est obtenu au moyen d'une combinaison de jets de pénétration en fonction de la dimension de la vitesse et de la direction. La position relative des générateurs 14 de plasma, des lances 15 d'injection de carbone et des lances 16 d'injection d'oxygène est réglée de façon à assurer une répartition appropriée entre les conditions d'oxydation dans les parties supérieures et intermédiaires de la chambre de réaction 11 et les conditions de réduction dans le creuset 10 et la partie inférieure de la chambre.

L'isolation du bain de produit par rapport aux réactions dans la chambre 11 est obtenue en maintenant une profondeur telle dans le bain de laitier dans le creuset 10 sur le bain de métal, qu'au moins une partie du laitier au-dessus du bain de produit reste stationnaire.

## REVENDEICATIONS

1- Procédé pour produire des métaux et/ou du laitier à partir de minerais d'oxydes, caractérisé en ce qu'un minerai d'oxyde finement pulvérisé est traité, éventuellement avec des générateurs de laitier, dans un réacteur comprenant trois zones: une zone supérieure d'oxydation (11) dans laquelle le matériau est pré-chauffé et éventuellement fondu par la combustion d'oxyde de carbone et d'oxygène gazeux provenant de la zone intermédiaire située au-dessous, avec un gaz contenant de l'oxygène, une zone intermédiaire consistant en un bain de laitier dans lequel la matière pré-chauffée et éventuellement fondue est au moins partiellement réduite par l'injection simultanée de matière carbonée et/ou de matière contenant un hydrocarbure et l'énergie thermique fournie principalement au moyen de gaz chauffés dans un générateur de plasma, et une zone inférieure (10) à la partie inférieure du réacteur, dans laquelle descend le métal formé pendant le processus de réduction et à partir de laquelle ce métal ainsi que le laitier sont soutirés de façon intermittente par l'intermédiaire d'ouvertures de coulée (19, 20).

2- Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins les parties (12) du réacteur qui entourent les zones d'oxydation et de réduction sont refroidies au moyen de parois refroidies par de l'eau et chemisées avec une matière réfractaire (13) dirigée vers l'intérieur, grâce à quoi une couche (21) de laitier solidifié est formée sur les parois internes du réacteur.

3- Procédé suivant les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la matière carbonée et/ou la matière contenant de l'hydrocarbure est introduite à un niveau situé au-dessus de celui auquel le gaz chauffé par le générateur de plasma est distribué.

4- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la matière carbonée et/ou la matière contenant un hydrocarbure, et un gaz contenant de l'oxygène sont introduits dans les parties 5 inférieures du réacteur, un gaz contenant de l'oxygène étant également distribué à un niveau situé au-dessus de la surface du bain de laitier.

5- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la zone supérieure 10 d'oxydation du réacteur est au moins partiellement séparée des autres de celui-ci, la matière pré-chauffée tombant vers le bas dans la zone intermédiaire, à partir de la zone supérieure (11).

6- Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce que des gaz d'échappement chauds sont extraits 15 de la partie supérieure du réacteur, au moins une partie de ces gaz étant utilisée pour le pré-chauffage et éventuellement la fusion dans au moins une zone supérieure partiellement séparée, formant ainsi une zone de fusion 20 instantanée.

FIG. 1

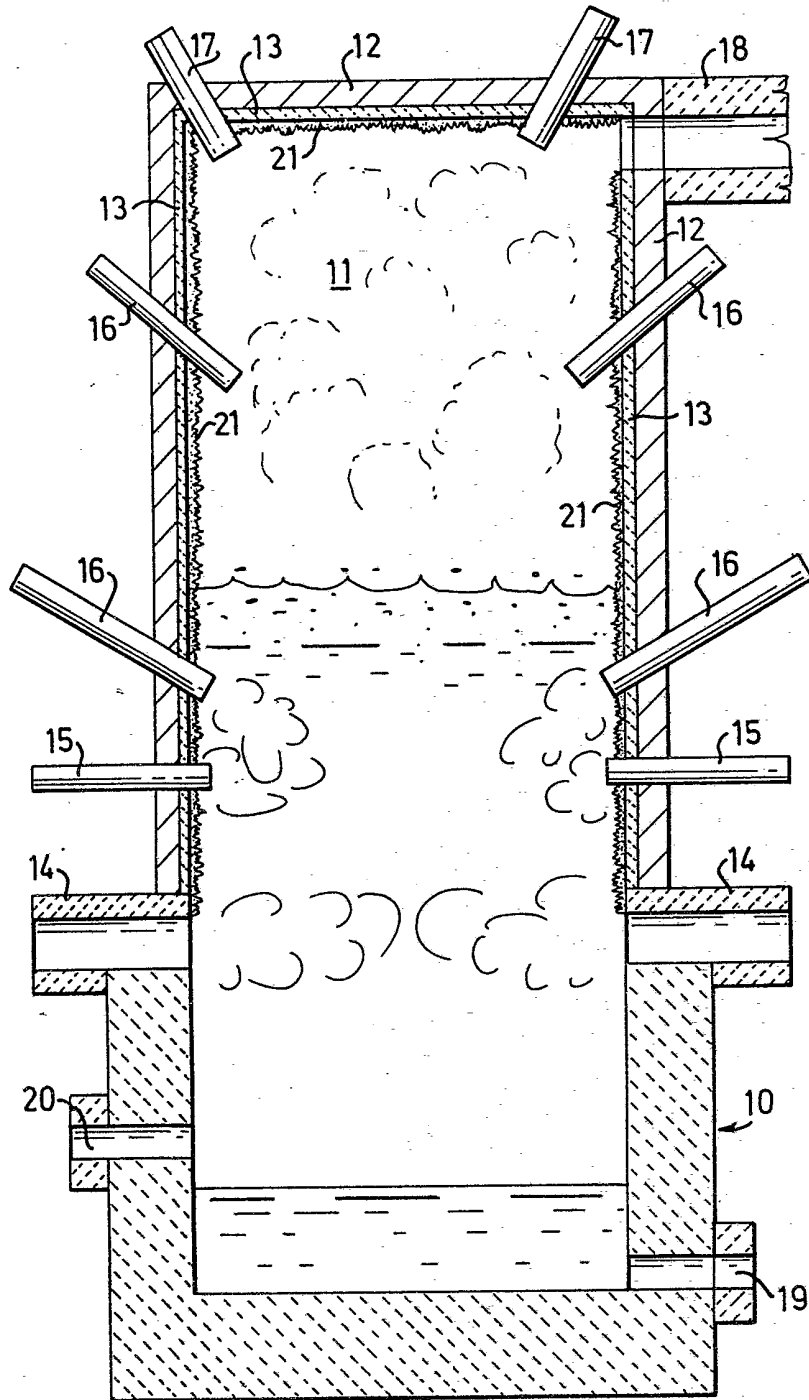
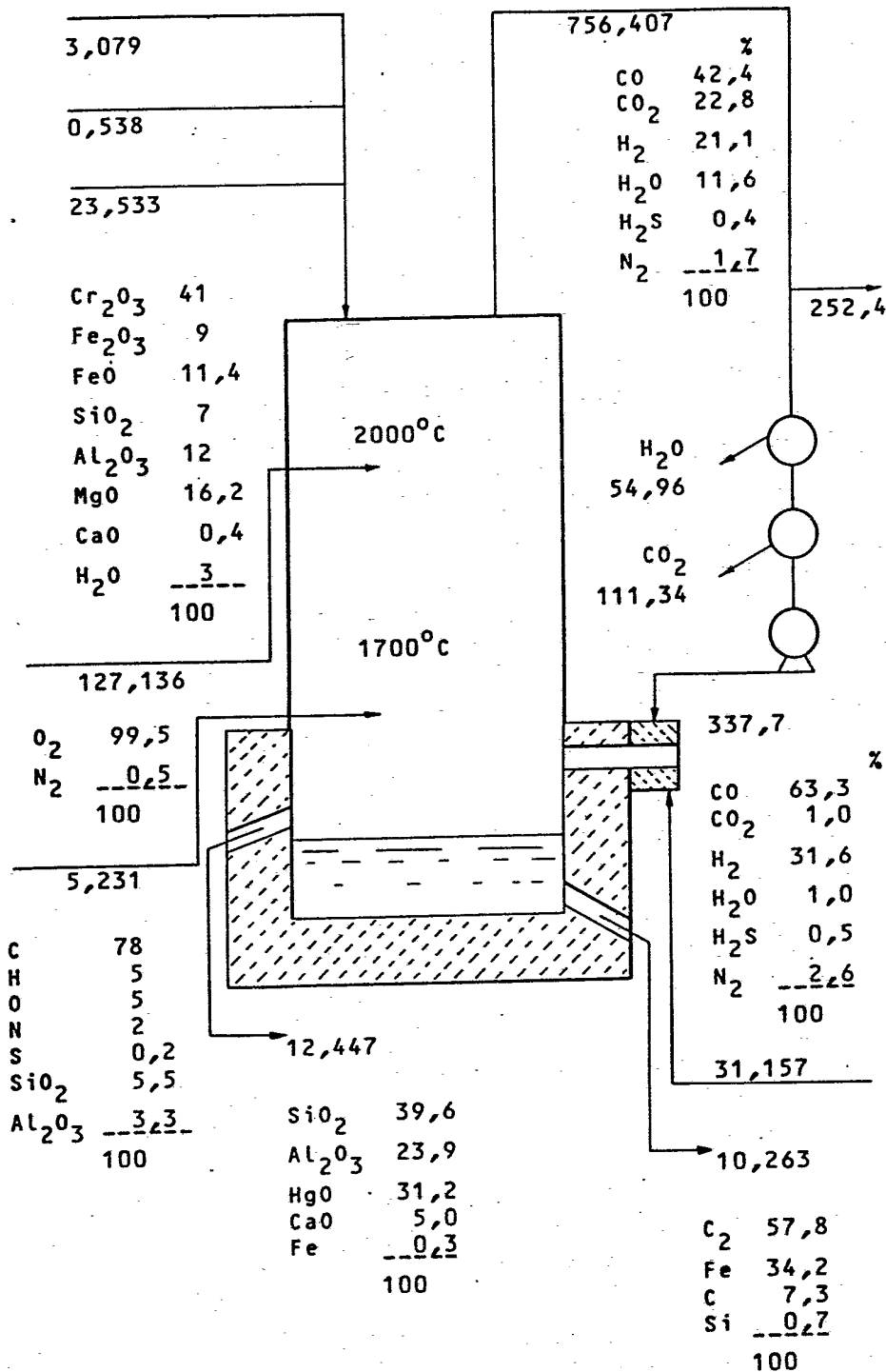


FIG. 2



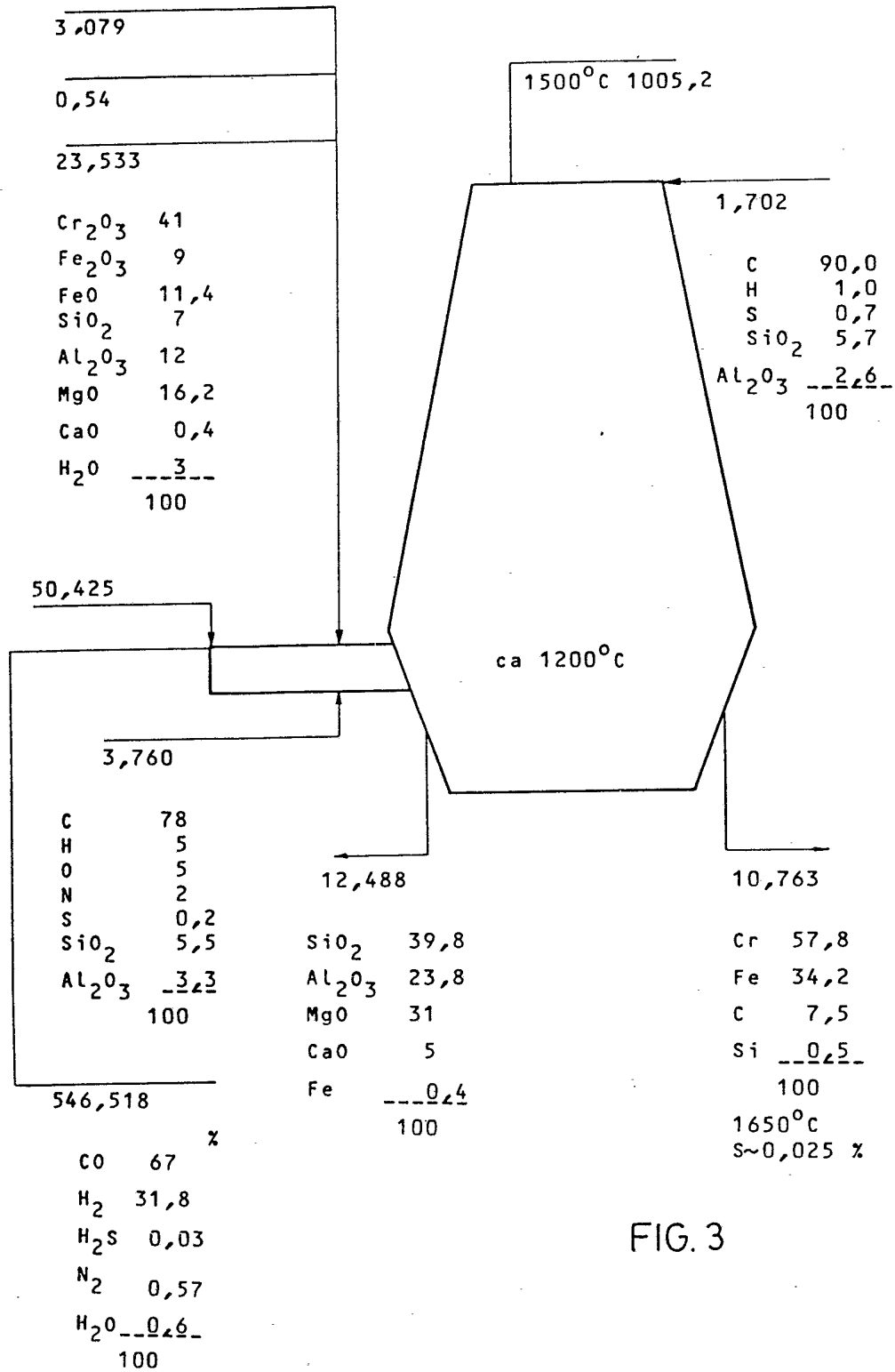


FIG. 3