



(11)

EP 2 323 770 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
27.11.2013 Bulletin 2013/48

(51) Int Cl.:
B02C 13/28 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09814104.7**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2009/060981

(22) Date de dépôt: **26.08.2009**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2010/031663 (25.03.2010 Gazette 2010/12)

(54) **IMPACTEUR COMPOSITE POUR CONCASSEURS À PERCUSSION**

SCHLAGELEMENT AUS VERBUNDMATERIAL FÜR PRALLMÜHLE

COMPOSITE IMPACTOR FOR IMPACT CRUSHER

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL
PT RO SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
AL BA RS

(30) Priorité: **19.09.2008 BE 200800520**

(43) Date de publication de la demande:
25.05.2011 Bulletin 2011/21

(73) Titulaire: **Magotteaux International SA
4051 Vaux-sous-Chevremont (BE)**

(72) Inventeur: **BERTON, Guy
B-4210 Oteppe (BE)**

(74) Mandataire: **Pronovem
Office Van Malderen
Parc d'affaires Zénobe Gramme- bâtiment K
Square des Conduites d'eau 1-2
4020 Liège (BE)**

(56) Documents cités:
**WO-A-2004/043875 FR-A- 1 542 461
US-A- 6 066 407 US-A1- 2008 102 300**

EP 2 323 770 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description**Objet de l'invention**

[0001] La présente invention se rapporte à un impacteur composite pour concasseurs à percussion. Les concasseurs à percussion regroupant des machines de concassage des roches et matériaux durs comme les concasseurs à marteaux, concasseurs à battoirs, concasseurs à axe vertical, etc. Ces machines sont utilisées extensivement dans les premières et secondes étapes d'une ligne de fabrication destinée à diminuer drastiquement la dimension de la roche dans les industries extractives (mines, carrières, cimenteries, ...) et de recyclage.

Définition

[0002] L'expression « impacteur pour concasseurs à percussion » est à interpréter au sens large, à savoir une pièce d'usure composite qui a pour fonction d'être au contact direct de la roche ou du matériau à broyer pendant la phase du procédé où ces roches et matériaux sont soumis à des impacts extrêmement violents destinés à les fragmenter. Ces pièces d'usure doivent donc faire preuve d'une grande résistance à l'impact et ils sont souvent appelés marteaux, battoirs ou impacteurs. Le terme « impacteur » englobe donc les marteaux et les battoirs mais également les plaques de blindage fixes subissant les impacts des matériaux projetés contre elles.

Etat de la technique

[0003] Peu de moyens sont connus pour modifier la dureté et la résistance à l'impact d'un alliage de fonderie en profondeur « dans la masse ». Les moyens connus concernent généralement des modifications en surface de faible profondeur (quelques mm). Pour les pièces d'usure réalisées en fonderie, les éléments de renfort doivent être présents en profondeur afin de résister à des sollicitations localisées importantes et simultanées en termes de contraintes mécaniques, d'usure et d'impact et aussi parce qu'en général, c'est une proportion importante du volume (ou du poids) de la pièce qui est consommée pendant sa vie.

[0004] Le document LU 64303 (Joiret) décrit une méthode de fabrication de marteaux qui met en oeuvre deux matériaux différents, l'un plus dur pour réaliser la tête, soumise à l'abrasion, l'autre plus résilient qui garantit la résistance contre la casse.

[0005] Le document EP 0 476 496 (Guerard) propose l'utilisation d'un insert dur mécaniquement serti dans un corps de marteau réalisé dans un acier ductile.

[0006] Le brevet EP 1 651 389 (Mayer) décrit également une technique de fabrication de marteaux mettant en oeuvre deux matériaux différents, l'un étant disposé sous forme d'un insert préfabriqué disposé dans l'autre matériau à l'endroit où la pièce est la plus sollicitée.

[0007] Le document US 2008/041993 (Hall) propose l'utilisation d'inserts en matériau très dur, fixés au marteau sur sa face travaillante.

[0008] Le document US 6,066,407 (Getz) divulgue un impacteur composite renforcé avec des carbures. Il ne divulgue cependant pas une structure de renfort avec des particules de carbure de titane sphéroïdales entourées par l'alliage d'infiltration ou une quelconque géométrie microscopique hiérarchisée dans la partie renforcée.

[0009] Le point commun de toutes ces techniques de renforcement de pièces utilisées dans des procédés de concassage par percussion est évidemment la difficulté de garantir, à la fabrication et en service, une liaison parfaite et durable entre les deux matériaux utilisés.

Buts de l'invention

[0010] La présente invention divulgue un impacteur composite pour concasseurs à percussion présentant une résistance améliorée contre l'usure tout en maintenant une bonne résistance aux chocs. Cette propriété est obtenue par une structure composite de renforcement spécifiquement conçue pour cette application, matériau qui fait alterner à l'échelle millimétrique des zones denses en fines particules globulaires micrométriques de carbures métalliques avec des zones qui en sont pratiquement exemptes au sein de la matrice métallique de l'impacteur.

[0011] La présente invention propose également un procédé pour l'obtention de ladite structure de renforcement.

Résumé de l'invention

[0012] La présente invention divulgue un impacteur composite pour concasseurs à percussion, ledit impacteur comportant un alliage ferreux renforcé au moins en partie avec du carbure de titane selon une géométrie définie, dans lequel ladite partie renforcée comporte une macro-microstructure alternée de zones millimétriques concentrées en particules

globulaires micrométriques de carbure de titane séparées par des zones millimétriques essentiellement exemptes de particules globulaires micrométriques de carbure de titane, lesdites zones concentrées en particules globulaires micrométriques de carbure de titane formant une microstructure dans laquelle les interstices micrométriques entre lesdites particules globulaires sont également occupés par ledit alliage ferreux.

[0013] Selon des modes particuliers de l'invention, l'impacteur composite comporte au moins une ou une combinaison appropriée des caractéristiques suivantes :

- lesdites zones millimétriques concentrées ont une concentration en carbure de titane supérieure à 36.9 % en volume ;
- ladite partie renforcée a une teneur globale de carbure de titane entre 16.6 et 50.5 % en volume ;
- les particules micrométriques globulaires de carbure de titane ont une taille inférieure à 50 μm ;
- la majeure partie des particules micrométriques globulaires de carbure de titane a une taille inférieure à 20 μm ;
- lesdites zones concentrées en particules globulaires de carbure de titane comportent 36.9 à 72.2 % en volume de carbure de titane ;
- lesdites zones millimétriques concentrées en carbure de titane ont une dimension variant de 1 à 12 mm ;
- lesdites zones millimétriques concentrées en carbure de titane ont une dimension variant de 1 à 6 mm ;
- lesdites zones concentrées en carbure de titane ont une dimension variant de 1.4 à 4 mm.

[0014] La présente invention divulgue également un procédé de fabrication de l'impacteur composite selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 comportant les étapes suivantes:

- mise à disposition d'un moule comportant l'empreinte de l'impacteur avec une géométrie de renforcement prédéfinie ;
- introduction, dans la partie de l'empreinte de l'impacteur destiné à former la partie renforcée (5), d'un mélange de poudres compactées comportant du carbone et du titane sous forme de granulés millimétriques précurseurs de carbure de titane ;
- coulée d'un alliage ferreux dans le moule, la chaleur de ladite coulée déclenchant une réaction exothermique de synthèse auto-propagée de carbure de titane à haute température (SHS) au sein desdits granulés précurseurs ;
- formation, au sein de la partie renforcée de l'impacteur composite d'une macro-microstructure alternée de zones millimétriques concentrées en particules globulaires micrométriques de carbure de titane à l'emplacement desdits granulés précurseurs, lesdites zones étant séparées entre elles par des zones millimétriques essentiellement exemptes de particules globulaires micrométriques de carbure de titane, lesdites particules globulaires étant également séparées au sein desdites zones millimétriques concentrées de carbure de titane par des interstices micrométriques ;
- infiltration des interstices millimétriques et micrométriques par ledit alliage ferreux de coulée à haute température, consécutive à la formation de particules microscopiques globulaires de carbure de titane.

[0015] Selon des modes particuliers de l'invention, le procédé comporte au moins une ou une combinaison appropriée des caractéristiques suivantes :

- les poudres compactées de titane et de carbone comportent une poudre d'un alliage ferreux ;
- ledit carbone est du graphite.

[0016] La présente invention divulgue également un impacteur composite obtenu selon le procédé de l'une quelconque des revendications 11 à 12.

Brève description des figures

[0017] La figure 1 montre un concasseur à axe horizontal dans lequel sont utilisés les impacteurs de la présente invention.

[0018] La figure 2 montre un concasseur à axe vertical dans lequel sont également utilisés les impacteurs de la présente invention.

[0019] La figure 3 montre un impacteur/marteau de l'art antérieur sans renforcement.

[0020] Les figures 4a et 4b montrent un marteau avec deux types de renforcement possibles. Cette géométrie de renforcement n'est bien entendu pas limitative.

[0021] La figure 5a-5h représente schématiquement le procédé de fabrication d'un marteau selon l'invention.

- l'étape 5a montre le dispositif de mélange des poudres de titane et de carbone ;
- l'étape 5b montre la compaction des poudres entre deux rouleaux suivie d'un concassage et d'un tamisage avec recyclage des particules trop fines ;
- la figure 5c montre un moule de sable dans lequel on a placé un barrage pour contenir les granulés de poudre

compactée à l'endroit du renforcement de l'impacteur (marteau) ;

- la figure 5d montre un agrandissement de la zone de renforcement dans laquelle se trouvent les granulés compactés comportant les réactifs précurseurs du TiC ;
- l'étape 5e montre la coulée de l'alliage ferreux dans le moule ;
- la figure 5f montre schématiquement le marteau qui est le résultat de la coulée ;
- la figure 5g montre un agrandissement des zones à forte concentration en nodules de TiC ;
- la figure 5h montre un agrandissement au sein d'une même zone à forte concentration en nodules de TiC. Les nodules micrométriques sont individuellement entourés par le métal de coulée.

[0022] La figure 6 représente une vue au binoculaire d'une surface polie, non attaquée, d'une coupe de la partie renforcée d'un impacteur selon l'invention avec des zones millimétriques (en gris clair) concentrées en carbure de titane globulaire micrométrique (nodules de TiC). La partie sombre représente la matrice métallique (acier ou fonte) remplissant à la fois l'espace entre ces zones concentrées en carbure de titane globulaire micrométrique mais aussi les espaces entre les globules eux-mêmes.

[0023] Les figures 7 et 8 représentent des vues prises au microscope électronique SEM de carbure de titane globulaire micrométrique sur des surfaces polies et non attaquées à des grossissements différents. On voit que dans ce cas particulier la plupart des globules de carbure de titane ont une taille inférieure à 10 μm .

[0024] La figure 9 représente une vue de carbure de titane globulaire micrométrique sur une surface de rupture prise au microscope électronique SEM. On voit que les globules de carbure de titane sont parfaitement incorporés dans la matrice métallique. Ceci prouve que le métal de coulée imprègne complètement les pores lors de la coulée une fois que la réaction chimique entre le titane et le carbone est initiée.

[0025] La figure 10 représente schématiquement les zones de renfort sur un impacteur de type marteau. Les coins renforcés sont analogues à ceux de la figure 4b et l'agrandissement schématique des zones de renfort permet de montrer la macro-microstructure de renforcement selon l'invention.

Légende

[0026]

1. zones millimétriques concentrées en particules globulaires (nodules) micrométriques de carbure de titane
2. interstices millimétriques remplis par l'alliage de coulée globalement exempts de particules globulaires micrométriques de carbure de titane
3. interstices micrométriques entre les nodules de TiC également infiltrés par l'alliage de coulée
4. carbure de titane globulaire micrométrique, dans les zones concentrées en carbure de titane
5. renfort de carbure de titane
6. défauts de gaz
7. marteau/impacteur
8. mélangeur de poudres de Ti et de C
9. trémie
10. rouleau
11. broyeur
12. grille de sortie
13. tamis
14. recyclage des particules trop fines vers la trémie
15. moule de sable
16. barrage contenant les granulés compactés de mélange Ti/C
17. poche de coulée
18. impacteur (schématique)

Description détaillée de l'invention

[0027] En science des matériaux, on appelle réaction SHS ou « self-propagating high temperature synthesis », une réaction de synthèse à haute température auto-propagée où l'on atteint des températures de réaction généralement supérieures à 1500°C, voire 2000°C. Par exemple, la réaction entre de la poudre de titane et de la poudre de carbone pour obtenir le carbure de titane TiC, est fortement exothermique. On a uniquement besoin d'un peu d'énergie pour initier localement la réaction. Ensuite, la réaction se propagera spontanément à la totalité du mélange des réactifs grâce aux hautes températures atteintes. Après initiation de la réaction, on a un front de réaction qui se propage ainsi spontanément (auto-propagée) et qui permet l'obtention du carbure de titane à partir du titane et du carbone. Le carbure de

titane ainsi obtenu est dit « obtenu in Situ » car il ne provient pas de l'alliage ferreux coulé.

[0028] Les mélanges de poudres de réactif comportent de la poudre de carbone et de la poudre de titane et sont comprimés en plaques et ensuite concassés afin d'obtenir des granulés dont la taille varie de 1 à 12 mm, de préférence de 1 à 6 mm, et de manière particulièrement préférée de 1.4 à 4 mm. Ces granulés ne sont pas compactés à 100 %.

On les comprime généralement entre 55 et 95 % de la densité théorique. Ces granulés permettent une utilisation/manipulation aisée (voir Fig. 3a-3h).

[0029] Ces granulés millimétriques de poudres de carbone et de titane mélangées obtenus selon les schémas de la figure 3a-3h constituent les précurseurs du carbure de titane à créer et permettent de remplir facilement des parties de moules de formes diverses ou irrégulières. Ces granulés peuvent être maintenus en place dans le moule 15 à l'aide d'un barrage 16, par exemple. La mise en forme ou l'assemblage de ces granulés peut également se faire à l'aide d'une colle.

[0030] L'impacteur composite selon la présente invention possède une macro-microstructure de renforcement que l'on peut encore appeler structure alternée de zones concentrées en particules micrométriques globulaires de carbure de titane séparées par des zones qui en sont pratiquement exemptes. Une telle structure est obtenue par la réaction dans le moule 15 des granulés comportant un mélange de poudres de carbone et de titane. Cette réaction est initiée par la chaleur de la coulée de la fonte ou de l'acier utilisés pour couler toute la pièce et donc à la fois la partie non renforcée et la partie renforcée (voir Fig. 3e). La coulée déclenche donc une réaction exothermique de synthèse auto-propagée à haute température du mélange de poudres de carbone et de titane compactées sous forme de granulés (self-propagating high-temperature synthesis - SHS) et préalablement placées dans le moule 15. La réaction a alors la particularité de continuer à se propager dès qu'elle est initiée.

[0031] Cette synthèse à haute température (SHS) permet une infiltration aisée de tous les interstices millimétriques et micrométriques par la fonte ou l'acier de coulée (Fig. 5g & 5h). En augmentant la mouillabilité, l'infiltration peut se faire sur n'importe quelle épaisseur ou profondeur de renforcement de l'impacteur. Elle permet avantageusement de créer, après réaction SHS et infiltration par un métal de coulée extérieur, une ou plusieurs zones de renfort sur l'impacteur comportant une forte concentration de particules globulaires micrométriques de carbure de titane (que l'on pourrait encore appeler des clusters de nodules), lesquelles zones ayant une taille de l'ordre du millimètre ou de quelques millimètres, et qui alternent avec des zones substantiellement exemptes de carbure de titane globulaire.

[0032] Une fois que ces granulés ont réagi selon une réaction SHS, les zones de renforcement où se trouvaient ces granulés montrent une dispersion concentrée de particules globulaires micrométriques 4 de TiC (globules) dont les interstices micrométriques 3 ont été également infiltrés par le métal de coulée qui est ici de la fonte ou de l'acier. Il est important de remarquer que les interstices millimétriques et micrométriques sont infiltrés par la même matrice métallique que celle qui constitue la partie non renforcée de l'impacteur; ceci permet une liberté totale de choix du métal de coulée. Dans l'impacteur finalement obtenu, les zones de renfort à forte concentration de carbure de titane sont composées de particules micrométriques globulaires de TiC en pourcentage important (entre environ 35 et environ 70 % en volume) et de l'alliage ferreux d'infiltration.

[0033] Par particules globulaires micrométriques, il faut entendre des particules globalement sphéroïdales qui ont une taille allant du μm à quelques dizaines de μm tout au plus, la grande majorité de ces particules ayant une taille inférieure à 50 μm , et même à 20 μm , voire à 10 μm . Nous les appelons également des globules de TiC. Cette forme globulaire est caractéristique d'une méthode d'obtention du carbure de titane par synthèse auto-propagée SHS (voir Fig. 8).

Obtention des granulés (version Ti + C) pour le renforcement de l'impacteur

[0034] Le procédé d'obtention des granulés est illustré à la figure 5a-5h. Les granulés de réactifs carbone/titane sont obtenus par compaction entre des rouleaux 10 afin d'obtenir des bandes que l'on concasse ensuite dans un concasseur 11. Le mélange des poudres est fait dans un mélangeur 8 constitué d'une cuve munie de pales, afin de favoriser l'homogénéité. Le mélange passe ensuite dans un appareil de granulation par une trémie 9. Cette machine comprend deux rouleaux 10, au travers desquels on fait passer la matière. Une pression est appliquée sur ces rouleaux 10, ce qui permet de comprimer la matière. On obtient à la sortie une bande de matière comprimée qui est ensuite concassée afin d'obtenir les granulés. Ces granulés sont ensuite tamisés à la granulométrie souhaitée dans un tamis 13. Un paramètre important est la pression appliquée sur les rouleaux. Au plus cette pression est élevée, au plus la bande, et donc les granulés seront comprimés. On peut ainsi faire varier la densité des bandes, et par conséquent des granulés, entre 55 et 95 % de la densité théorique qui est de 3.75 g/cm³ pour le mélange stoechiométrique de titane et de carbone. La densité apparente (tenant compte de la porosité) se situe alors entre 2.06 et 3.56 g/cm³.

[0035] Le degré de compaction des bandes dépend de la pression appliquée (en Pa) sur les rouleaux (diamètre 200 mm, largeur 30 mm). Pour un bas niveau de compaction, de l'ordre de 10⁶ Pa, on obtient une densité sur les bandes de l'ordre de 55 % de la densité théorique. Après le passage à travers les rouleaux 10 pour comprimer cette matière, la densité apparente des granulés est de 3.75 x 0.55, soit 2.06 g/cm³.

[0036] Pour un haut niveau de compaction, de l'ordre de 25.10⁶ Pa, on obtient une densité sur les bandes de 90 %

de la densité théorique, soit une densité apparente de 3.38 g/cm³. En pratique on peut aller jusqu'à 95 % de la densité théorique.

[0037] Par conséquent, les granulés obtenus à partir de la matière première Ti + C sont poreux. Cette porosité varie de 5 % pour les granulés très fortement comprimés, à 45 % pour les granulés faiblement comprimés.

[0038] Outre le niveau de compaction, il est également possible de régler la répartition granulométrique des granulés ainsi que leur forme lors de l'opération de concassage des bandes et de tamisage des granulés de Ti+C. On recycle à volonté les fractions granulométriques non désirées (voir Fig. 3b). Les granulés obtenus ont globalement une taille entre 1 et 12 mm, de préférence entre 1 et 6 mm, et de manière particulièrement préférée entre 1.4 et 4 mm.

Réalisation de la zone de renfort dans l'impacteur composite selon invention

[0039] Les granulés sont réalisés comme exposé ci-dessus. Pour obtenir une structure tridimensionnelle ou superstructure/macro-microstructure avec ces granulés, on les dispose dans les zones du moule où l'on souhaite renforcer la pièce. Ceci est réalisé en agglomérant les granulés soit au moyen d'une colle, soit en les confinant dans un récipient, ou par tout autre moyen (barrage 16).

La densité en vrac de l'empilement des granulés de Ti + C est mesurée selon la norme ISO 697 et dépend du niveau de compaction des bandes, de la répartition granulométrique des granulés et du mode de concassage des bandes, qui influence la forme des granulés.

La densité en vrac de ces granulés de Ti + C est généralement de l'ordre de 0.9 g/cm³ à 2.5 g/cm³ en fonction du niveau de compaction de ces granulés et de la densité de l'empilement.

[0040] Avant réaction, on a donc un empilement de granulés poreux composés d'un mélange de poudre de titane et de poudre de carbone.

[0041] Lors de la réaction $Ti + C \rightarrow TiC$, il se produit une contraction volumétrique de l'ordre de 24 % quand on passe des réactifs au produit (contraction venant de la différence de densité entre les réactifs et les produits). Ainsi, la densité théorique du mélange Ti + C est de 3.75 g/cm³ et la densité théorique du TiC est de 4.93 g/cm³. Dans le produit final, après la réaction d'obtention du TiC, le métal de coulée infiltrera :

- la porosité microscopique présente dans les espaces à forte concentration en carbure de titane, dépendant du niveau de compaction initial de ces granulés ;
- les espaces millimétriques entre les zones à forte concentration en carbure de titane, dépendant de l'empilement initial des granulés (densité en vrac) ;
- la porosité venant de la contraction volumétrique lors de la réaction entre Ti + C pour obtenir le TiC.

Exemples

[0042] Dans les exemples qui suivent, on a utilisé les matières premières suivantes :

- titane, H.C. STARCK, Amperit 155.066, moins de 200 mesh,
- carbone graphite GK Kropfmuhl, UF4, > 99.5 %, moins de 15 µm,
- Fe, sous la forme Acier HSS M2, moins de 25 µm,
- proportions :

- Ti + C 100 g Ti - 24.5 g C
- Ti + C + Fe 100 g Ti - 24.5 g C - 35.2 g Fe

Mélange 15 min dans mélangeur Lindor, sous Argon.

[0043] La granulation a été effectuée avec un granulateur Sahut-Conreur.

[0044] Pour les mélanges Ti+C+Fe et Ti+C, la compacité des granulés a été obtenue en faisant varier la pression entre les rouleaux de 10 à 250.10⁵ Pa.

[0045] Le renforcement a été effectué en plaçant des granulés dans un container métallique, qui est ensuite judicieusement placé dans le moule à l'endroit où l'impacteur est susceptible d'être renforcé. Ensuite on coule l'acier ou la fonte dans ce moule.

Exemple 1

[0046] Dans cet exemple, on vise à réaliser un impacteur dont les zones renforcées comportent un pourcentage en volume global de TiC d'environ 42 %. A cette fin, on réalise une bande par compaction à 85 % de la densité théorique d'un mélange de C et de Ti. Après concassage, les granulés sont tamisés de manière à obtenir une dimension de

EP 2 323 770 B1

granulés située entre 1.4 et 4 mm. On obtient une densité en vrac de l'ordre de 2.1 g/cm³ (35 % d'espace entre les granulés + 15 % de porosité dans les granulés).

[0047] On dispose les granulés dans le moule à l'endroit de la partie à renforcer qui comporte ainsi 65 % en volume de granulés poreux. On coule ensuite une fonte au chrome (3 % C, 25 % Cr) à environ 1500°C dans un moule en sable non préchauffé. La réaction entre le Ti et le C est initiée par la chaleur de la fonte. Cette coulée se fait sans atmosphère de protection. Après réaction, on obtient dans la partie renforcée 65 % en volume de zones avec une forte concentration d'environ 65 % en carbure de titane globulaire, soit 42 % en volume global de TiC dans la partie renforcée de l'impacteur.

Exemple 2

[0048] Dans cet exemple, on vise à réaliser un impacteur dont les zones renforcées comportent un pourcentage en volume global de TiC d'environ 30 %. A cette fin, on réalise une bande par compaction à 70 % de la densité théorique d'un mélange de C et de Ti. Après concassage, les granulés sont tamisés de manière à obtenir une dimension de granulés située entre 1.4 et 4 mm. On obtient une densité en vrac de l'ordre de 1.4 g/cm³ (45 % d'espace entre les granulés + 30 % de porosité dans les granulés). On dispose les granulés dans la partie à renforcer qui comporte ainsi 55 % en volume de granulés poreux. Après réaction, on obtient, dans la partie renforcée, 55 % en volume de zones avec une forte concentration d'environ 53 % en carbure de titane globulaire, soit environ 30 % en volume global de TiC dans la partie renforcée de l'impacteur.

Exemple 3

[0049] Dans cet exemple, on vise à réaliser un impacteur dont les zones renforcées comportent un pourcentage en volume global de TiC d'environ 20 %. A cette fin, on réalise une bande par compaction à 60 % de la densité théorique d'un mélange de C et de Ti. Après concassage, les granulés sont tamisés de manière à obtenir une dimension de granulés située entre 1 et 6 mm. On obtient une densité en vrac de l'ordre de 1.0 g/cm³ (55 % d'espace entre les granulés + 40 % de porosité dans les granulés). On dispose les granulés dans la partie à renforcer qui comporte ainsi 45 % en volume de granulés poreux. Après réaction, on obtient dans la partie renforcée 45 % en volume de zones concentrées à environ 45 % en carbure de titane globulaire, soit 20 % en volume global de TiC dans la partie renforcée de l'impacteur.

Exemple 4

[0050] Dans cet exemple, on a cherché à atténuer l'intensité de la réaction entre le carbone et le titane en y ajoutant un alliage ferreux en poudre. Comme dans l'exemple 2, on vise à réaliser un impacteur dont les zones renforcées comportent un pourcentage en volume global de TiC d'environ 30 %. A cette fin, on réalise une bande par compaction à 85 % de la densité théorique d'un mélange en poids de 15 % de C, 63 % de Ti et 22 % de Fe. Après concassage, les granulés sont tamisés de manière à obtenir une dimension de granulés située entre 1.4 et 4 mm. On obtient une densité en vrac de l'ordre de 2 g/cm³ (45 % d'espace entre les granulés + 15 % de porosité dans les granulés). On dispose les granulés dans la partie à renforcer qui comporte ainsi 55 % en volume de granulés poreux. Après réaction, on obtient dans la partie renforcée 55 % en volume de zones avec une forte concentration d'environ 55 % en carbure de titane globulaire, soit 30 % en volume de carbure de titane global dans la macro-microstructure renforcée de l'impacteur.

[0051] Les tableaux suivants montrent les nombreuses combinaisons possibles.

Tableau 1 (Ti + 0.98 C)

Pourcentage global de TiC obtenu dans la macro-microstructure renforcée après réaction Ti + 0.98 C dans la partie renforcée de l'impacteur										
Compaction des granulés (% de la densité théorique qui est de 3,75 g/cm ³)		55	60	65	70	75	80	85	90	95
Remplissage de la partie renforcée de la pièce (% vol.)	70	29.3	31.9	34.6	37.2	39.9	42.6	45.2	47.9	50.5
	65	27.2	29.6	32.1	34.6	37.1	39.5	42.0	44.5	46.9
	55	23.0	25.1	27.2	29.3	31.4	33.4	35.5	37.6	39.7
	45	18.8	20.5	22.2	23.9	25.7	27.4	29.1	30.8	32.5

Ce tableau montre qu'avec un niveau de compaction allant de 55 à 95 % pour les bandes et donc les granulés, on peut

EP 2 323 770 B1

pratiquer des niveaux de remplissage en granulés dans la partie renforcée de l'impacteur allant de 45 à 70 % en volume (rapport entre le volume total des granulés et le volume de leur confinement). Ainsi, pour obtenir une concentration globale en TiC dans la partie renforcée d'environ 29 % vol. (en lettres grasses dans le tableau), on peut procéder à différentes combinaisons comme par exemple 60 % de compaction et 65 % de remplissage, ou 70 % de compaction et 55 % de remplissage, ou encore 85 % de compaction et 45 % de remplissage. Pour obtenir des niveaux de remplissage en granulés dans la partie renforcée allant jusqu'à 70 % en volume, on est obligé d'appliquer une vibration pour tasser les granulés. Dans ce cas, la norme ISO 697 pour la mesure du taux de remplissage n'est plus applicable et on mesure la quantité de matière dans un volume donné.

Tableau 2

Relation entre le niveau de compaction, la densité théorique et le pourcentage de TiC obtenu après réaction dans le granulé									
Compaction des granulés	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Densité en g/cm ³	2.06	2.25	2.44	2.63	2.81	3.00	3.19	3.38	3.56
TiC obtenu après réaction (et contraction) en %vol. dans les granulés	41.8	45.6	49.4	53.2	57.0	60.8	64.6	68.4	72.2

Ici nous avons représenté la densité des granulés en fonction de leur niveau de compaction et on en a déduit le pourcentage volumique de TiC obtenu après réaction et donc contraction d'environ 24 % vol. Des granulés compactés à 95 % de leur densité théorique permettent donc d'obtenir, après réaction, une concentration de 72.2 % vol. en TiC.

Tableau 3

Densité en vrac de l'empilement des granulés										
Compaction		55	60	65	70	75	80	85	90	95
Remplissage de la partie renforcée de la pièce en % vol	70	1.4	1.6	1.7	1.8	2	2.1	2.2	2.4	2.5
	65	1.3*	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3
	55	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0
	45	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
(*) Densité en vrac (1.3) = densité théorique (3.75 g/cm ³) x 0.65 (remplissage) x 0.55 (compaction)										

En pratique, ces tableaux servent d'abaques à l'utilisateur de cette technologie, qui se fixe un pourcentage global de TiC à réaliser dans la partie renforcée de l'impacteur et qui en fonction de cela détermine le niveau de remplissage et la compaction des granulés qu'il va utiliser. Les mêmes tableaux ont été réalisés pour un mélange de poudres Ti + C + Fe.

Ti + 0.98 C + Fe

[0052] Ici, l'inventeur a visé un mélange permettant d'obtenir 15% en volume de fer après réaction. La proportion de mélange qui a été utilisée est de :



Nous entendons par poudre de fer : fer pur ou alliage de fer.

Densité théorique du mélange : 4.25g/cm³

Retrait volumétrique lors de la réaction : 21 %

EP 2 323 770 B1

Tableau 4

Pourcentage global de TiC obtenu dans la macro-microstructure renforcée après réaction $Ti + 0.98 C + Fe$ dans la partie renforcée de l'impacteur

Compaction des granulés (% de la densité théorique qui est de 4.25 g/cm ³)		55	60	65	70	75	80	85	90	95
Remplissage de la partie renforcée de la pièce (% vol)	70	25.9	28.2	30.6	32.9	35.5	37.6	40.0	42.3	44.7
	65	24.0	26.2	28.4	30.6	32.7	34.9	37.1	39.3	41.5
	55	20.3	22.2	24.0	25.9	27.7	29.5	31.4	33.2	35.1
	45	16.6	18.1	19.6	21.2	22.7	24.2	25.7	27.2	28.7

[0053] A nouveau, pour obtenir une concentration globale en TiC dans la partie renforcée d'environ 26 % vol (en lettres grasses dans le tableau), on peut procéder à différentes combinaisons comme par exemple 55 % de compaction et 70 % de remplissage, ou 60 % de compaction et 65 % de remplissage, ou 70 % de compaction et 55 % de remplissage, ou encore 85 % de compaction et 45 % de remplissage.

Tableau 5

Relation entre le niveau de compaction, la densité théorique et le pourcentage de TiC, obtenue après réaction dans le granulé en tenant compte de la présence de fer

Compaction des granulés	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Densité en g/cm³	2.34	2.55	2.76	2.98	3.19	3.40	3.61	3.83	4.04
TiC obtenu après réaction (et contraction) en %vol. dans les granulés	36.9	40.3	43.6	47.0	50.4	53.7	57.1	60.4	63.8

Tableau 6

Densité en vrac de l'empilement des granulés (Ti + C + Fe)

Compaction		55	60	65	70	75	80	85	90	95
Remplissage de la partie renforcée de la pièce en % vol.	70	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8
	65	1.5*	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6
	55	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
	45	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8

(*) Densité en vrac (1.5) = densité théorique (4.25) x 0.65 (remplissage) x 0.55 (compaction)

Avantages

[0054] La présente invention présente les avantages suivants par rapport à l'état de la technique en général:

Meilleure résistance aux chocs

[0055] Avec le présent procédé, on a des granulés millimétriques poreux qui sont sertis dans l'alliage métallique d'infiltration. Ces granulés millimétriques sont eux-mêmes composés de particules microscopiques de TiC à tendance globulaire également sertis dans l'alliage métallique d'infiltration. Ce système permet d'obtenir un impacteur avec une

zone de renfort comportant une macrostructure au sein de laquelle il y a une microstructure identique à une échelle environ mille fois plus petite.

[0056] Le fait que la zone de renfort de l'impacteur comporte des petites particules globulaires de carbure de titane, dures et finement dispersées dans une matrice métallique qui les entoure, permet d'éviter la formation et la propagation des fissures (voir Fig. 4 & 6). On a ainsi un double système dissipatif des fissures.

[0057] Les fissures prennent généralement naissance aux endroits les plus fragiles, qui sont dans ce cas la particule de TiC ou l'interface entre cette particule et l'alliage métallique d'infiltration. Si une fissure prend naissance à l'interface ou dans la particule micrométrique de TiC, la propagation de cette fissure est ensuite entravée par l'alliage d'infiltration qui entoure cette particule. La ténacité de l'alliage d'infiltration est supérieure à celle de la particule céramique TiC. La fissure a besoin de plus d'énergie pour passer d'une particule à l'autre, pour franchir les espaces micrométriques qui existent entre les particules.

Flexibilité maximale pour les paramètres de mise en oeuvre

[0058] Outre le niveau de compaction des granulés, on peut faire varier deux paramètres qui sont la fraction granulométrique et la forme des granulés, et donc leur densité en vrac. Par contre, dans une technique de renforcement par insert, on ne peut faire varier que le niveau de compaction de celui-ci dans une plage limitée. Au niveau de la forme que l'on souhaite donner au renforcement, compte tenu du design de l'impacteur et de l'endroit que l'on souhaite renforcer, l'utilisation de granulés permet davantage de possibilités et d'adaptation.

Avantages au niveau de la fabrication

[0059] L'utilisation comme renforcement d'un empilement de granulés poreux présente certains avantages au niveau de la fabrication :

- moins de dégagement gazeux,
- moindre susceptibilité à la crique,
- meilleure localisation du renforcement dans l'impacteur. La réaction entre le Ti et le C est fortement exothermique. L'élévation de température provoque un dégazage des réactifs, c'est-à-dire des matières volatiles comprises dans les réactifs (H₂O dans le carbone, H₂, N₂ dans le titane). Au plus la température de réaction est élevée, au plus ce dégagement est important. La technique par granulés permet de limiter la température, de limiter le volume gazeux et permet une évacuation plus facile des gaz et ainsi de limiter les défauts de gaz (voir Fig. 9 avec bulle de gaz indésirable).

Faible susceptibilité à la crique lors de la fabrication de l'impacteur selon l'invention

[0060] Le coefficient de dilatation du renforcement TiC est plus faible que celui de la matrice en alliage ferreux (coefficient de dilatation du TiC : 7.5 10⁻⁶/K et de l'alliage ferreux : environ 12.0 10⁻⁶/K). Cette différence dans les coefficients de dilatation a pour conséquence de générer des tensions dans le matériau pendant la phase de solidification et aussi lors du traitement thermique. Si ces tensions sont trop importantes, des criques peuvent apparaître dans la pièce et conduire au rebut de celle-ci. Dans la présente invention, on utilise une faible proportion de renforcement TiC (moins de 50 % en volume), ce qui entraîne moins de tensions dans la pièce. De plus, la présence d'une matrice plus ductile entre les particules globulaires micrométriques de TiC en zones alternées de faible et de forte concentration permet de mieux gérer d'éventuelles tensions locales.

Excellent maintien du renforcement dans l'impacteur

[0061] Dans la présente invention, la frontière entre la partie renforcée et la partie non renforcée de l'impacteur n'est pas abrupte puisqu'il y a une continuité de la matrice métallique entre la partie renforcée et la partie non renforcée, ce qui permet de la protéger contre un arrachage complet du renforcement.

Résultats de tests

[0062] Trois tests ont été effectués avec des impacteurs de type marteau du type de celui représenté à la figure 4b et à la figure 10 sur une plage de poids allant de 30 à 130 Kg.

EP 2 323 770 B1

Test 1

[0063]

- 5 poids des marteaux : 30 à 70 kgs
 matériau concassé : clinker de cimenterie
 augmentation de la durée de vie du marteau par rapport à un marteau en acier trempé : 200%

Test 2

10

[0064]

- poids des marteaux : 70 à 130 kgs
 matériau concassé : roche calcaire
15 stade : primaire
 augmentation de la durée de vie du marteau par rapport à un marteau en acier trempé: 100 à 200 %

Test 3

20

[0065]

- poids des marteaux : 30 à 80 kgs
 matériau concassé : roche calcaire
 stade : secondaire
25 augmentation de la durée de vie de la pièce : 100 à 200 %

Revendications

- 30 1. Impacteur composite pour concasseurs à percussion, ledit impacteur comportant un alliage ferreux renforcé au moins en partie (5) avec du carbure de titane selon une géométrie définie, dans lequel ladite partie renforcée (5) comporte une macro-microstructure alternée de zones millimétriques (1) concentrées en particules globulaires micrométriques de carbure de titane (4) séparées par des zones millimétriques (2) essentiellement exemptes de
35 particules globulaires micrométriques de carbure de titane (4), lesdites zones concentrées en particules globulaires micrométriques de carbure de titane (4) formant une microstructure dans laquelle les interstices micrométriques (3) entre lesdites particules globulaires (4) sont également occupés par ledit alliage ferreux.
2. Impacteur selon la revendication 1, dans lequel lesdites zones millimétriques concentrées ont une concentration en particules globulaires micrométriques de carbure de titane (4) supérieure à 36.9 % en volume.
- 40 3. Impacteur selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel ladite partie renforcée a une teneur globale de carbure de titane entre 16.6 et 50.5 % en volume.
4. Impacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les particules micrométriques globulaires de carbure de titane (4) ont une taille inférieure à 50 µm.
- 45 5. Impacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la majeure partie des particules micrométriques globulaires de carbure de titane (4) a une taille inférieure à 20 µm.
- 50 6. Impacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdites zones concentrées en particules globulaires de carbure de titane (1) comportent 36.9 à 72.2 % en volume de carbure de titane.
7. Impacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdites zones concentrées en carbure de titane (1) ont une dimension variant de 1 à 12 mm.
- 55 8. Impacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdites zones concentrées en carbure de titane (1) ont une dimension variant de 1 à 6 mm.

9. Impacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdites zones concentrées en carbure de titane (1) ont une dimension variant de 1.4 à 4 mm.

10. Procédé de fabrication par coulée d'un impacteur composite selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comportant les étapes suivantes :

- mise à disposition d'un moule comportant l'empreinte de l'impacteur avec une géométrie de renforcement prédéfinie ;
- introduction, dans la partie de l'empreinte de l'impacteur destinée à former la partie renforcée (5), d'un mélange de poudres compactées comportant du carbone et du titane sous forme de granulés millimétriques précurseurs de carbure de titane ;
- coulée d'un alliage ferreux dans le moule, la chaleur de ladite coulée déclenchant une réaction exothermique de synthèse auto-propagée de carbure de titane à haute température (SHS) au sein desdits granulés précurseurs ;
- formation, au sein de la partie renforcée (5) de l'impacteur d'une macro-microstructure alternée de zones millimétriques concentrées (1) en particules globulaires micrométriques de carbure de titane (4) à l'emplacement desdits granulés précurseurs, lesdites zones étant séparées entre elles par des zones millimétriques (2) essentiellement exemptes de particules globulaires micrométriques de carbure de titane (4), lesdites particules globulaires (4) étant également séparées au sein desdites zones millimétriques concentrées (1) de carbure de titane par des interstices micrométriques (3) ;
- infiltration des interstices millimétriques (2) et micrométriques (3) par ledit alliage ferreux de coulée à haute température, consécutive à la formation de particules microscopiques globulaires de carbure de titane (4).

11. Procédé de fabrication selon la revendication 10, dans lequel le mélange de poudres compactées de titane et de carbone comporte une poudre d'un alliage ferreux.

12. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, dans lequel ledit carbone est du graphite.

Patentansprüche

1. Schlagelement aus Verbundmaterial für Prallmühle, wobei das Schlagelement eine Eisenlegierung aufweist, die mindestens teilweise (5) mit Titancarbid gemäß einer festgelegten Geometrie verstärkt ist, wobei der verstärkte Abschnitt (5) eine Makro-Mikrostruktur aufweist, in der sich Millimeterzonen (1) abwechseln, in denen sich körnige Titancarbid-Mikrometerpartikel (4) konzentrieren, die durch Millimeterzonen (2) getrennt sind, die im Wesentlichen keine körnigen Titancarbid-Mikrometerpartikel (4) enthalten, wobei die Zonen, in denen körnige Titancarbid-Mikrometerpartikel (4) konzentriert sind, eine Mikrostruktur bilden, in der die Mikrometer-Zwischenräume (3) zwischen den körnigen Partikeln (4) ebenfalls von der Eisenlegierung belegt sind.

2. Schlagelement nach Anspruch 1, wobei die konzentrierten Millimeterzonen eine Konzentration körniger Titancarbid-Mikrometerpartikel (4) von über 36,9 Volumenprozent aufweisen.

3. Schlagelement nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der verstärkte Abschnitt einen allgemeinen Gehalt an Titancarbid zwischen 16,6 und 50,5 Volumenprozent aufweist.

4. Schlagelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die körnigen Titancarbid-Mikrometerpartikel (4) eine Größe von weniger als 50µm aufweisen.

5. Schlagelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der größte Teil der körnigen Titancarbid-Mikrometerpartikel (4) eine Größe von weniger als 20µm aufweist.

6. Schlagelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Zonen, in denen körnige Titancarbidpartikel (1) konzentriert sind, 36,9 bis 72,2 Volumenprozent Titancarbid aufweisen.

7. Schlagelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Zonen, in denen Titancarbid (1) konzentriert ist, eine Größe aufweisen, die von 1 bis 12mm variiert.

8. Schlagelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Zonen, in denen Titancarbid (1) konzentriert

ist, eine Größe aufweisen, die von 1 bis 6mm variiert.

9. Schlagelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Zonen, in denen Titancarbid (1) konzentriert ist, eine Größe aufweisen, die von 1,4 bis 4mm variiert.

10. Verfahren zur Herstellung durch Gießen eines Schlagelementes aus Verbundmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 9, das die folgenden Schritte umfasst:

- Bereitstellung einer Form, die den Abdruck des Schlagelementes mit einer vorher festgelegten Verstärkungsgeometrie aufweist,
- Einleitung eines verdichteten Pulvergemischs, das Kohlenstoff und Titan in Form von Millimetergranulat als Vorläufer von Titancarbid enthält, in den Abschnitt des Abdrucks des Schlagelementes, der dazu bestimmt ist, den verstärkten Abschnitt (5) zu bilden,
- Gießen einer Eisenlegierung in die Form, wobei die Wärme des Schmelzguts innerhalb des Vorläufergranulats eine selbstgängige exotherme Hochtemperatur-Titancarbid-Synthesereaktion (SHS) auslöst,
- Ausbildung, innerhalb des verstärkten Abschnitts (5) des Schlagelementes, einer Makro-Mikrostruktur, in der sich Millimeterzonen (1), in denen sich körnige Titancarbid-Mikrometerpartikel (4) an der Stelle des Vorläufergranulats konzentrieren, abwechseln, wobei diese Zonen voneinander durch Millimeterzonen (2) getrennt sind, die im wesentlichen keine körnigen Titancarbid-Mikrometerpartikel (4) enthalten, wobei die körnigen Partikel (4) auch innerhalb der Millimeterzonen (1), in denen Titancarbid konzentriert ist, durch Mikrometer-Zwischenräume (3) getrennt sind.
- Tränkung der Millimeter- (2) und Mikrometer-Zwischenräume (3) mit der Hochtemperatur-Eisengusslegierung im Anschluss an die Ausbildung körniger mikroskopischer Titancarbidpartikel (4).

11. Herstellungsverfahren nach Anspruch 10, wobei das verdichtete Titan-Kohlenstoff-Pulvergemisch ein Pulver einer Eisenlegierung aufweist.

12. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei der Kohlenstoff Graphit ist.

Claims

1. A composite impactor for impact crusher, said impactor comprising a ferrous alloy at least partially reinforced (5) with titanium carbide according to a defined geometry, wherein said reinforced portion (5) comprises an alternating macro-microstructure of millimetric areas (1) concentrated with micrometric globular particles of titanium carbide (4) separated by millimetric areas (2) essentially free of micrometric globular particles of titanium carbide (4), said areas concentrated with micrometric globular particles of titanium carbide (4) forming a microstructure in which the micrometric interstices (3) between said globular particles (4) are also filled by said ferrous alloy.

2. The impactor according to claim 1, wherein said millimetric concentrated areas have a concentration of micrometric globular particles of titanium carbide (4) greater than 36.9% by volume.

3. The impactor according to any of claims 1 or 2, wherein said reinforced portion has a global titanium carbide content between 16.6 and 50.5% by volume.

4. The impactor according to any of the preceding claims, wherein the micrometric globular particles of titanium carbide (4) have a size of less than 50µm.

5. The impactor according to any of the preceding claims, wherein the major portion of the micrometric globular particles of titanium carbide (4) has a size of less than 20 µm.

6. The impactor according to any of the preceding claims, wherein said areas concentrated with globular particles of titanium carbide (1) comprise 36.9 to 72.2% by volume of titanium carbide.

7. The impactor according to any of the preceding claims, wherein said areas concentrated with titanium carbide (1) have a dimension varying from 1 to 12 mm.

8. The impactor according to any of the preceding claims, wherein said areas concentrated in titanium carbide (1) have

a dimension varying from 1 to 6 mm.

9. The impactor according to any of the preceding claims, wherein said areas concentrated in titanium carbide (1) have a dimension varying from 1.4 to 4 mm.

10. A method for manufacturing by casting a composite impactor according to any of claims 1 to 9, comprising the following steps:

- providing a mold comprising the imprint of the impactor with a predefined reinforcement geometry;
- introducing, into the portion of the imprint of the impactor intended to form the reinforced portion (5), a mixture of compacted powders comprising carbon and titanium in the form of millimetric granules precursor of titanium carbide;
- casting a ferrous alloy into the mold, the heat of said casting triggering an exothermic self-propagating high temperature synthesis (SHS) of titanium carbide within said precursor granules;
- forming, within the reinforced portion (5) of the impactor, an alternating macro-microstructure of millimetric areas concentrated (1) with micrometric globular particles of titanium carbide (4) at the location of said precursor granules, said areas being separated from each other by millimetric areas (2) essentially free of micrometric globular particles of titanium carbide (4), said globular particles (4) being also separated within said millimetric areas concentrated (1) with titanium carbide by micrometric interstices (3);
- infiltration of the millimetric (2) and micrometric (3) interstices by said high temperature cast ferrous alloy, following the formation of microscopic globular particles of titanium carbide (4).

11. The manufacturing method according to claim 10, wherein the mixture of compacted powders of titanium and carbon comprises a powder of a ferrous alloy.

12. The manufacturing method according to any of claims 10 or 11, wherein said carbon is graphite.

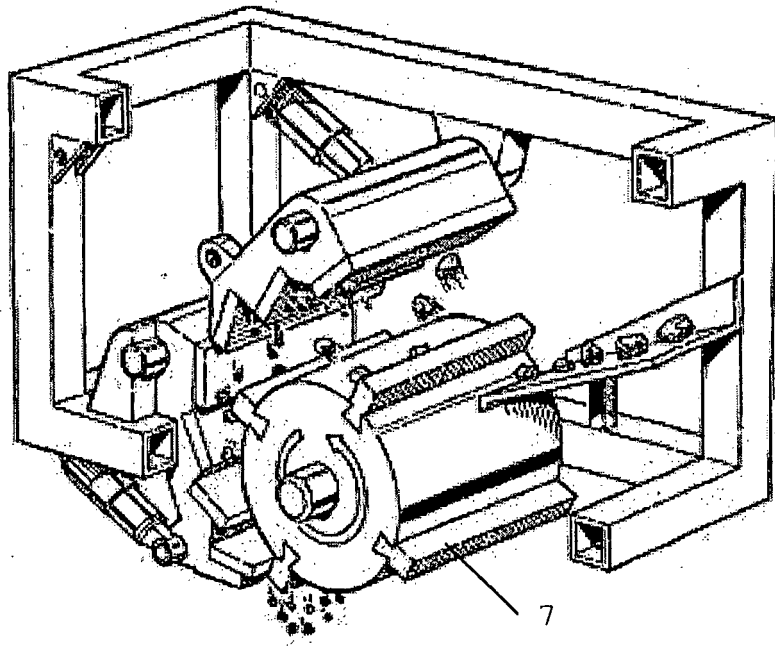


Fig. 1

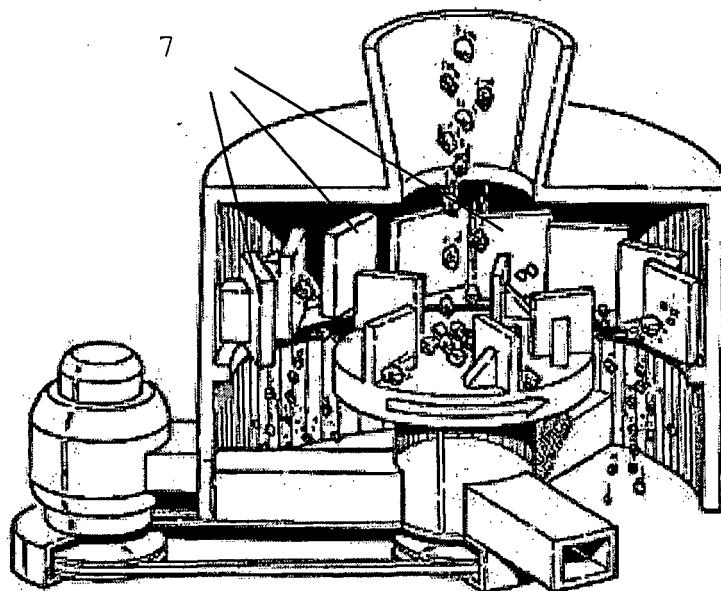


Fig. 2

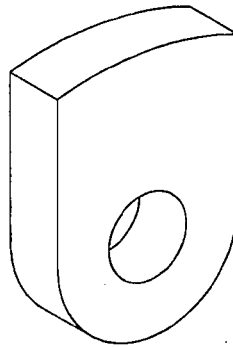


Fig. 3

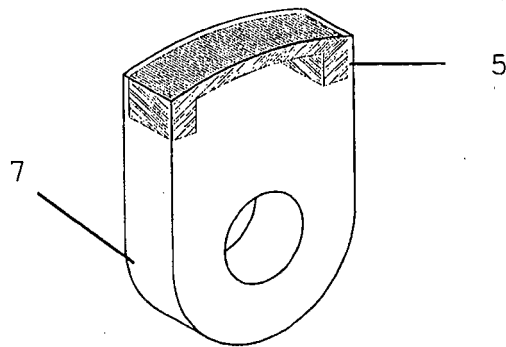


Fig. 4a

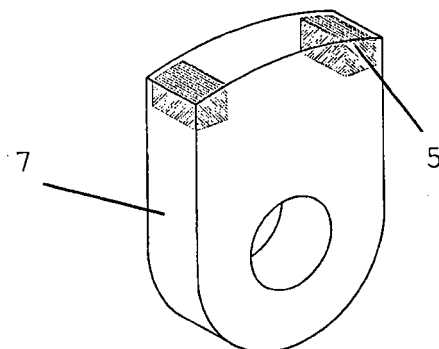


Fig. 4b

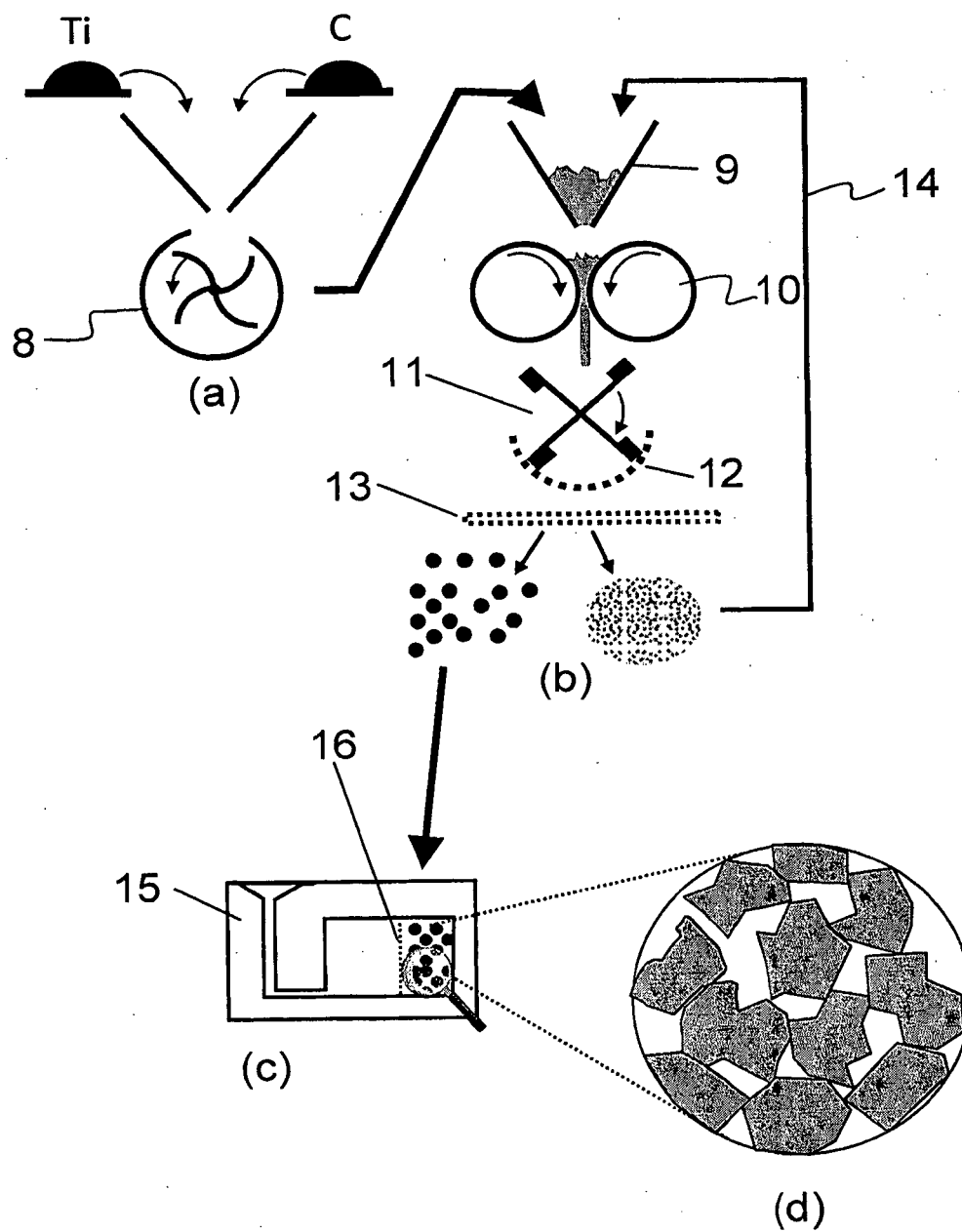


Fig. 5a-5d

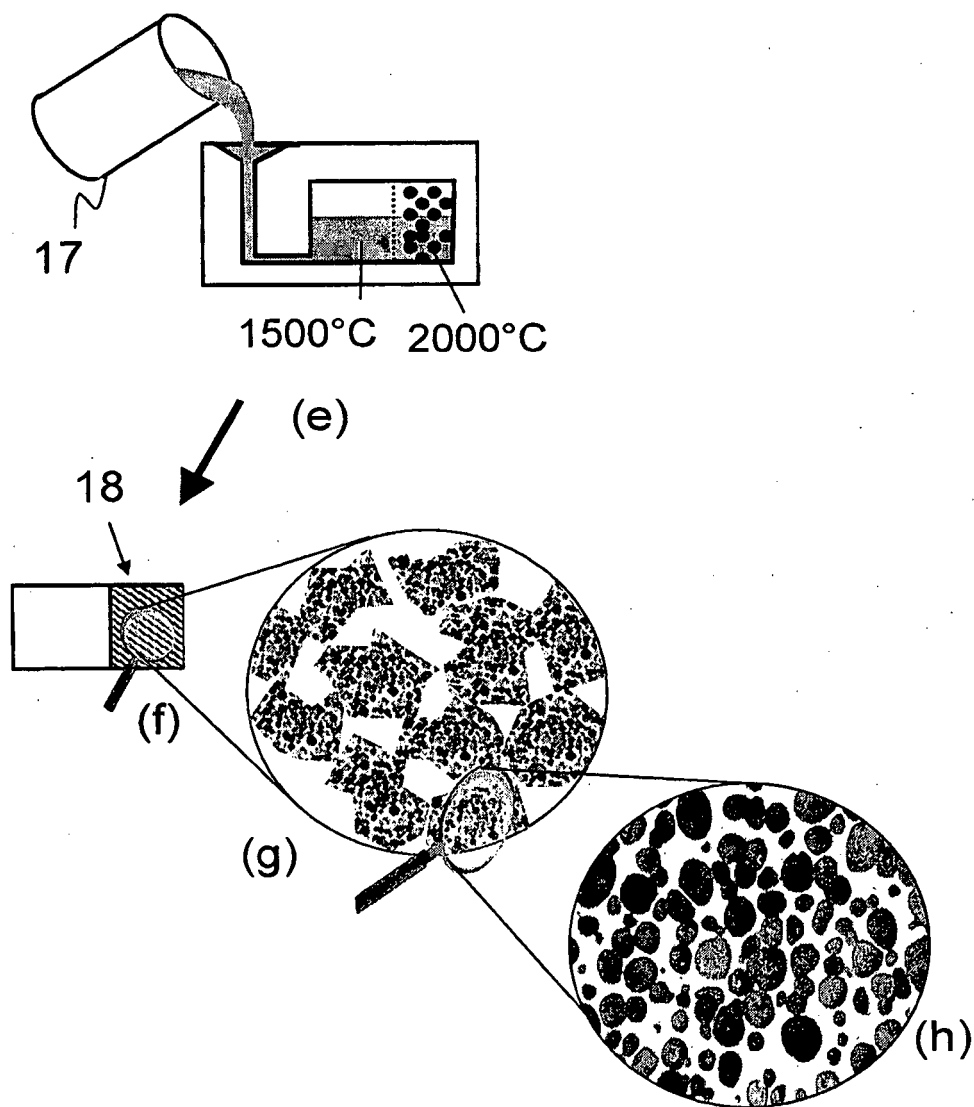


Fig. 5e-5h

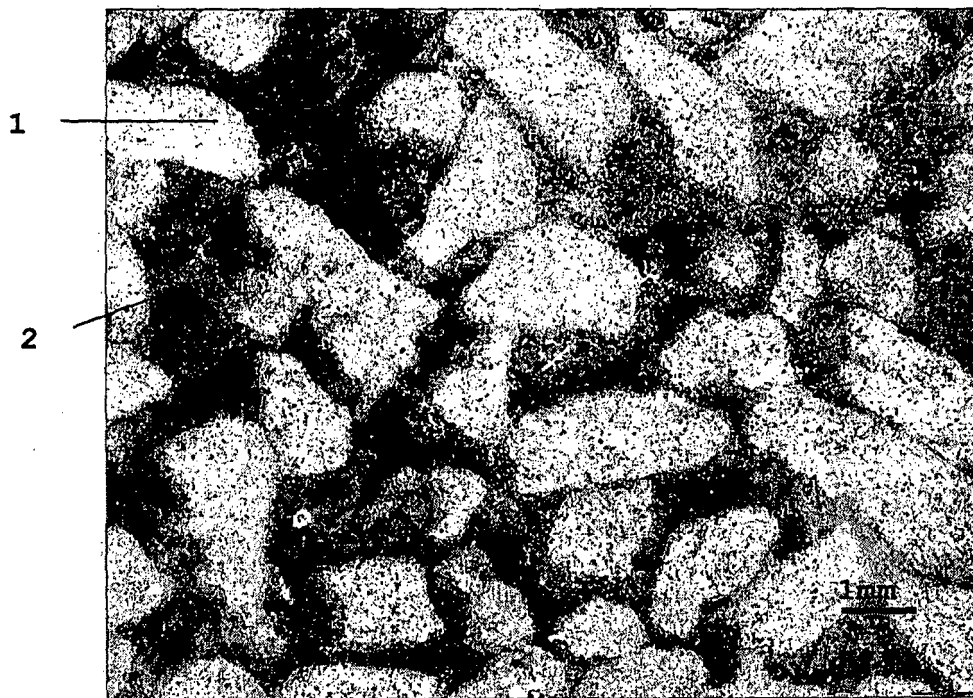


Fig. 6

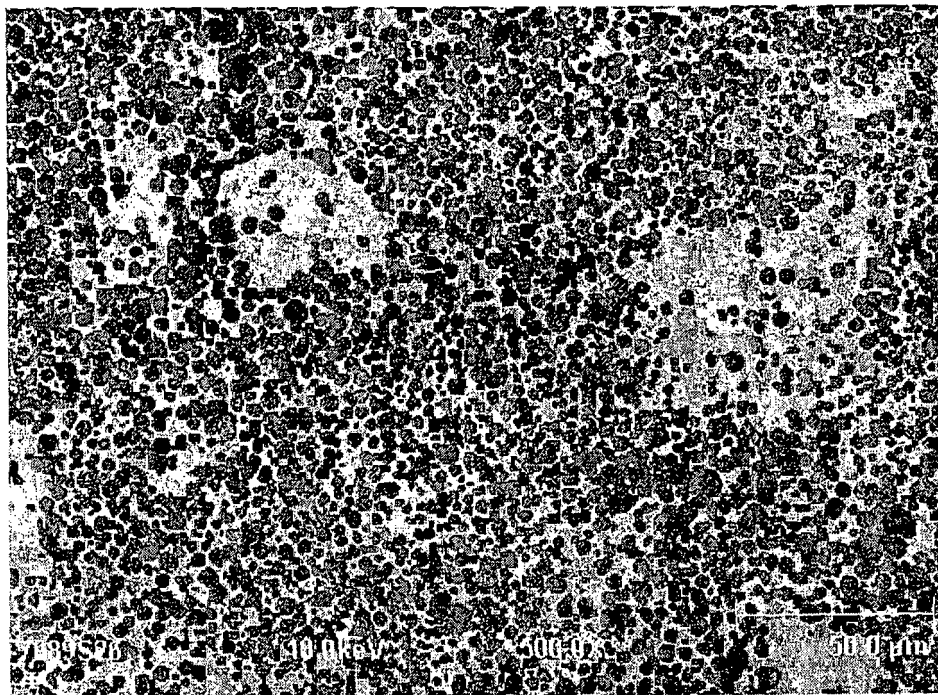


Fig. 7

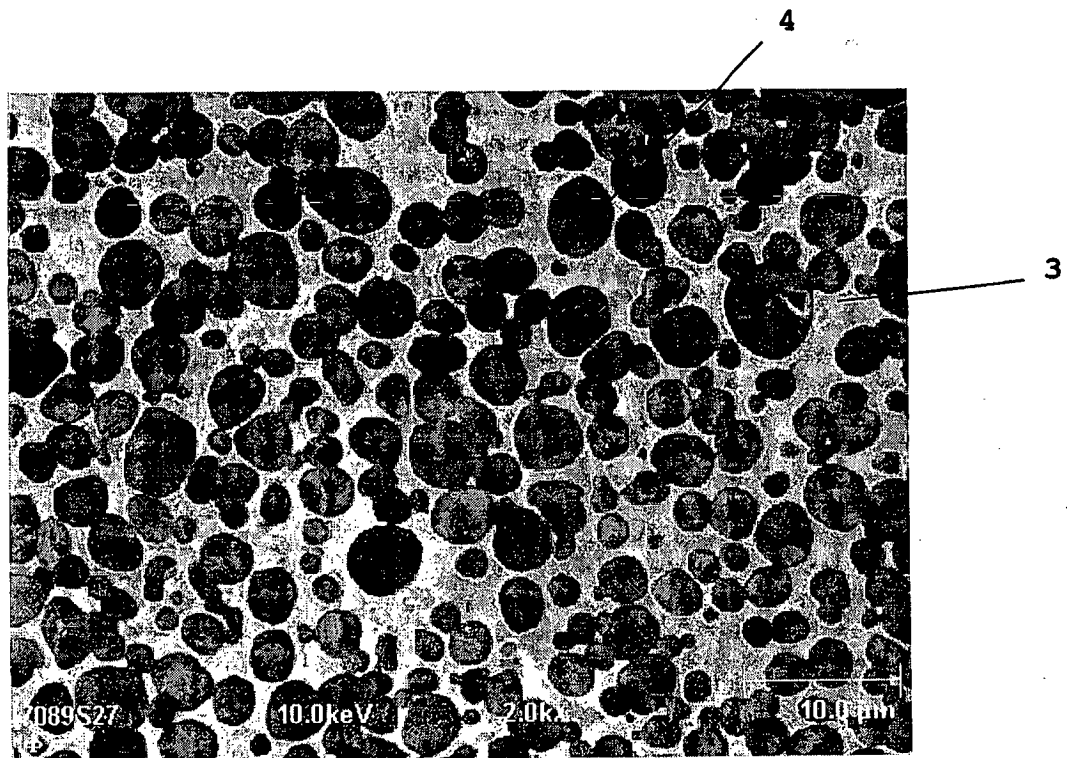


Fig. 8

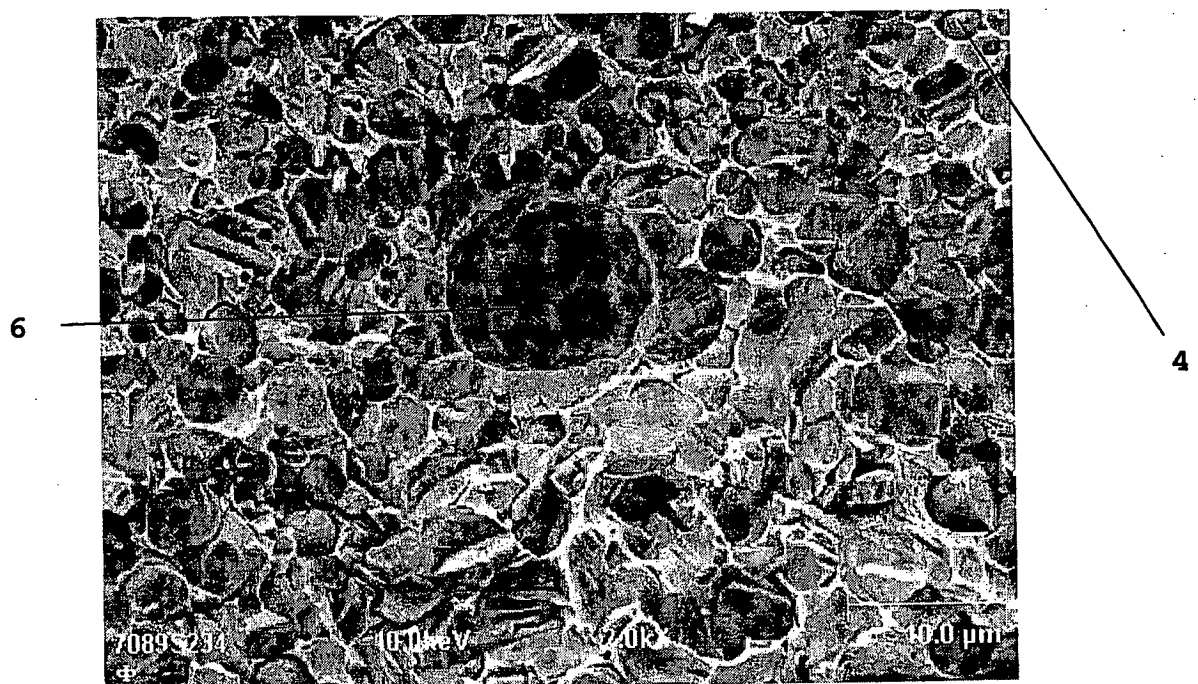


Fig. 9

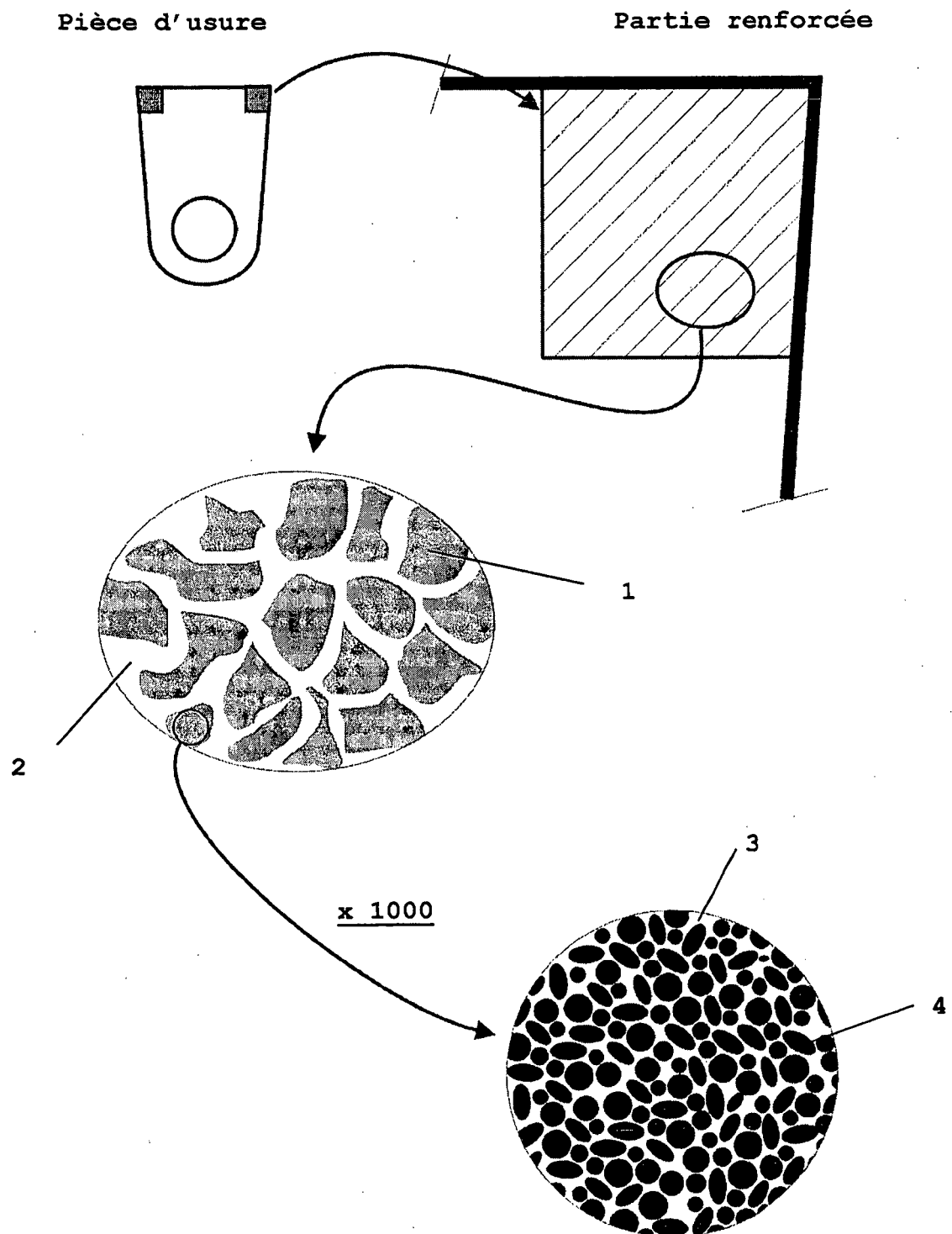


Fig. 10

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- LU 64303, Joiret **[0004]**
- EP 0476496 A, Guerard **[0005]**
- EP 1651389 A, Mayer **[0006]**
- US 2008041993 A, Hall **[0007]**
- US 6066407 A, Getz **[0008]**