



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
06.11.2019 Bulletin 2019/45

(21) Numéro de dépôt: **18170766.2**

(22) Date de dépôt: **04.05.2018**

(51) Int Cl.:
B22F 3/23 (2006.01) **B22F 5/08** (2006.01)
C22C 1/05 (2006.01) **C22C 1/10** (2006.01)
C22C 29/10 (2006.01) **B22D 19/02** (2006.01)
B22D 19/06 (2006.01) **C22C 33/02** (2006.01)
E02F 9/28 (2006.01) **B22F 7/06** (2006.01)
B22F 5/00 (2006.01)

(84) Etats contractants désignés:
AL 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 RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(71) Demandeur: **MAGOTTEAUX INTERNATIONAL S.A.**
4051 Vaux-sous-Chèvremont (BE)

(72) Inventeur: **BERTON, Guy**
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)

(54) **DENT COMPOSITE AVEC INSERT TRONCONIQUE**

(57) La présente invention divulgue une dent composite pour le travail du sol ou des roches, ladite dent comportant un alliage ferreux renforcé au moins en partie par un insert, ladite partie renforcée par l'insert permettant, après réaction in situ, l'obtention d'une macro-microstructure alternée de zones millimétriques concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane séparées par des zones millimétriques substantiellement exemptes de particules globulaires mi-

crométriques de carbures de titane, lesdites zones concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane formant une microstructure dans laquelle les interstices micrométriques entre lesdites particules globulaires sont également occupés par ledit alliage ferreux caractérisée en ce que ladite macro-microstructure engendrée par l'insert est distante d'au moins 2 mm, de préférence au moins 3 mm de la surface distale de ladite dent.

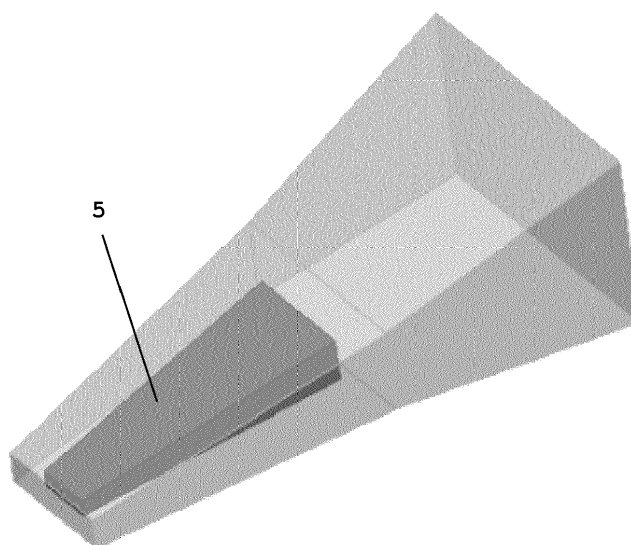


Fig. 10

Description**Objet de l'invention**

[0001] La présente invention se rapporte à une dent composite destinée à équiper une machine pour le travail du sol ou des roches. Elle se rapporte en particulier à une dent réalisée en fonderie comportant une matrice métallique renforcée par un insert substantiellement tronconique ou pyramidal comprenant des particules de carbures de titane formées lors d'une réaction *in situ* au moment de la coulée de la fonte.

Définition

[0002] L'expression « dent » est à interpréter au sens large et comporte tout élément de toute dimension, présentant une forme pointue ou aplatie, destiné notamment à travailler le sol, le fond des cours d'eau ou des mers, les roches, en surface ou dans les mines.

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 millimètres). Pour les dents 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'une dent est utilisée sur une grande partie de sa longueur.

[0004] Il est connu de recharger des dents avec des carbures métalliques (Technosphère® - Technogenia) par soudage oxyacétylénique. Un tel rechargement permet de déposer une couche de carbures de quelques millimètres d'épaisseur à la surface d'une dent. Un tel renfort n'est cependant pas intégré à la matrice métallique de la dent et ne garantit pas la même performance qu'une dent où un renfort de carbures est entièrement incorporé dans la masse de la matrice métallique.

[0005] Le document WO2010031660 divulgue une dent composite pour le travail du sol ou des roches, réalisée en fonderie et comportant un alliage ferreux renforcé au moins en partie avec du carbure de titane formé *in situ* selon une géométrie définie. La partie renforcée de la dent comporte une macro-microstructure alternée de zones millimétriques concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane séparées par des zones millimétriques globalement exemptes de particules globulaires micrométriques de carbures de titane. Les zones concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane forment une microstructure dans laquelle les interstices micrométriques entre les particules globulaires sont également occupés par ledit alliage ferreux.

Buts de l'invention

[0006] La présente invention vise à améliorer la performance des dents composites de l'art antérieur, elle vise à offrir une résistance améliorée contre l'usure tout en maintenant une bonne résistance aux chocs. Cette propriété est obtenue par un insert de renforcement spécifiquement conçu pour cette application, insert comprenant une structure faisant alterner à l'échelle millimétrique des zones denses en fines particules globulaires micrométriques de carbures métalliques formés *in situ* avec des zones qui en sont pratiquement exemptes au sein de la matrice métallique de la dent, la macro-microstructure de l'insert ayant une forme substantiellement tronconique aplatie ou une forme de pyramide, préférentiellement tronquée à base rectangulaire ou carrée, ladite forme pouvant être creuse. L'évidement de l'insert permet un « remplissage » plus rapide de l'insert de carbures de titane en formation *in situ* lors de la coulée.

[0007] La présente invention propose également un procédé pour l'obtention de ladite structure de renforcement.

Résumé de l'invention

[0008] La présente invention divulgue une dent composite pour le travail du sol ou des roches, ladite dent comportant un alliage ferreux renforcé au moins en partie par un insert dans laquelle ladite partie renforcée par l'insert permet, après réaction *in situ*, l'obtention d'une macro-microstructure alternée de zones millimétriques concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane séparées par des zones millimétriques substantiellement exemptes de particules globulaires micrométriques de carbures de titane, lesdites zones concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane formant une microstructure dans laquelle les interstices micrométriques entre lesdites particules globulaires sont également occupés par ledit alliage ferreux et où ladite macro-microstructure engendrée par l'insert est distante de quelques millimètres de la surface distale de la dent, de préférence au moins 2 à 3 mm, et de manière particulièrement préférée, 4 ou 5, voire 6 mm de la surface distale de la dent. Il est essentiel que la partie

renforcée n'affleure pas la surface de ladite dent.

[0009] Selon des modes particuliers de l'invention, la dent composite comporte au moins une ou une combinaison appropriée des caractéristiques suivantes :

- 5 - L'insert a une forme tronconique aplatie ou une forme pyramidale tronquée à base rectangulaire ou carrée, pleine ou au moins partiellement creuse ;
- lesdites zones millimétriques concentrées ont une concentration en particules globulaires micrométriques de carbures de titane supérieure à 35% en volume ;
- ladite partie renforcée par l'insert a une teneur globale de carbures de titane entre 25 et 45 % en volume;
- 10 - les particules micrométriques globulaires de carbures de titane ont une taille inférieure à 50 μ m, préférablement inférieure à 20 μ m;
- lesdites zones concentrées en particules globulaires de carbures de titane comportent 36.9 à 72.2 % en volume de carbures de titane ;
- lesdites zones concentrées en carbures de titane ont une dimension variant de 0.5 à 12 mm, de préférence variant de 0.5 à 6 mm, de manière particulièrement préférée variant entre 1.4 à 4 mm.

[0010] La présente invention divulgue également un procédé de fabrication de la dent composite selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

[0011] Selon des modes particuliers de l'invention, le procédé comporte au moins une ou une combinaison appropriée des caractéristiques suivantes :

- mise à disposition d'un insert sous forme de granulés millimétriques d'un mélange de poudres compactées comportant du carbone et du titane précurseurs de carbures de titane ; celui-ci peut être obtenu par moulage avec de la colle ou par confinement dans une enveloppe métallique qui fondra lors de la coulée.
- 25 - introduction de l'insert dans le moule de la dent de sorte que ledit insert est maintenu à quelques millimètres de la surface distale de la dent ;
- coulée d'un alliage ferreux dans le moule, la chaleur de ladite coulée déclenchant une réaction exothermique de synthèse auto-propagée de carbures de titane à haute température (SHS) au sein desdits granulés précurseurs;
- formation, au sein de l'insert de la dent, d'une macro-microstructure alternée de zones millimétriques concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane à l'emplacement desdits granulés précurseurs, lesdites zones étant séparées entre elles par des zones millimétriques substantiellement exemptes de particules globulaires micrométriques de carbures de titane, lesdites particules globulaires étant également séparées au sein desdites zones millimétriques concentrées de carbures de titane par des interstices micrométriques, dans ladite macro-microstructure ;
- 30 - infiltration des interstices millimétriques, des interstices micrométriques par ledit alliage ferreux de coulée à haute température, consécutive à la formation de particules microscopiques globulaires de carbures de titane.
- l'insert est réalisé par moulage ou confinement.

[0012] La présente invention divulgue également une dent composite obtenue selon le procédé de l'invention.

Brève description des figures

[0013]

La figure 1a montre une vue en trois dimensions d'une dent du commerce destinée à être renforcée selon l'invention. Ce type de dent peut avoir des dimensions très variables allant en moyenne de quelques dizaines de centimètres à plus d'un mètre

La figure 1b montre une vue schématique en trois dimensions d'une dent avec un renforcement tronconique affleurant la surface de l'extrémité distale de la dent selon l'état de la technique.

Les figures 1c et 1d montrent des dents renforcées selon l'invention avec un insert de forme substantiellement tronconique plein ou au moins partiellement creux. L'insert se trouve ici à une distance de quelques millimètres de la surface à l'extrémité distale de la dent renforcée. Il n'affleure donc pas la surface de la dent.

Les figures 2a-2h représentent le procédé de fabrication de la dent selon l'invention.

- l'étape 2a montre le dispositif de mélange des poudres de titane et de carbone ;
- l'étape 2b montre la compaction des poudres entre deux rouleaux suivie d'un concassage et d'un tamisage avec recyclage des particules trop fines ;
- la figure 2c montre un moule de sable dans lequel on a placé un barrage pour contenir les granulés de poudre

- compactés à l'endroit du renforcement de la dent;
- la figure 2d montre un agrandissement de la zone de renforcement dans laquelle se trouvent les granulés compactés comportant les réactifs précurseurs du TiC ;
- l'étape 2e montre la coulée de l'alliage ferreux dans le moule ;
- la figure 2f montre schématiquement la dent résultant de la coulée ;
- la figure 2g montre un agrandissement des zones à forte concentration en globules de TiC - ce schéma représente les mêmes zones que dans la figure 3 ;
- la figure 2h montre un agrandissement au sein d'une même zone à forte concentration en globules de TiC - les globules micrométriques sont individuellement entourés par le métal de coulée.

La figure 3 représente une vue au binoculaire d'une surface polie, non attaquée, d'une coupe de la partie renforcée de la dent selon l'invention avec des zones millimétriques (en gris clair) concentrées en carbures de titane globulaires micrométriques (globules de TiC). La partie sombre représente la matrice métallique (acier ou fonte) remplissant à la fois l'espace entre ces zones concentrées en carbures de titane globulaires micrométriques mais aussi les espaces entre les globules eux-mêmes. (Voir figures 4 et 5).

Les figures 4 et 5 représentent des vues prises au microscope électronique SEM de carbures de titane globulaires micrométriques sur des surfaces polies et non attaquées à des grossissements différents. On voit que dans ce cas particulier la plupart des globules de carbures de titane ont une taille inférieure à 10 μm .

La figure 6 représente une vue de carbures de titane globulaires micrométriques sur une surface de rupture prise au microscope électronique SEM. On voit que les globules de carbures de titane sont parfaitement incorporés dans la matrice métallique. Ceci prouve que le métal de coulée infiltre (imprègne) complètement les pores lors de la coulée une fois que la réaction chimique entre le titane et le carbone est initiée lors de la réaction SHS.

La figure 7 représente deux coupes longitudinales d'un exemple de dent selon l'invention, les deux coupes étant perpendiculaires l'une par rapport à l'autre. Sur cette figure, l'insert est tronconique creux.

La figure 8 représente deux coupes longitudinales d'un autre exemple de dent selon l'invention, les deux coupes étant perpendiculaires entre elles. L'insert de la figure 8 comprend plusieurs tunnels traversant de manière longitudinale le cône tronqué.

La figure 9 représente deux vues en trois dimensions d'une dent selon l'invention, les deux vues étant perpendiculaires l'une par rapport à l'autre.

La figure 10 représente une vue en trois dimensions d'une dent selon l'invention comprenant un insert sous forme de pyramide tronquée à base rectangulaire ou carrée. Dans cet exemple, l'insert est plein.

La figure 11 représente un confinement métallique pour les granulés compactés de mélange Ti/C. Ce confinement permet de mettre le mélange de granules sous une forme tronconique aplatie, au moins partiellement creuse.

Légende

[0014]

1. zones millimétriques concentrées en particules globulaires (nodules) micrométriques de carbures de titane (zones claires)
2. interstices millimétriques remplis par l'alliage ferreux de coulée globalement exempts de particules globulaires micrométriques de carbures de titane (zones foncées)
3. interstices micrométriques entre les nodules de TiC également infiltrés par l'alliage de coulée
4. carbures de titane globulaires micrométriques, dans les zones concentrées en carbures de titane
5. insert de forme tronconique ou de forme pyramidale, plein ou partiellement ou entièrement creux, entièrement intégré à la matrice en fonte et distant de quelques millimètres de l'extrémité distale de la dent.
6. défauts de gaz
7. confinement métallique pour les granulés compactés de mélange Ti/C
8. mélangeur de poudres de Ti et de C
9. trémie
10. rouleau
11. concasseur
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

Description détaillée de l'invention

[0015] 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 et n'a pas été ajouté sous forme de TiC broyé en poudre dans le moule.

[0016] 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. 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. 2a-2h).

[0017] Ces granulés millimétriques de poudres de carbone et de titane mélangées obtenus selon les schémas de la figure 2a-2h constituent les précurseurs du carbure de titane à créer.

[0018] La dent composite pour le travail du sol ou des roches selon la présente invention comprend un insert de type tronconique ou pyramidal préférentiellement tronqué à base rectangulaire ou carrée, de préférence de type creux, réalisé en grains par un mélange de poudres de carbone et de titane et permettant, après réaction SHS, l'obtention d'une macro-microstructure c'est-à-dire un réseau de renforcement que l'on peut encore appeler structure alternée tridimensionnelle de zones concentrées en particules micrométriques globulaires de carbures de titane séparées par des zones qui en sont pratiquement exemptes. Une telle structure est obtenue par la réaction dans le moule des granulés comportant un mélange de poudres de carbone et de titane et ayant été préalablement mis en forme soit par colmatage des grains par de la colle dans un moule ou simplement dans un confinement métallique perforé qui fondra au moins partiellement lors de la coulée. La réaction SHS est initiée par la chaleur de la coulée de la fonte ou de l'acier utilisés pour couler toute la pièce de la dent et donc à la fois la partie non renforcée et la partie renforcée (voir Fig. 2e). 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), préalablement agglomérés sous forme d'insert tronconique, de préférence au moins partiellement creux et placé dans le moule. La réaction a alors la particularité de continuer à se propager dès qu'elle est initiée.

[0019] 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. 2g & 2h). En augmentant la mouillabilité, l'infiltration peut se faire sur n'importe quelle épaisseur ou profondeur de renforcement de la dent. Elle permet avantageusement de créer, après réaction SHS et infiltration par un métal de coulée extérieur, un insert n'affleurant pas l'extrémité distale de la dent et comprenant une forte concentration de particules globulaires micrométriques de carbures 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 carbures de titane globulaires.

[0020] 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 de carbures TiC (globules) dont les interstices micrométriques 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 la dent ; ceci permet une liberté totale de choix du métal de coulée. Dans la dent finalement obtenue, les zones de renfort à forte concentration de carbures 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.

[0021] Par particules globulaires micrométriques, il faut entendre des particules globalement sphéroïdales qui ont une taille allant du micromètre à quelques dizaines de micromètres 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. 5).

Obtention des granulés (version Ti + C) pour le renforcement de la dent

[0022] Le procédé d'obtention des granulés est illustré à la figure 2a-2h. Les granulés de réactifs carbone/titane sont obtenus par compaction entre des rouleaux afin d'obtenir des bandes que l'on concasse ensuite dans un concasseur. Le mélange des poudres est fait dans un mélangeur constitué d'une cuve munie de pales, afin de favoriser l'homogénéité. Le mélange passe ensuite dans un appareil de granulation par une trémie. 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.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] 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 la dent composite selon invention

[0027] Les granulés sont réalisés comme exposé ci-dessus. Pour obtenir une structure tridimensionnelle de type tronconique aplatie ou de type pyramidale préférentiellement tronquée à base rectangulaire ou carrée, ou une superstructure/macro-microstructure avec ces granulés, on les dispose dans un moule 7 à insert et les granulés y sont agglomérés soit au moyen d'une colle, soit par tout autre moyen comme par exemple un confinement métallique perforé qui fondra au moins partiellement lors de la coulée. Le moule à insert est par exemple un moule en élastomère permettant de donner la forme finale désirée à l'insert 5. L'insert, de forme tronconique creuse ou non, sera disposé de telle manière dans le moule de coulée à ne pas affleurer la surface distale de la dent. On veillera toujours à maintenir un espace de quelques millimètres entre l'extrémité de l'insert et la surface extérieure obtenue après coulée de la dent à l'endroit où cette distance est la plus petite, à savoir l'extrémité distale de la dent qui est la plus soumise à l'usure. La distance sera d'ailleurs variable en fonction de la taille de la dent. Elle devra être au minimum de 1mm, de préférence au moins de 2 ou 3 mm et de manière particulièrement préférée au moins de 4 ou 5 mm.

[0028] 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.

[0029] Avant réaction, on a donc un agglomérat de granulés poreux composés d'un mélange de poudre de titane et de poudre de carbone, formant un insert tronconique aplati ou un insert pyramidal tronqué à base rectangulaire ou carrée, l'insert pouvant être plein ou au moins partiellement creux.

[0030] L'insert est ensuite placé dans le moule 15 de la dent, dans la zone du moule où l'on souhaite renforcer la pièce. L'insert est placé comme illustré par les figures 7 à 10 de manière à ce qu'il n'affleure pas la surface de la dent une fois que celle-ci sera formée. Ensuite, le métal pour former la dent est coulé dans le moule 15.

[0031] 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 carbures de titane, dépendant du niveau de compaction initial de ces granulés ;
- les espaces millimétriques entre les zones à forte concentration en carbures 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.
- éventuellement l'espace central creux de l'insert si celui-ci est creux au départ.

Exemples

[0032] Dans l'exemple qui suit, on a utilisé les matières premières suivantes :

- 5 - 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 :
- 10 - 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.

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

15 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.

L'insert a été réalisé en confinant des granulés Ti+C dans un contenant métallique perforé (tôle mince perforée) qui a été ensuite placé judicieusement dans le moule de coulée de la dent à quelques millimètres de la surface du moule, à l'endroit où la dent est susceptible d'être renforcée. Ensuite, on coule l'acier ou la fonte dans ce moule et le contenant perforé fond en libérant l'espace pour l'infiltration par le métal de coulée.

Exemple 1

[0033] Dans cet exemple, un alliage ferreux en poudre est ajouté au mélange carbone-titane afin d'atténuer l'intensité de la réaction entre le carbone et le titane. On vise à réaliser une dent 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 2 g/cm³ (45 % d'espace entre les granules + 15 % de porosité dans les granules). On dispose les granules dans un confinement qui comporte ainsi après damage et/ou vibration 60% en volume de granules poreux en tenant compte des perforations réalisées. Après réaction, on obtient dans la partie renforcée 60% en volume de zones avec une forte concentration d'environ 55% en carbures de titane globulaires, soit 33% en volume de carbures de titane global dans la macro-microstructure renforcée de la dent.

[0034] Les tableaux suivants montrent les nombreuses combinaisons possibles.

Tableau 1

Pourcentage global de TiC obtenu dans la macro-microstructure renforcée après réaction Ti + 0.98 C + Fe dans la partie renforcée de la dent.										
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 avec 23% de perforation (% vol)	80	22.9	25.0	27.1	29.2	31.2	33.3	35.4	37.5	39.6
	75	21.5	23.4	25.4	27.3	29.3	31.2	33.2	35.1	37.1
	70	20.0	21.9	23.7	25.5	27.3	29.2	31.0	32.8	34.6
	65	18.6	20.3	22.0	23.7	25.4	27.1	28.8	30.5	32.2
	55	15.8	17.2	18.6	20.0	21.5	22.9	24.3	25.8	27.2
	45	12.9	14.1	15.2	16.4	17.6	18.7	19.9	21.1	22.3

[0035] Pour obtenir une concentration globale en TiC dans la partie renforcée d'environ 25 % vol (en lettres grasses dans le tableau), on peut procéder à différentes combinaisons comme par exemple 60 % de compaction et 80 % de remplissage, ou 65 % de compaction et 75 % de remplissage, ou 70 % de compaction et 70 % de remplissage, ou encore 85 % de compaction et 55 % de remplissage.

EP 3 563 951 A1

Tableau 2

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/cm ³	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 3

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.	80	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.2
	75	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9	3.0
	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 de la dent selon l'invention

Meilleure résistance de l'insert à la fissuration et à la rupture

[0036] La présente invention permet une diminution du phénomène de fissuration de la dent, lors de sa fabrication mais aussi en utilisation.

[0037] Lors de la fabrication des dents, le taux de rejet est réduit, en particulier grâce à des cônes tronconiques creux ou des pyramides tronquées creuses qui permettent de diminuer globalement la concentration de céramique dans la pièce. Une présence de céramique trop importante provoque potentiellement des défauts de fissuration et/ou d'infiltration.

[0038] D'autre part, l'usure des dents en utilisation est réduite grâce aux inserts de la présente invention. En effet, la fissuration de la céramique est diminuée lorsque l'insert ne se trouve pas immédiatement exposé en surface. Les amorces de rupture qui pourraient fragiliser la dent sollicitée en service sont ainsi limitées.

[0039] Par ailleurs, 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

[0040] Outre le niveau de compaction des granulés, on peut faire varier la forme et l'épaisseur de paroi de l'insert tronconique ou pyramidal quand celui-ci est creux.

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

[0041] Le coefficient de dilatation du renforcement TiC est plus faible que celui de la matrice en alliage ferreux (coefficient de dilatation du TiC : $7.5 \cdot 10^{-6}/K$ et de l'alliage ferreux : environ $12.0 \cdot 10^{-6}/K$). 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, les évidements dans l'insert permettent de diminuer la proportion de renforcement TiC (moins de 45 % en volume dans la macro-microstructure renforcée), ce qui entraîne moins de tensions dans la pièce. De plus, la présence d'une matrice plus ductile entre les particules globulaires micrométriques et TiC en zones alternées de faible et de forte concentration permet de mieux gérer d'éventuelles tensions locales.

Excellent maintien du renforcement dans la dent

[0042] Dans la présente invention, la frontière entre l'insert et la partie non renforcée de la dent n'est pas abrupte puisqu'il y a une continuité de la matrice métallique entre l'insert et la partie non renforcée, grâce aux inserts tronconiques et pyramidaux creux, ce qui permet de la protéger contre un arrachage complet de l'insert.

Diminution des coûts et augmentation de la vitesse de formation des dents

[0043] Le faible volume d'un insert tronconique ou pyramidal creux permet aussi de diminuer la quantité globale de TiC, diminuant de la même manière le coût de la pièce.

[0044] Les creux permettent par ailleurs un « remplissage » plus rapide de l'insert lors de la coulée.

Résultats de test

[0045] Les avantages de la dent selon la présente invention par rapport à une dent composite de l'invention décrite précédemment telle que représentée sur la figure 1b sont une amélioration de la résistance à la casse lors d'essais de flexion sur banc d'essai de l'ordre de 300%. De manière plus détaillée, et suivant les circonstances d'essai, on a pu constater les performances suivantes (exprimées en kN, qui représente la charge maximale avant rupture) pour les produits réalisés selon l'invention (renforcement de type Fig. 8 comportant globalement un pourcentage en volume de TiC de 33% - exemple 1) par comparaison à des dents identiques avec un renforcement de type Fig. 1a : 2.8 fois.

Revendications

1. Dent composite pour le travail du sol ou des roches, ladite dent comportant un alliage ferreux renforcé au moins en partie par un insert (5), ladite partie renforcée par l'insert (5) permettant, après réaction in situ, l'obtention d'une macro-microstructure alternée de zones millimétriques (1) concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane (4) séparées par des zones millimétriques (2) substantiellement exemptes de particules globulaires micrométriques de carbures de titane (4), lesdites zones concentrées en particules globulaires micrométriques de carbures de titane (4) formant une microstructure dans laquelle les interstices micrométriques (3) entre lesdites particules globulaires (4) sont également occupés par ledit alliage ferreux et **caractérisée en ce que** ladite macro-microstructure engendrée par l'insert (5) est distante d'au moins 2 mm, de préférence au moins 3 mm de la surface distale de ladite dent.
2. Dent selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'insert (5) a une forme tronconique aplatie ou une forme pyramidale tronquée à base rectangulaire ou carrée, pleine ou au moins partiellement creuse.
3. Dent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle lesdites zones millimétriques concentrées ont une concentration en particules globulaires micrométriques de carbures de titane (4) supérieure à 35% en volume.
4. Dent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle ladite partie renforcée par l'insert (5) a une teneur globale de carbures de titane entre 25 et 45 % en volume.
5. Dent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les particules micrométriques globulaires de carbures de titane (4) ont une taille inférieure à $50\mu m$, préférablement inférieure à $20\mu m$.

6. Dent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle lesdites zones concentrées en particules globulaires de carbures de titane (1) comportent 36.9 à 72.2 % en volume de carbures de titane.

7. Dent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle lesdites zones concentrées en carbures de titane (1) ont une dimension variant de 0.5 à 12 mm, de préférence variant de 0.5 à 6 mm, de manière particulièrement préférée variant entre 1.4 à 4 mm.

8. Procédé de fabrication par coulée d'une dent composite selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comportant les étapes suivantes :

- mise à disposition d'un insert sous forme de granulés millimétriques d'un mélange de poudres compactées comportant du carbone et du titane précurseurs de carbures de titane,
- introduction de l'insert (5) dans le moule (15) de la dent de sorte que ledit insert (5) est maintenu à quelques millimètres de la surface distale de la dent ;
- coulée d'un alliage ferreux dans le moule (15), la chaleur de ladite coulée déclenchant une réaction exothermique de synthèse auto-propagée de carbures de titane à haute température (SHS) au sein desdits granulés précurseurs;
- formation, au sein de l'insert (5) de la dent d'une macro-microstructure alternée de zones millimétriques concentrées (1) en particules globulaires micrométriques de carbures de titane (4) à l'emplacement desdits granulés précurseurs, lesdites zones étant séparées entre elles par des zones millimétriques (2) substantiellement exemptes de particules globulaires micrométriques de carbures de titane (4), lesdites particules globulaires (4) étant également séparées au sein desdites zones millimétriques concentrées (1) de carbures de titane par des interstices micrométriques (3) dans ladite macro-microstructure ;
- infiltration des interstices millimétriques (2), des interstices micrométriques (3) par ledit alliage ferreux de coulée à haute température, consécutive à la formation de particules microscopiques globulaires de carbures de titane (4).

9. Procédé de fabrication selon la revendication 8, dans lequel l'insert (5) a une forme tronconique aplatie ou une forme pyramidale tronquée à base rectangulaire, pleine ou au moins partiellement creuse

10. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, dans lequel le mélange de poudres compactées de titane et de carbone comporte une poudre d'un alliage ferreux.

11. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 8 ou 10, dans lequel ledit carbone est du graphite.

12. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, dans lequel l'insert est réalisé par moulage ou par confinement.

13. Dent obtenue selon le procédé de l'une quelconque des revendications 8 à 12.

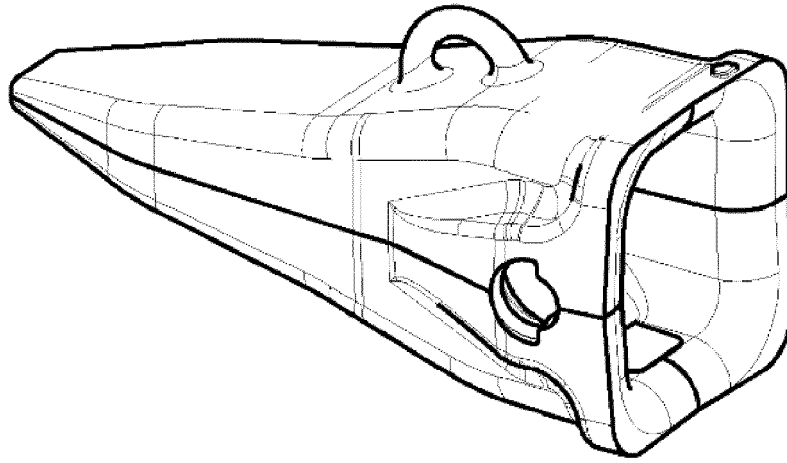


Fig.1a

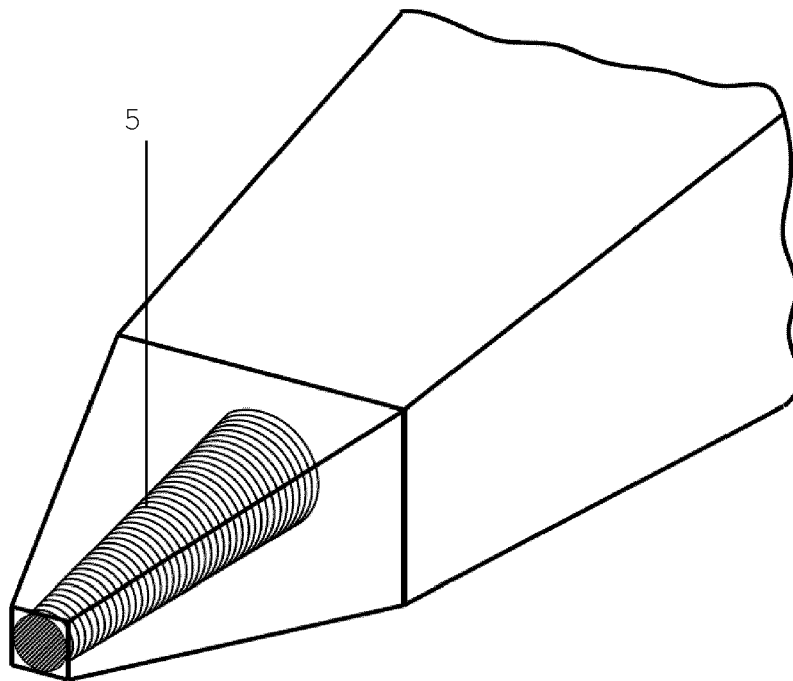


Fig.1b

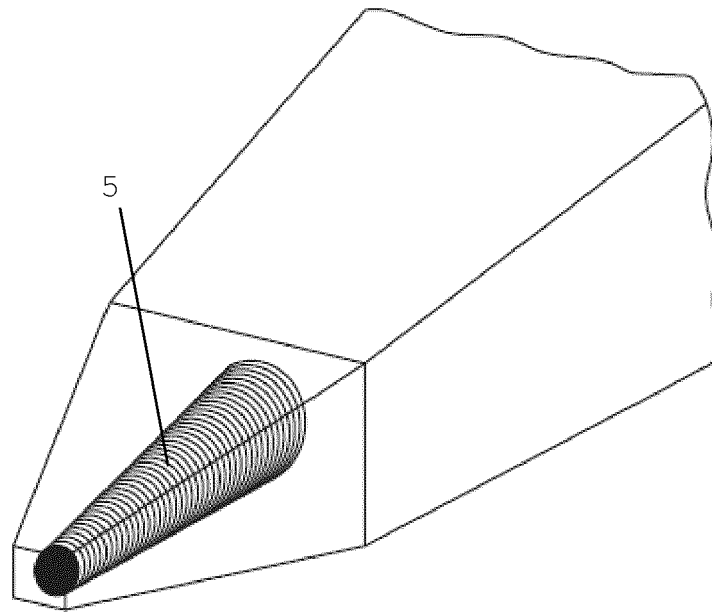


Fig.1c

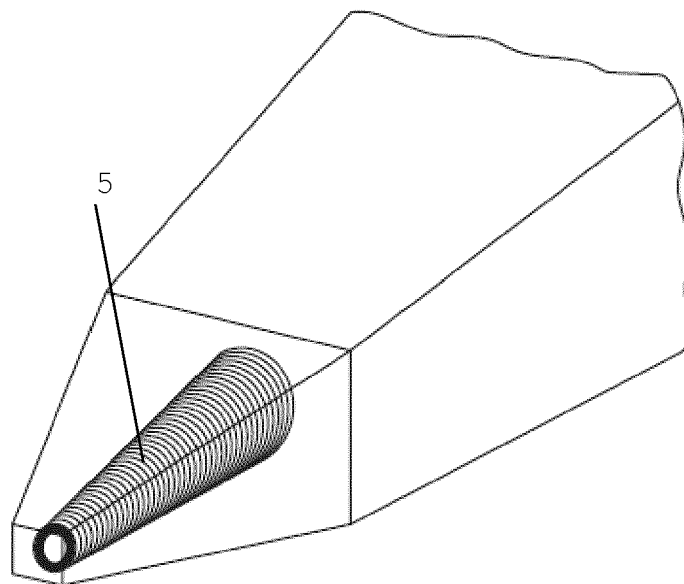


Fig.1d

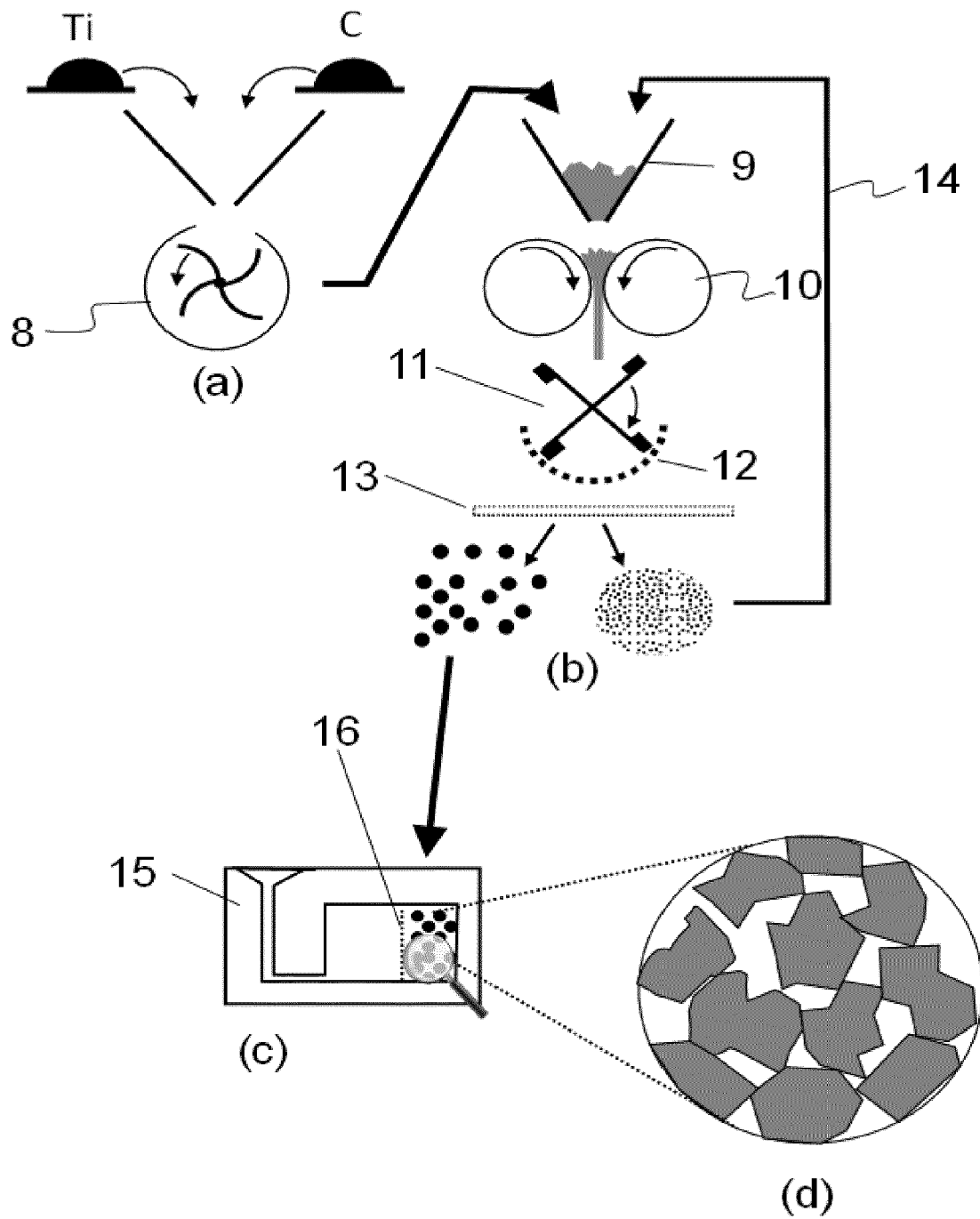


Fig.2a-2d

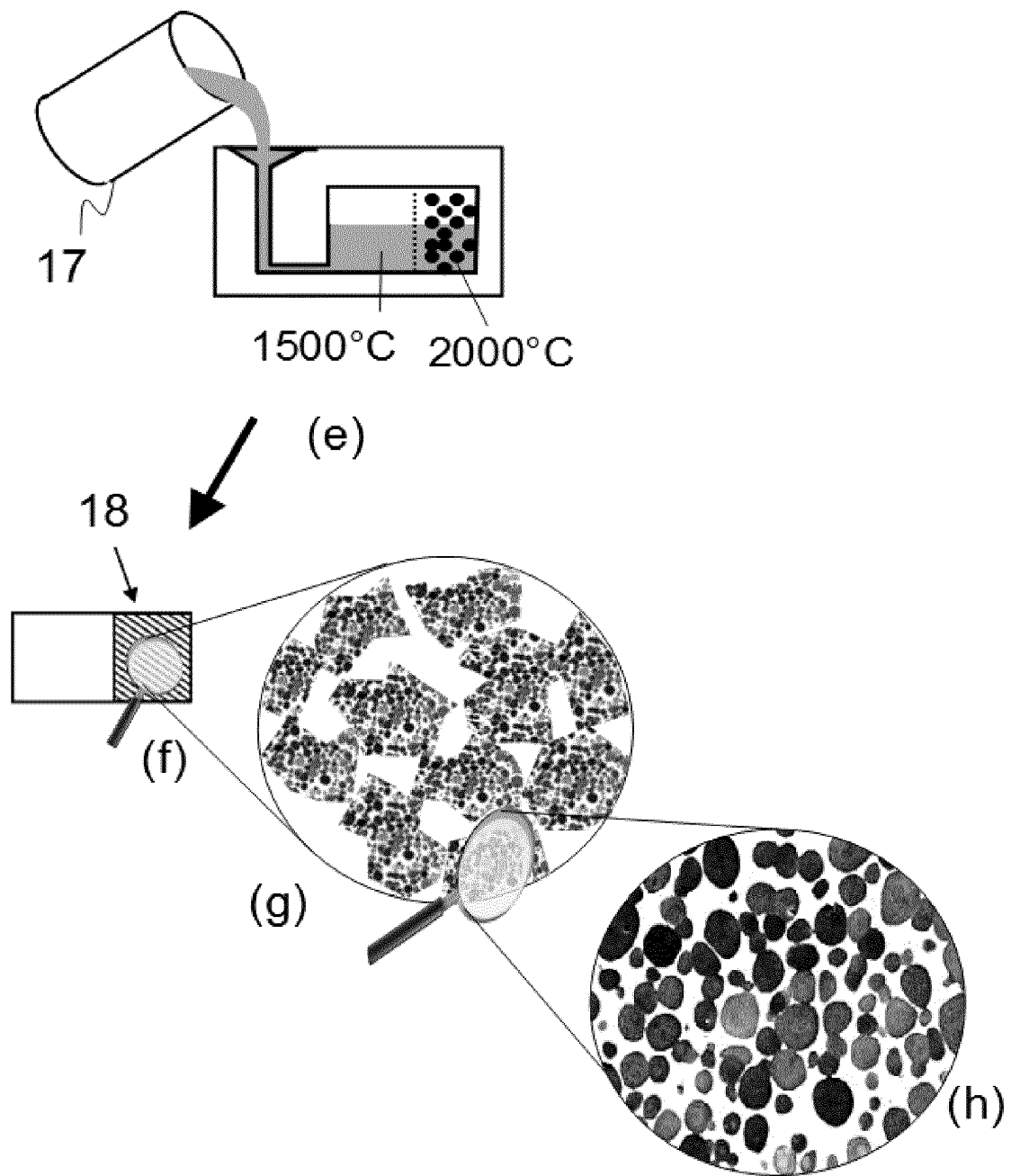


Fig.2e-2h

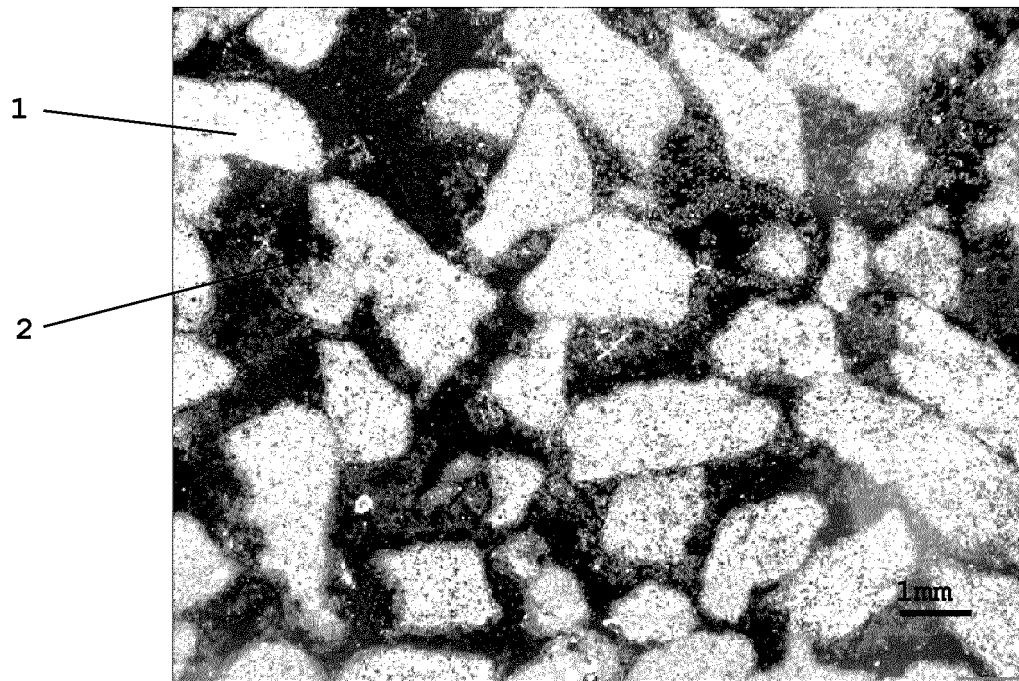


Fig.3

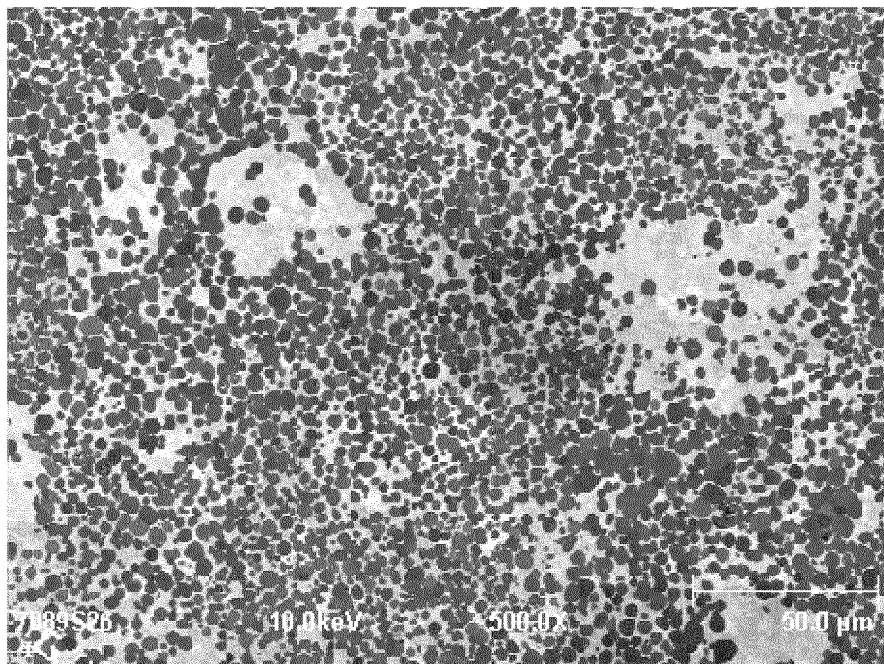


Fig.4

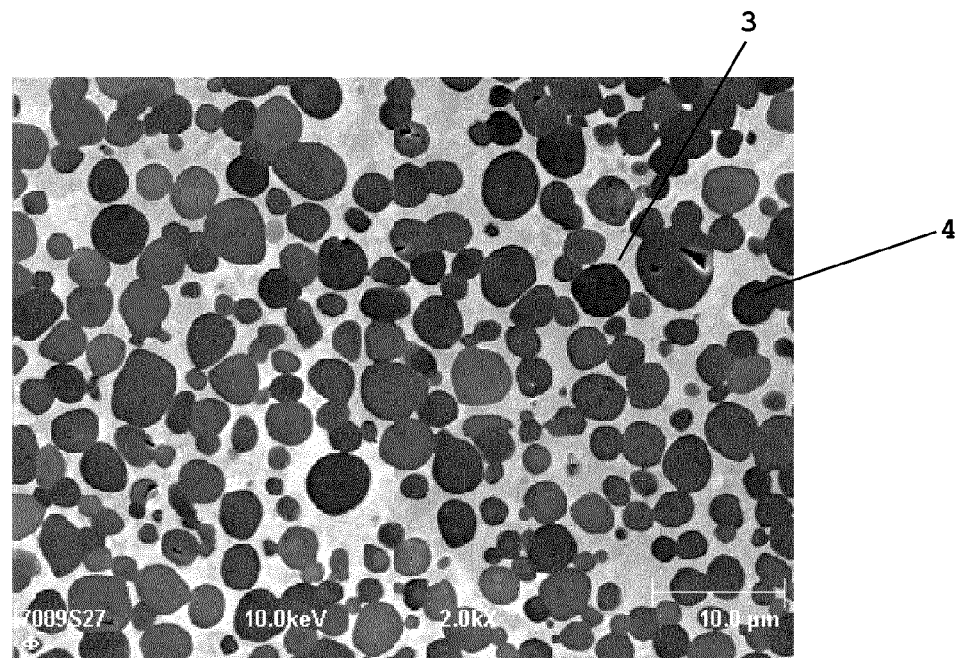


Fig.5

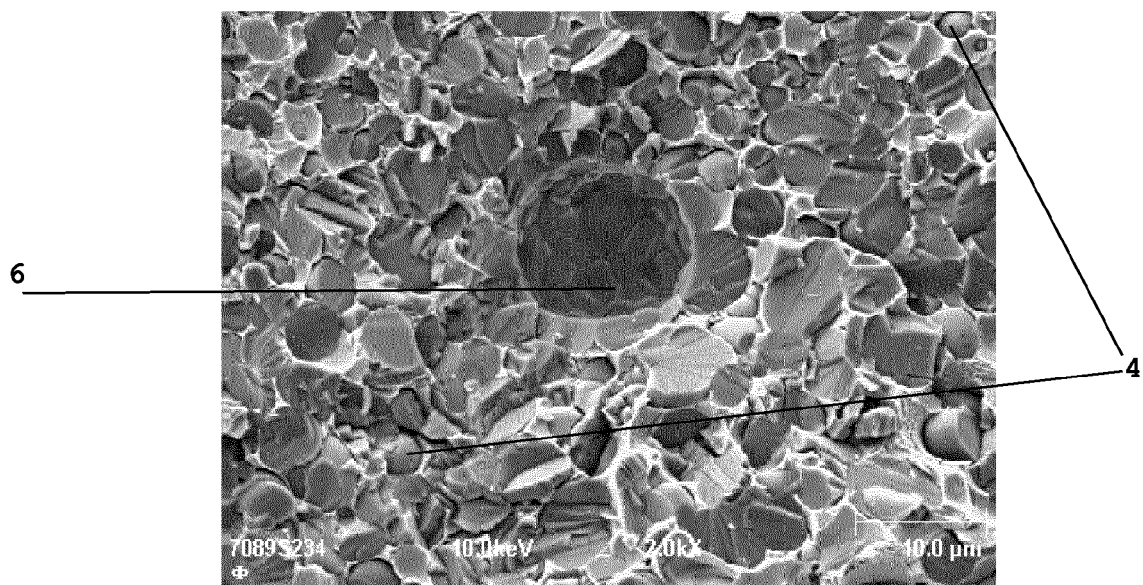


Fig.6

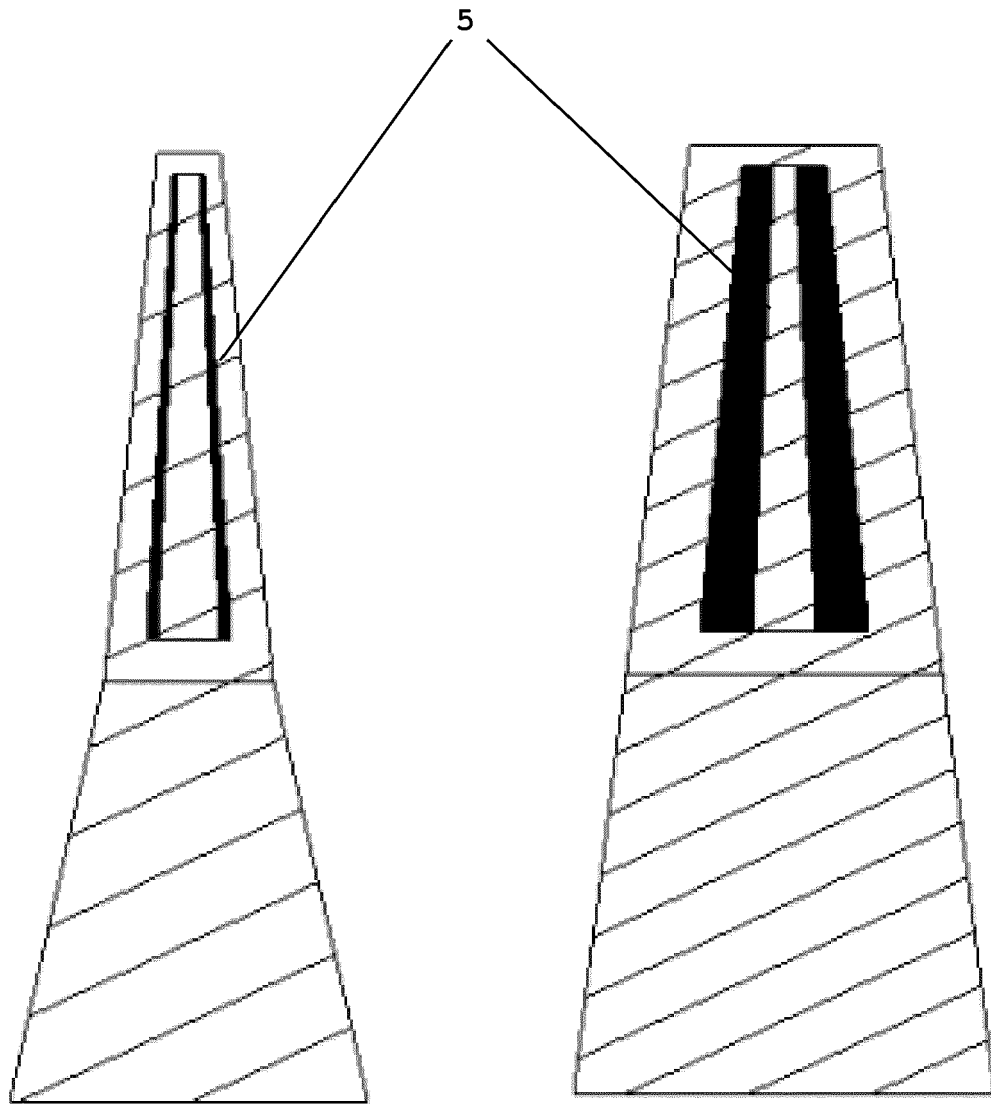


Fig.7

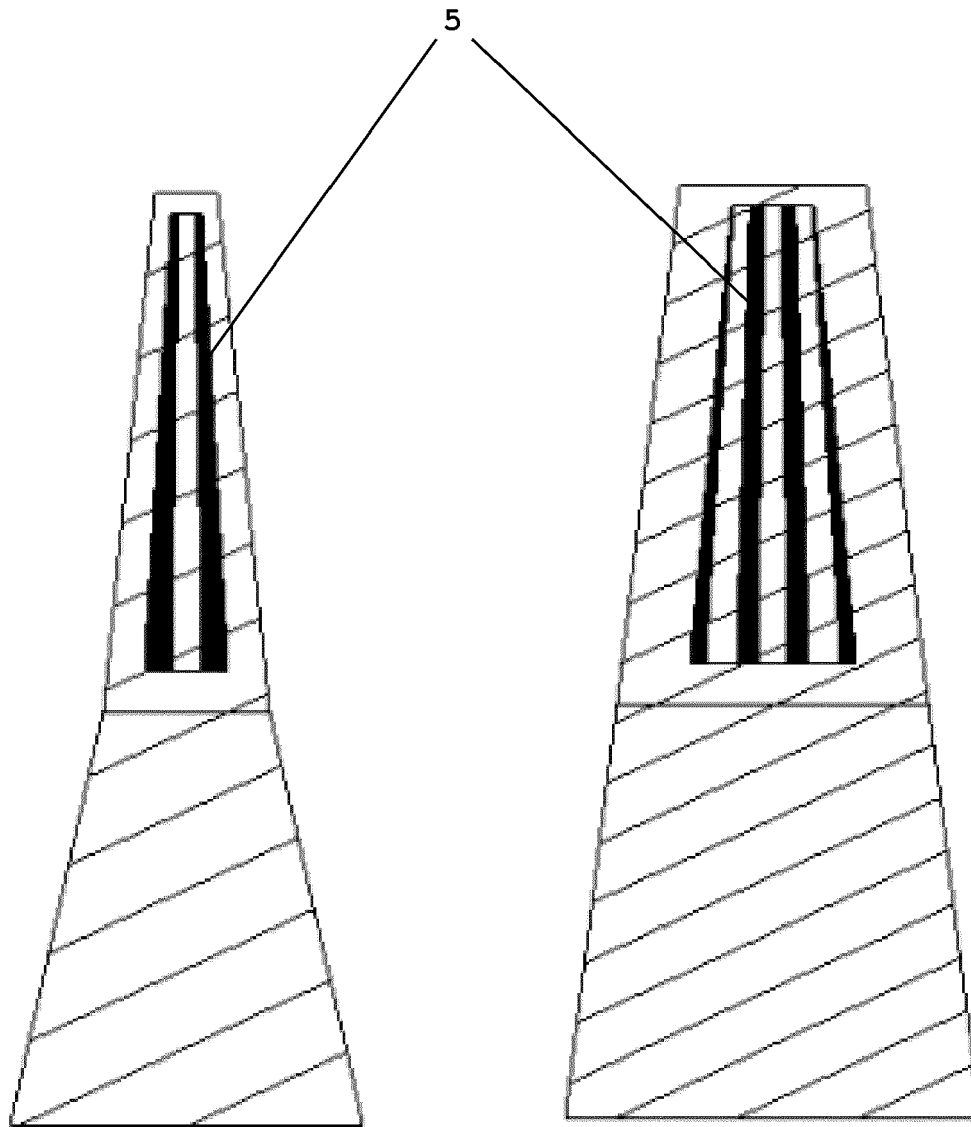


Fig. 8

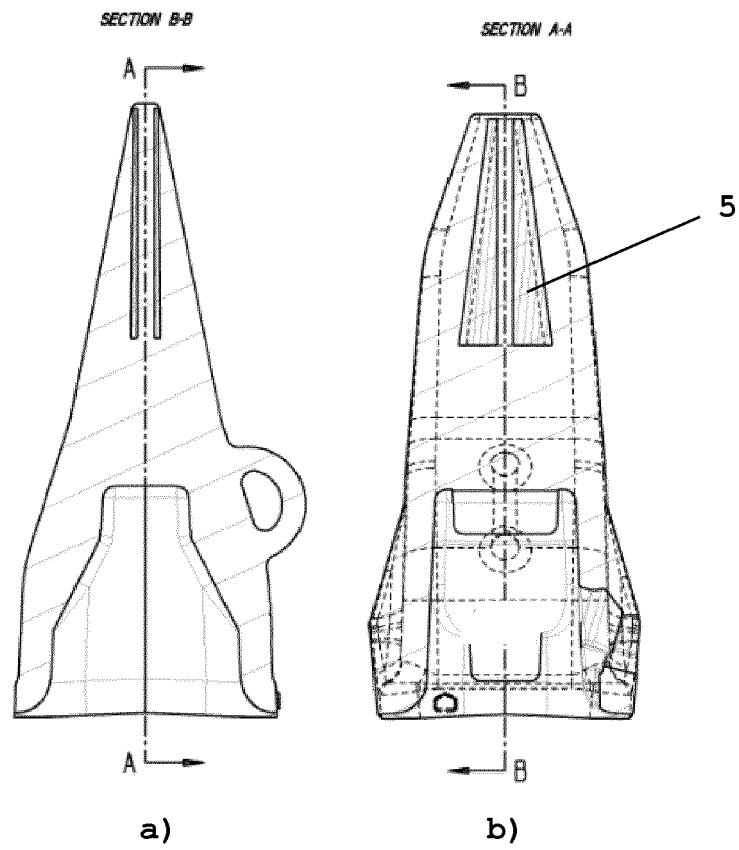


Fig. 9

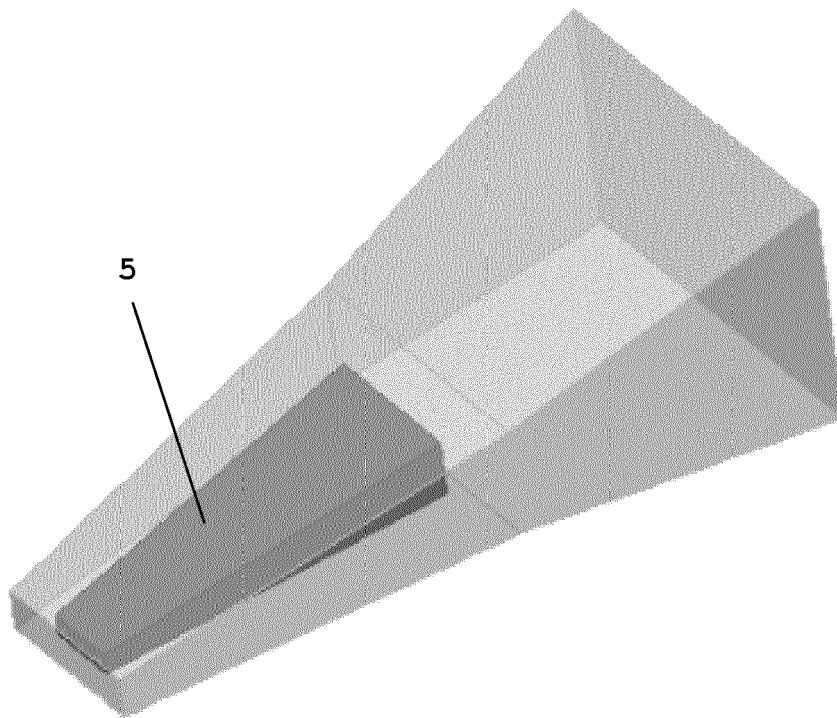


Fig. 10

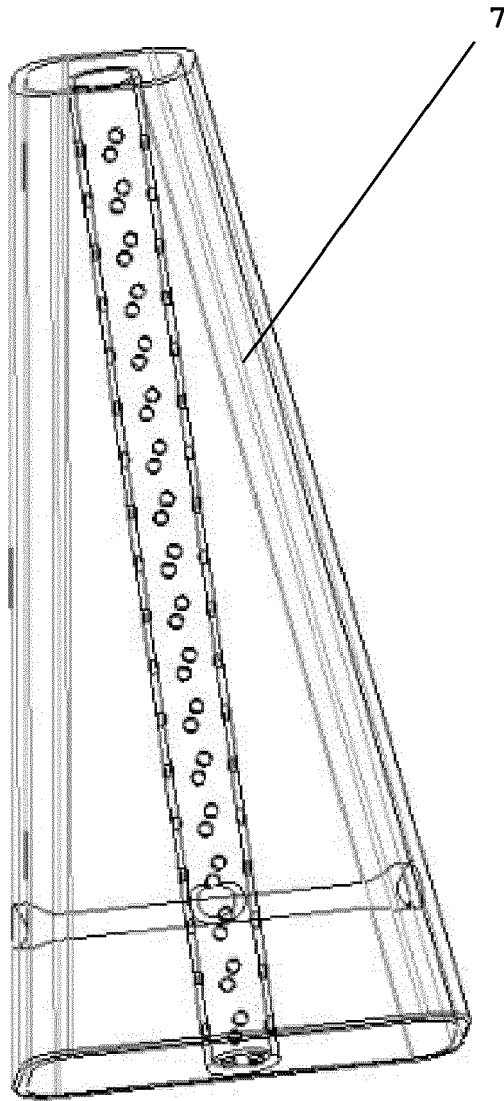


Fig. 11



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 18 17 0766

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2017/233986 A1 (YANIAK THOMAS JOHN [US] ET AL) 17 août 2017 (2017-08-17)	1,9-13	INV.
A	* figures 1, 3B *	2-8	B22F3/23
	* alinéa [0012] - alinéa [0016] *		B22F5/08
	* alinéa [0022] - alinéa [0024] *		C22C1/05
	* alinéa [0027] - alinéa [0030] *		C22C1/10
	-----		C22C29/10
X,D	WO 2010/031660 A1 (MAGOTTEAUX INT [BE]; BERTON GUY [BE]) 25 mars 2010 (2010-03-25)	8-13	B22D19/02
Y	* figure 1f *	1-7	B22D19/06
	* alinéa [0010] - alinéa [0014] *		C22C33/02
	* alinéa [0035] *		E02F9/28
	* alinéa [0038] *		
	* alinéas [0056], [0059] *		ADD.
	* exemples 1, 2 *		B22F7/06
	-----		B22F5/00
Y	US 5 337 801 A (MATERKOWSKI JAMES P [US]) 16 août 1994 (1994-08-16)	1-7	
	* figures 1-3 *		
	* colonne 4, ligne 1 - ligne 11 *		

A	JP 2004 092208 A (KOMATSU MFG CO LTD) 25 mars 2004 (2004-03-25)	1-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
	* figures 7,10-12 *		B22F
	* alinéa [0013] *		C22C
	* alinéa [0033] - alinéa [0036] *		B22D
	-----		E02F
A	WO 2017/081665 A1 (INNERCO SP Z O O [PL]) 18 mai 2017 (2017-05-18)	1-13	
	* le document en entier *		

A	US 5 081 774 A (KUWANO YUKIMITSU [JP]) 21 janvier 1992 (1992-01-21)	1-13	
	* le document en entier *		

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		7 novembre 2018	Fodor, Anna
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 18 17 0766

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.
07-11-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2017233986 A1	17-08-2017	US 2017233986 A1	17-08-2017
		WO 2017142739 A1	24-08-2017
WO 2010031660 A1	25-03-2010	AT 549425 T	15-03-2012
		AU 2009294779 A1	25-03-2010
		BE 1018127 A3	04-05-2010
		BR PI0913715 A2	13-10-2015
		CA 2743343 A1	25-03-2010
		CN 102159740 A	17-08-2011
		DK 2329052 T3	09-07-2012
		EP 2329052 A1	08-06-2011
		ES 2383142 T3	18-06-2012
		HK 1157824 A1	10-01-2014
		KR 20110063467 A	10-06-2011
		MY 150582 A	30-01-2014
		PT 2329052 E	25-06-2012
		US 2011225856 A1	22-09-2011
		WO 2010031660 A1	25-03-2010
		ZA 201101623 B	29-08-2012
US 5337801 A	16-08-1994	AT 113666 T	15-11-1994
		AU 634528 B2	25-02-1993
		AU 641100 B2	09-09-1993
		DE 69013901 D1	08-12-1994
		DE 69013901 T2	18-05-1995
		EP 0464087 A1	08-01-1992
		JP H04506180 A	29-10-1992
		US 5066546 A	19-11-1991
		US 5337801 A	16-08-1994
		WO 9011383 A1	04-10-1990
JP 2004092208 A	25-03-2004	AUCUN	
WO 2017081665 A1	18-05-2017	AU 2016352319 A1	07-06-2018
		CA 3003685 A1	18-05-2017
		PE 10322018 A1	27-06-2018
		WO 2017081665 A1	18-05-2017
US 5081774 A	21-01-1992	CA 1309741 C	03-11-1992
		JP 2596106 B2	02-04-1997
		JP H02176026 A	09-07-1990
		US 5081774 A	21-01-1992

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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

- WO 2010031660 A [0005]