

(19)



(11)

**EP 3 915 684 A1**

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:

**01.12.2021 Bulletin 2021/48**(21) Numéro de dépôt: **20177458.5**(22) Date de dépôt: **29.05.2020**

(51) Int Cl.:

<b>B02C 2/00</b> (2006.01)	<b>B02C 13/28</b> (2006.01)
<b>B22D 19/02</b> (2006.01)	<b>B22D 19/04</b> (2006.01)
<b>B22D 19/06</b> (2006.01)	<b>B22D 19/08</b> (2006.01)
<b>C22C 33/04</b> (2006.01)	<b>B22F 3/00</b> (2021.01)
<b>B22F 7/00</b> (2006.01)	<b>C22C 1/04</b> (2006.01)
<b>C22C 1/05</b> (2006.01)	<b>C22C 1/10</b> (2006.01)
<b>C22C 33/02</b> (2006.01)	<b>B22F 5/00</b> (2006.01)
<b>B22F 7/06</b> (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:

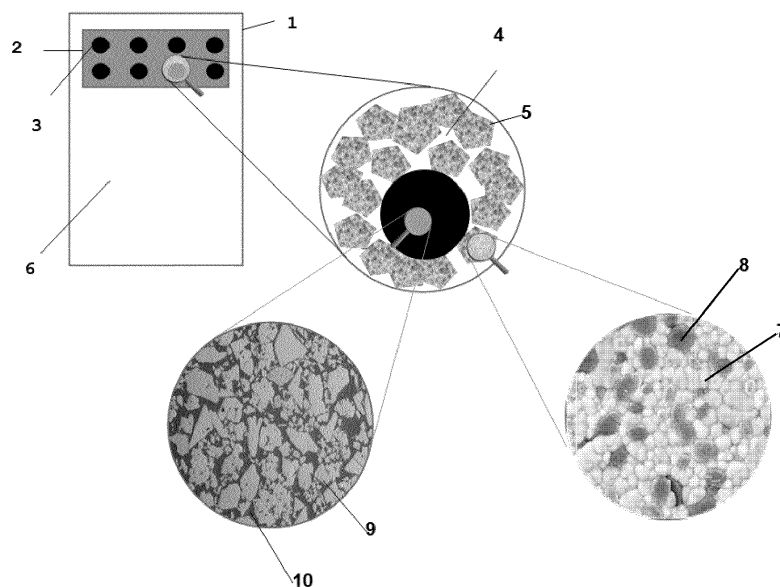
**KH MA MD TN**(71) Demandeur: **Magotteaux International SA****4051 Vaux-sous-Chevremont (BE)**(72) Inventeur: **BERTON, Guy****4210 Oteppe (BE)**(74) Mandataire: **AWA Benelux**

**Parc d'affaires Zénobe Gramme - Bât. K  
Square des Conduites d'Eau 1-2  
4020 Liège (BE)**

**(54) PIÈCE D'USURE COMPOSITE**

(57) La présente invention se rapporte à une pièce d'usure hiérarchique comportant une partie renforcée comprenant de l'alumine, de la zircone ou un alliage d'alumine-zircone, ladite partie renforcée comprenant également des inserts centimétriques de géométrie prédéfinie, lesdits inserts comportant des particules micrométriques de carbures, nitrures, borures métalliques ou en composés intermétalliques liées par une première

matrice métallique, lesdits inserts étant insérés dans une structure de renfort infiltrée par une seconde matrice métallique, la structure de renfort comportant une alternance périodique de zones millimétriques à forte et à faible concentration de particules micrométriques d'alumine, de zircone ou d'un alliage d'alumine-zircone, la seconde matrice métallique étant différente de la première matrice métallique.

**Fig.1**

**Description****Objet de l'invention**

**[0001]** La présente invention se rapporte à une pièce d'usure réalisée en fonderie. Elle se rapporte plus particulièrement à une pièce d'usure hiérarchique comportant une partie renforcée sur son côté le plus sollicité. La partie renforcée est obtenue en plaçant un renfort constitué d'un agrégat de grains millimétriques avec des interstices millimétriques dans un moule en préparation de la coulée de la pièce d'usure. Le renfort comporte également des inserts centimétriques en céramiques préalablement fabriqués selon une géométrie prédéfinie. Les inserts comportent des particules de céramiques micrométriques liées dans une première matrice métallique et les interstices millimétriques du renfort sont infiltrés lors de la coulée par une seconde matrice métallique. La première matrice métallique est indépendante de la seconde matrice métallique.

**[0002]** La présente invention propose également un procédé pour l'obtention de ladite pièce d'usure avec sa structure de renforcement.

**Etat de la technique**

**[0003]** Les installations d'extraction et de fragmentation des minerais et en particulier le matériel de broyage et de concassage sont soumis à de nombreuses contraintes de résistance au choc et à la résistance à l'abrasion.

**[0004]** Dans le domaine du traitement des agrégats, du ciment et des minerais, les pièces d'usure comportent les éjecteurs et enclumes de concasseurs à axe vertical, les marteaux et battoirs de concasseurs à axe horizontal, les cônes pour concasseurs, les tables et galets de broyeurs verticaux, les plaques de blindage et releveurs de broyeurs à boulets ou à barres. Concernant les installations d'extraction minières, nous citerons, entre autres, les pompes pour sables bitumeux ou machines de forage, les pompes de mines et les dents de dragage.

**[0005]** Les pièces d'usure composites réalisées par coulée en fonderie comportant des parties renforcées par des céramiques et infiltrés lors de la coulée sont connues de l'état de la technique.

**[0006]** Le document EP0575685A1 (Sulzer, 1996) décrit une pièce moulée avec des surfaces d'usure renforcées par des corps céramiques poreux intégrés dans une phase métallique, chaque corps céramique présentant une structure ayant la forme d'un réseau tridimensionnel poreux.

**[0007]** Le document WO9815373A1 (Magotteaux, 1997) divulgue une pièce d'usure composite réalisée en fonderie. Elle comporte une matrice métallique avec des renforts réalisés par une structure tridimensionnelle de grains agglomérés comportant une phase homogène de 20 à 80% de  $Al_2O_3$  et 80 à 20% de  $ZrO_2$ .

**[0008]** Le document WO2016008967A1 (Magotteaux, 2015) divulgue des grains de céramique frittés comprenant de 3 à 55 % en poids d'alumine et 40 à 95 % en poids de zircone associés à des composants inorganiques du type oxydes de métaux rares ou oxydes de métaux alcalino-terreux.

**[0009]** Les documents selon l'art antérieur ne permettent cependant pas l'obtention de concentrations élevées de céramiques dans les parties les plus sollicitées de la pièce car les structures tridimensionnelles d'agrégats de grains millimétriques lors de la coulée nécessitent des proportions d'interstices suffisants pour permettre l'infiltration complète de cette structure de renfort par l'alliage ferreux lors de la coulée, ce qui limite la concentration en céramiques disponibles aux endroits renforcés.

**Buts de l'invention**

**[0010]** La présente invention vise à surmonter les inconvénients de l'état de la technique et notamment la difficulté d'obtention de zones de renfort comportant une très forte concentration en particules céramiques. Elle vise également à intégrer des zones à forte concentration en particules céramiques au sein d'une structure tridimensionnelle de grains millimétriques agrégés principalement à base d'alumine-zircone comportant des interstices millimétriques infiltrables par l'alliage ferreux de coulée. La structure de renfort de grains millimétriques permet en même temps d'assurer le positionnement d'inserts préfabriqués de géométrie définie et concentrés en particules céramiques de type carbures, nitrures, borures ou éléments intermétalliques dans le moule de la pièce d'usure. Les inserts comportent une première matrice métallique en tant que liant des particules céramiques indépendante de l'alliage de coulée constituant la seconde matrice métallique.

**Résumé de l'invention**

**[0011]** La présente invention divulgue une pièce d'usure hiérarchique comportant une partie renforcée comprenant de l'alumine, de la zircone ou un alliage d'alumine-zircone, ladite partie renforcée comprenant également des inserts centimétriques de géométrie prédéfinie, lesdits inserts comportant des particules micrométriques de carbures, nitrures,

borures métalliques ou de composés intermétalliques liées par une première matrice métallique, lesdits inserts étant insérés dans une structure de renfort infiltrée par une seconde matrice métallique, la structure de renfort comportant une alternance périodique de zones millimétriques à forte et à faible concentration en particules micrométriques d'alumine, de zircone ou d'un alliage d'alumine-zircone, la seconde matrice métallique étant différente de la première matrice métallique.

**[0012]** Les modes d'exécution préférés de l'invention comportent au moins une ou une combinaison quelconque appropriée des caractéristiques suivantes :

- la partie renforcée comporte en outre des zones millimétriques de composite céramique-métal comportant des particules micrométriques de carbures de titane, de nitrures de titane, ou de carbonitrures de titane dans un liant constituant une troisième matrice métallique, la proportion de ces zones par rapport aux zones millimétriques à forte concentration de particules micrométriques d'alumine, de zircone ou d'un alliage d'alumine-zircone est inférieure à 50% en volume, de préférence inférieure à 40% en volume et de manière particulièrement préférée inférieure à 30% en volume, la troisième matrice métallique étant indépendante de la première et de la seconde matrice métallique ;
- l'insert comporte une concentration en particules micrométriques de carbures, nitrures, borures métalliques ou en éléments intermétalliques entre 20 et 95 % en volume et au moins 30%, de préférence au moins 40% et de manière particulièrement préférée au moins 50 % en volume ;
- la première matrice métallique servant de liant aux particules micrométriques de l'insert comporte majoritairement du nickel, de l'alliage de nickel, du cobalt, de l'alliage de cobalt ou un alliage ferreux différent de l'alliage de coulée ;
- la troisième matrice métallique servant de liant aux particules micrométriques de carbures de titane, de nitrures de titane, ou des carbonitrures de titane dans les zones millimétriques faisant partie du renfort comporte majoritairement du nickel, de l'alliage de nickel, du cobalt, de l'alliage de cobalt ou un alliage ferreux différent de l'alliage de coulée ;
- l'insert ou les zones millimétriques du renfort lorsqu'ils comportent des composites céramique-métal comportent des particules micrométriques de carbures, nitrures, borures métalliques ou des particules d'alliages intermétalliques de taille moyenne D50 inférieure à 80  $\mu\text{m}$ , de préférence inférieure à 60  $\mu\text{m}$  et de manière particulièrement préférée inférieure à 40  $\mu\text{m}$  ;
- l'insert et les zones renforcées à l'alumine, à la zircone ou à l'alliage alumine-zircone comportent des interstices micrométriques comportant des matrices métalliques différentes.

**[0013]** La présente invention divulgue également une méthode de fabrication d'une pièce d'usure selon l'invention comprenant les étapes suivantes :

- mise à disposition d'un moule comprenant l'empreinte d'une pièce d'usure avec une géométrie prédéfinie d'une zone à renforcer ;
- introduction et positionnement dans ladite zone à renforcer d'un mélange compact de poudres sous forme de granulés millimétriques d'alumine, de zircone ou d'alumine-zircone entourant au moins partiellement un ou plusieurs inserts de géométrie définie préfabriqués concentrés en particules micrométriques de carbures, nitrures, borures métalliques ou en composés intermétalliques liées par une première matrice métallique ;
- coulée d'un alliage ferreux dans le moule, ledit alliage ferreux liquide infiltrant la structure tridimensionnelle comportant des grains d'alumine, de zircone ou d'un alliage d'alumine-zircone entourant au moins partiellement les inserts préfabriqués.

**[0014]** Selon un mode d'exécution préféré, la méthode selon l'invention les inserts de géométrie prédéfinie fabriqués préalablement à la coulée de ladite pièce d'usure, le sont par métallurgie des poudres.

**[0015]** Le présente invention divulgue également l'invention sous forme d'un impacteur, une enclume, un cône ou un galet de broyage.

### **Brève description des figures**

**[0016]**

La figure 1 représente schématiquement une pièce d'usure avec une zone renforcée par un renfort comportant des inserts cylindriques en céramiques préfabriqués entourés d'une structure de grains millimétriques agrégés à base d'alumine, de zircone ou d'alumine-zircone infiltrés par le métal de coulée.

La figure 2 représente schématiquement le détail d'un renfort selon l'invention constitué d'inserts cylindriques en céramiques préfabriqués fixés dans une structure de grains millimétriques à base d'alumine, de zircone ou d'alumine-zircone.

La figure 3 représente schématiquement un battoir de concasseur à axe horizontal avec la zone prédéfinie renforcée par des inserts cylindriques en céramiques préfabriqués entourés d'une structure de grains millimétriques d'alumine, de zircon ou d'alumine-zircon avec des interstices millimétriques et une porosité infiltrables.

La figure 4 représente schématiquement un galet de broyeur vertical avec la zone prédéfinie renforcée par des inserts cylindriques en céramiques préfabriqués entourés d'une structure de grains millimétriques d'alumine, de zircon ou d'alumine-zircon avec des interstices millimétriques et une porosité infiltrables.

La figure 5 représente schématiquement une enclume de concasseur à axe vertical avec la zone prédéfinie renforcée par des inserts cylindriques en céramiques préfabriqués entourés d'une structure de grains millimétriques d'alumine, de zircon ou d'alumine-zircon avec des interstices millimétriques et une porosité infiltrables.

## Liste des symboles de référence

### [0017]

- 1 : pièce d'usure composite renforcée par une composition en céramique aux endroits les plus exposés à l'usure.
- 2 : structure de renfort de géométrie prédéfinie infiltrée par le métal de coulée (seconde matrice métallique), la structure comportant des grains millimétriques d'alumine-zircon avec des interstices millimétriques et une porosité infiltrables.
- 3 : insert en composite céramique-métal préfabriqué comportant en tant que liant des particules de céramiques à base de carbures, nitrures, borures et d'éléments intermétalliques, une première matrice métallique différente du métal de coulée, l'insert étant intégré à la structure infiltrable, l'ensemble ayant été placé dans le moule avant la coulée.
- 4 : détail de structure de renfort montrant un interstice millimétrique avec une zone à faible concentration en particules de céramiques. L'interstice est occupé principalement par la seconde matrice métallique, le métal de coulée
- 5 : détail de structure de renfort montrant schématiquement une zone millimétrique à forte concentration en particules de céramiques issue de l'agrégat de grains millimétriques infiltré par la seconde matrice métallique, le métal de coulée
- 6 : métal de coulée (seconde matrice métallique).
- 7 : alumine dans un grain millimétrique composant la structure poreuse infiltrable.
- 8 : zircon dans un grain millimétrique composant la structure poreuse infiltrable. Les références 7 et 8 montrent un alliage de particules d'alumine-zircon.
- 9 : particules de céramiques préfabriquées pouvant représenter jusqu'à 90 % du volume total de l'insert. Ces inserts peuvent être fabriqués par n'importe quelle technologie mais le sont de préférence par métallurgie des poudres.
- 10 : première matrice métallique propre à l'insert en céramiques. Cette matrice métallique qui sert de liant aux particules de carbures, nitrures, borures et éléments intermétalliques est indépendante de la seconde matrice métallique issue de la coulée qui infiltre la structure infiltrable à base d'alumine, de zircon et/ou d'alumine-zircon.
- 13 : battoir d'un concasseur à axe horizontal comportant une structure renforcée selon l'invention
- 14 : galet de broyeur vertical comportant une structure renforcée selon l'invention
- 15 : enclume d'un concasseur à axe vertical comportant une structure renforcée selon l'invention.

### Description détaillée de l'invention

[0018] La présente invention divulgue une pièce d'usure avec une résistance accrue à l'usure réalisée en fonderie conventionnelle. Elle se rapporte plus particulièrement à une pièce d'usure comportant une partie renforcée selon une géométrie prédéfinie avec des inserts en céramiques (cylindres, polygones, cônes...) à l'échelle de quelques centimètres préalablement fabriqués et insérés dans une structure tridimensionnelle infiltrée constituée de grains millimétriques agglomérés et formant une alternance périodique de grains et d'interstices millimétriques.

[0019] Les grains utilisés pour fabriquer la structure tridimensionnelle comportent principalement de l'alumine  $Al_2O_3$ , de la zircon  $ZrO_2$  ou de l'alumine-zircon dont la plage de composition peut varier de 5 à 95 % en poids d'alumine et de 95 à 5 % de zircon, de préférence 10 à 90% et 90 à 10%, et de manière particulièrement préférée 20 à 80% et 80 à 20%. En supplément de ces ingrédients, les grains peuvent comporter des stabilisants comme des oxydes de terres rares, en particulier l'oxyde d'yttrium ou l'oxyde de cérium en tant que stabilisant de la zircon.

[0020] Les grains millimétriques utilisés pour fabriquer la structure de renfort tridimensionnelle peuvent également comporter, dans une proportion inférieure à 50%, de préférence inférieure à 40% et de manière particulièrement préférée inférieure à 30% en volume, des carbures de titane, des nitrures de titane ou des carbonitrures de titane dans une troisième matrice métallique également indépendante des deux premières (non représentée dans les figures). La troisième matrice métallique servant de liant à ces grains millimétriques est de préférence à base d'alliage de fer, d'alliage de nickel, ou d'alliage de molybdène. La proportion volumétrique du liant métallique (troisième matrice métallique) est généralement entre 5 et 60%, de préférence entre 7 et 45% et de manière particulièrement préférée entre 10 et 35%.

La taille des carbures, nitrures ou carbonitrures de titane sont de 0,05 à 75  $\mu\text{m}$ , préférentiellement de 0,2 à 40  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement de 0,5 à 15  $\mu\text{m}$ .

**[0021]** La structure infiltrable est donc constituée d'une structure tridimensionnelle d'un agrégat de grains millimétriques de taille moyenne entre 0,5 et 10 mm, de préférence 0,7 à 6 mm et de manière particulièrement préférée entre 1 et 4 mm. Les interstices entre les grains dépendent du niveau de compactage et de la taille des grains mais sont de l'ordre du millimètre ou d'une fraction de millimètre. Il y a ainsi une alternance « périodique » de grains et d'interstices et non pas une alternance « aléatoire ».

**[0022]** Les grains millimétriques comportent un mélange homogène à base d'alumine, de zircone ou d'alumine-zircone et peuvent être agglomérés/compactés entre eux par l'utilisation d'un liant (colle) ou bien maintenus dans un conteneur métallique afin de définir géométriquement la zone renforcée de la pièce d'usure.

**[0023]** L'utilisation d'un liant avec prise via l'ajout d'un catalyseur permet la réalisation de la structure infiltrable sans cuisson, ce qui peut être préféré dans certains cas où on ne dispose pas de moyens de cuisson adéquats. La nature du liant est alors soit de type organique ou de type minéral, préférentiellement organique, plus préférentiellement de type phénolique.

**[0024]** L'utilisation d'un liant avec une prise par cuisson permet l'utilisation de liant plus résistant à haute température. La nature du liant est alors de type minéral, préférentiellement de type silicate, plus préférentiellement de type silicate de sodium.

**[0025]** La quantité de liant (colle) utilisée pour la réalisation de la structure infiltrable est comprise entre 0,5% et 10% en poids, préférentiellement entre 1% et 8%, plus préférentiellement entre 1,5% et 7%. La quantité de liant est adaptée de façon à assurer une cohésion suffisante des grains et de limiter la production de gaz lors de l'infiltration par le métal liquide de coulée et de limiter l'épaisseur résiduelle de liant autour de chaque grain constituant la structure tridimensionnelle poreuse.

**[0026]** Les inserts en céramiques destinés à être maintenus par la structure tridimensionnelle de grains agglomérés ont quant à eux une forme quelconque, les formes cylindriques, polygonales ou coniques étant cependant préférées. Le diamètre de ces inserts en céramiques, dans le cas d'une forme cylindrique, est de l'ordre de 3 à 50 mm, de préférence de 6 à 30 mm, plus particulièrement de 8 à 20 mm et la longueur de 5 à 300 mm, de préférence de 10 à 200 mm, en particulier de 10 à 150 mm.

**[0027]** La présente invention décrit donc une pièce d'usure renforcée sur son ou ses côtés les plus sollicités obtenue par l'infiltration d'une structure céramique tridimensionnelle de grains millimétriques agglomérés alternant périodiquement avec des interstices millimétriques qui intègre déjà des inserts géométriques en céramiques préfabriqués de type composite céramique-métal généralement obtenus par métallurgie des poudres, où les particules de céramiques sont noyées dans une première matrice métallique complètement indépendante de la seconde matrice métallique de coulée, principalement constituée d'acier ou de fonte liquide.

**[0028]** Cette technique permet le positionnement commode et robuste d'inserts de géométrie définie et concentrés en carbures, nitrures, borures métalliques ou en alliages intermétalliques comportant une matrice métallique indépendante de celle générée par la coulée. Cette première matrice métallique existant antérieurement à la coulée de ladite pièce d'usure est présente dès le départ dans les inserts composites céramique-métal. Les inserts préexistants sont intégrés dans une structure infiltrable comportant des grains millimétriques agglomérés (padding) d'alumine, de zircone, d'alumine-zircone ou de composite céramique-métallique et qui seront infiltrés lors de la coulée de la pièce d'usure. La structure tridimensionnelle infiltrable peut également comporter une certaine proportion de grains millimétriques de carbures de titane, des nitrures de titane ou des carbonitrures de titane dans une troisième matrice métallique indépendante des deux premières.

**[0029]** Contrairement à ce qui est pratiqué dans l'art antérieur, on utilise ici partiellement des inserts en composite céramique-métal, comme un insert cylindrique ou tronconique. Cet insert peut être composé par exemple de carbures de titane, de nitrures de titane ou de carbures de chrome avec une concentration minimum de 40 % en volume dans une première matrice métallique à base de fer, manganèse, nickel ou cobalt par exemple, que l'on « emballe » dans une structure infiltrable composée par exemple d'un agglomérat de grains millimétriques à base d'alumine, de zircone ou d'alumine-zircone. Pour certaines condition d'utilisation, cette structure infiltrable peut également comporter des grains millimétriques de carbures, nitrures, borures métalliques ou d'éléments intermétalliques, de préférence du carbure de titane, du nitrure de titane ou du carbonitrure de titane.

**[0030]** L'alumine est connue pour ses propriétés de résistance à l'abrasion à faible charge grâce à sa haute dureté par rapport à la dureté des principaux minéraux naturels. L'alumine tire également avantage de sa faible densité et son faible coût de mise en œuvre que ce soit par fusion ou par frittage de poudre.

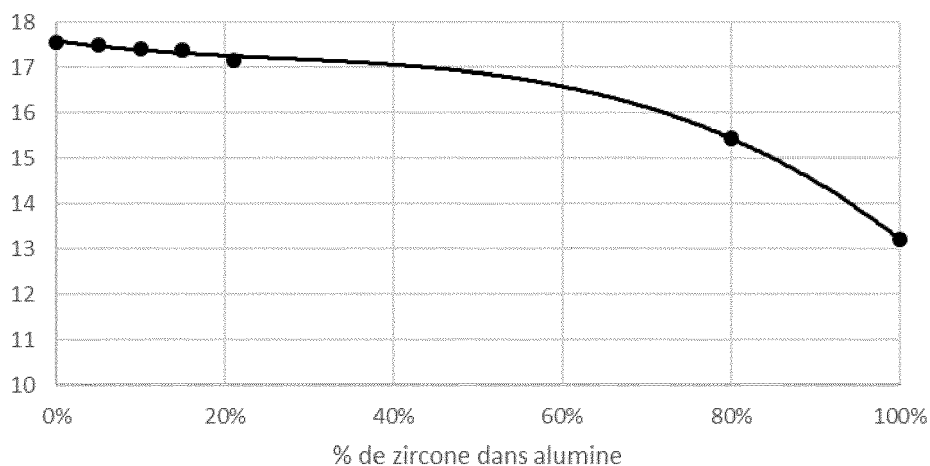
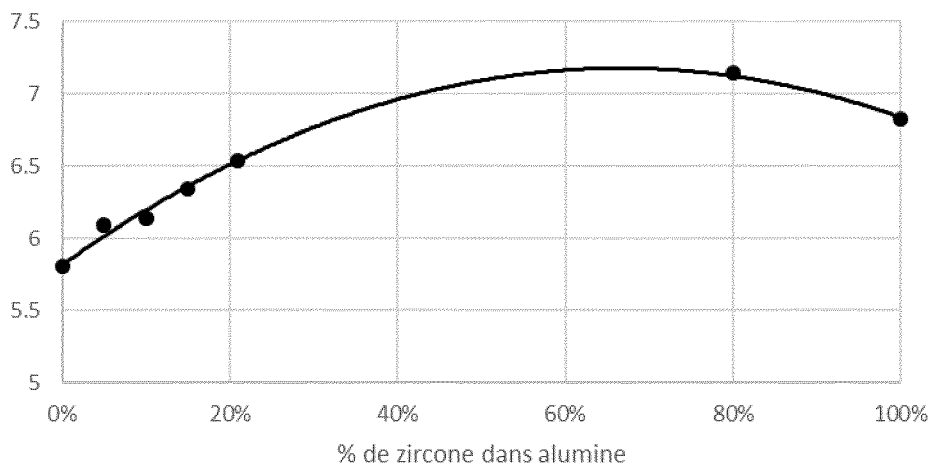
**[0031]** La zircone pure, quant à elle, est généralement utilisée en présence de stabilisateurs. La zircone dans sa forme cristallographique tétragonale présente des propriétés mécaniques intéressantes pour le renforcement de pièces sollicitées à l'usure. L'ajout entre 0,3 à 8% d'oxyde de terre rare comme par exemple l'oxyde d'yttrium ou l'oxyde de cérium permet la stabilisation de la zircone dans sa phase tétragonale.

**[0032]** La zircone a une plus grande résistance à la flexion et une plus grande ténacité que l'alumine. La capacité de

la zircone tétragonale de se transformer en une forme cristallographique monoclinique moins dense et donc de refermer le front de fissuration le cas échéant, donne au matériau sa haute ténacité et résistance mécanique. La résistance à l'usure de la zircone est particulièrement bonne dans le cas où les contraintes de surface induites par les particules abrasives sont importantes. Par contre, sa plus faible dureté par rapport à certains minéraux naturels, dont le quartz ou la silice libre, limite son utilisation lorsqu'elle est sollicitée par des minerais qui en contiennent.

**[0033]** La réalisation de composites alumine-zircone permet d'améliorer les propriétés des deux composés pris séparément, notamment la résistance mécanique et la ténacité. L'évolution de ces propriétés est illustrée sur les figures suivantes. Le choix de la proportion de zircone dans l'alumine permet d'optimiser le couple dureté/propriétés mécaniques-ténacité en fonction des sollicitations à l'usure que subit le matériau afin d'obtenir les meilleures performances de la pièce ainsi renforcée.

Dureté vickers (GPa)

Ténacité  $K_{IC}$  (MPa $m^{1/2}$ )

**[0034]** La présente invention permet donc d'atteindre non seulement des très hautes concentrations en céramiques, généralement supérieures à 40 % en volume mais pouvant aller jusqu'à 95 % en volume dans les inserts géométriques préfabriqués ou des grains millimétriques de composite céramique-métal préexistants, mais également de choisir la matrice métallique propre (première et troisième matrice métallique) à ces éléments et donc d'être indépendant du métal de coulée (seconde matrice métallique) de la pièce d'usure qui est généralement de la fonte ou de l'acier au chrome.

**[0035]** La présente invention permet une meilleure performance des pièces d'usure réalisées en fonderie renforcées par rapport à celles de l'art antérieur grâce à l'augmentation localisée de la résistance à l'usure de la zone renforcée

par la présence de davantage de particules résistant à l'usure et/ou de particules de nature différente par une matrice métallique plus adaptée. Elle permet également une meilleure performance des pièces d'usure réalisées par l'ajout de zones de géométrie définie concentrées en carbures, nitrures, borures métalliques ou en alliages intermétalliques et d'une matrice métallique existant antérieurement à la coulée de ladite pièce d'usure en évitant l'usure préférentielle de l'alliage ferreux de la pièce d'usure autour de ces zones grâce à la structure faisant alterner à l'échelle millimétrique des zones denses en fines particules de céramique avec des zones qui en sont pratiquement exemptes au sein de la matrice métallique de la pièce au voisinage de la structure « d'emballage » des inserts céramiques préexistants tout en améliorant l'union de ces inserts avec l'alliage ferreux de la pièce d'usure renforcée.

## Exemples

### Exemple comparatif

**[0036]** Dans cet exemple la résistance d'une pièce d'usure renforcée selon l'état de la technique est mesurée. Elle est fabriquée de manière analogue au procédé divulgué dans l'art antérieur WO9815373A1 (Magotteaux, 1997).

Il s'agit d'une pièce d'impacteur à axe vertical renforcée par une structure tridimensionnelle de grains millimétriques agglomérés poreuse et infiltrable. Le volume de la pièce d'usure est de 10,27 dm<sup>3</sup>. Sa masse est de 74,16 kg.

**[0037]** Pour évaluer l'usure, on mesure la perte de poids de la pièce d'impacteur à axe vertical dans son intégralité. C'est le seul moyen de déterminer en pratique l'usure, qui dépend d'une série de facteurs et notamment de la géométrie de positionnement dans l'impacteur. Bien qu'étant majoritairement usé du côté du renfort, l'impacteur est également partiellement usé en dehors de ce renfort en fonction de ce positionnement.

**[0038]** Dans la structure tridimensionnelle selon l'art antérieur, il y a une alternance entre des grains et des interstices millimétriques. Ces grains sont constitués d'alumine-zircone électrofondue agglomérée avec 3,5% en poids de liant minéral de type silicate de sodium. La composition de ces grains d'alumine-zircone électrofondue est décrite ci-dessous.

Alumine (%pds)	Zircone (%pds)	Oxyde d'yttrium
59	40	0,80

**[0039]** Cette structure infiltrable comporte un agrégat de grains millimétriques de taille moyenne d'environ 2,5 mm. Ces grains sont agglomérés dans une structure tridimensionnelle à l'aide de silicate de sodium avec une forme prédéfinie dans un moule en résine. Dans cette structure tridimensionnelle, il y a une alternance entre des grains et des interstices millimétriques.

**[0040]** Cet exemple comparatif présente donc des parties renforcées à base d'alumine-zircone, du côté le plus sollicité de la pièce d'usure sans contenir au départ des inserts centimétriques composites céramique-métal, de type cylindre par exemple, préalablement positionnés dans une matrice métallique différente de l'alliage ferreux utilisé pour la coulée. Au terme de ces étapes, une forme d'un volume total renforcé de 0,857 dm<sup>3</sup> est fabriquée. La perte en poids constatée lors d'un test d'usure est de 6,795 kg par 100 heures de fonctionnement (kg/100h) sur la pièce d'usure de l'impacteur à axe vertical.

### Exemples selon l'invention

#### Exemple 1 :

**[0041]** La pièce renforcée selon l'invention comporte une zone renforcée de géométrie prédéfinie avec des inserts en céramiques cylindriques préalablement fabriqués à l'échelle de quelques centimètres et préalablement insérés dans une structure infiltrable comportant des grains à base d'alumine-zircone électrofondue avec la composition décrite ci-dessous. Il est à noter que ces grains ont les mêmes caractéristiques que ceux de l'exemple comparatif.

Alumine (%pds)	Zircone (%pds)	Oxyde d'yttrium
59	40	0,80

**[0042]** Cette structure infiltrable comporte un agrégat de grains millimétriques de taille moyenne d'environ 2,5 mm. Ces grains sont agglomérés dans une structure tridimensionnelle à l'aide d'une colle à base de silicate de sodium avec une forme prédéfinie dans un moule en résine. Dans cette structure tridimensionnelle, il y a une alternance périodique entre des grains et des interstices millimétriques.

## EP 3 915 684 A1

**[0043]** Les inserts en céramiques préalablement fabriqués ont une forme géométrique cylindrique et sont constitués en moyenne de 70 à 80% de particules micrométriques de carbures de titane liées par une première matrice métallique de type acier austénitique.

Le diamètre de ces inserts céramiques préalablement fabriqués est de 20 mm. La hauteur est de 30 mm.

**[0044]** Les 25 inserts céramiques préalablement fabriqués sont positionnés verticalement par rapport à la face de remplissage de façon prédéfinie dans le moule en résine qui définit la zone de renforcement grâce à des encoches pratiquées dans le moule en résine et préalablement à l'ajout des grains millimétriques d'alumine-zircone.

**[0045]** Au terme de ces étapes, une structure tridimensionnelle d'un volume total de 0,857 dm<sup>3</sup>, semblable à la figure 2, est fabriquée par coulée d'une fonte de type AFNOR Z 270 C 27 - M. Ce type de fonte, qui constitue la seconde matrice métallique, est utilisé pour tous les exemples.

Ex 1 (25 inserts préformés)	25 inserts composites céramique-métal préformés avec des particules de carbures de titane (70-80%vol) liées dans une première matrice métallique d'acier austénitique entourés de grains millimétriques d'alumine zircone électrofondue (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> )
Perte en poids (kg/100h)	5,022 kg

Exemple 2 :

**[0046]** L'exemple 1 est répété mais cette fois, 25 inserts céramiques préalablement fabriqués sont positionnés de façon identique à l'exemple 1, mais sont constitués en moyenne de 70 à 80% de particules micrométriques de carbures de titane et d'une première matrice métallique en alliage de nickel.

Ex. 2 (25 inserts préformés)	25 inserts composites céramique-métal préformés avec des particules de carbure de titane (70-80%vol) liées dans une première matrice métallique d'alliage de nickel entourés de grains millimétriques d'alumine-zircone électrofondue (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> )
Perte en poids par 100 heures (kg/100h)	5,125kg

Exemple 3 :

**[0047]** On répète l'exemple 1 avec 25 inserts mais cette fois, les inserts en composite céramique-métal préalablement fabriqués comportent en moyenne de 75 à 85% de particules micrométriques de carbonitrides de titane et une première matrice métallique à base d'alliage de molybdène.

Ex.3 (25 inserts préformés)	25 inserts centimétriques composites métal-céramique préformés avec particules de carbonitrides de titane (75-85%vol) liées dans une première matrice métallique de molybdène entourés de grains millimétriques d'alumine zircone électrofondue (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> )
Perte en poids par 100 heures (kg/100h)	4,921kg

Exemple 4 :

**[0048]** L'exemple 1 est répété avec à nouveau 25 inserts de même taille, mais les inserts céramiques préalablement fabriqués comportent en moyenne de 80 à 90% de particules micrométriques de carbures de chrome liées dans une première matrice métallique à base de nickel.

Ex. 4 (25 inserts préformés)	25 inserts centimétriques préformés avec des particules de carbures de chrome (80-90%vol) liées avec un liant à base de nickel entourés de grains millimétriques d'alumine-zircone électrofondue (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> )
Perte en poids par 100 heures (kg/100h)	6,123kg



## Exemple 5 :

**[0049]** L'exemple 4 est répété avec à nouveau 25 inserts de même taille, où les inserts céramiques préalablement fabriqués comportent en moyenne de 80 à 90% de particules micrométriques de carbures de chrome liées dans une première matrice métallique à base de nickel.

**[0050]** Cette fois, la structure tridimensionnelle qui entoure les inserts centimétriques comporte 25 % en volume de grains millimétriques comportant en moyenne 80 à 85% de particules micrométriques de carbonitrides de titane dans une troisième matrice métallique à base d'alliage de molybdène.

Ex. 5 (25 inserts préformés)	25 inserts centimétriques préformés en particules de carbures de chrome (80-90%vol) liées avec un liant à base de nickel entourés de grains millimétriques d'alumine-zircone électrofondue ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ ) comportant une proportion de 25% en volume de grains millimétriques de carbonitrides de titane
Perte en poids par 100 heures (kg/100h)	6, 13 kg

## Tableau récapitulatif et interprétation des résultats

**[0051]** Le tableau ci-dessous reprend les pertes de poids d'une pièce d'usure d'un impacteur à axe vertical de 74,16 kg à l'état neuf, dont le volume renforcé représente environ 0,857 dm<sup>3</sup>. La perte de poids est mesurée après **438** heures de fonctionnement et est ramenée sur **100** heures de fonctionnement.

Ex	Renfort entourant l'insert préformé	Insert préformé	Nombre d'inserts préformés	Usure de l'impacteur composite (kg/100h)	Gain %
C.	Alumine-zircone électrofondue	-	-	6,795	-
1	Grains millimétriques en alumine-zircone électrofondue	Carbure de titane (70-80%vol) lié avec acier austénitique	25	5,022	35,3
2	Grains millimétriques en alumine-zircone électrofondue	Carbure de titane (70-80%vol) lié avec alliage de nickel	25	5,125	32,6
3	Grains millimétriques en alumine-zircone électrofondue	Carbonitride de titane (75-85%vol) lié avec un alliage à base de molybdène	25	4,921	38,1
4	Grains millimétriques en alumine-zircone électrofondue	Carbures de chrome (80-90%vol) liés avec un alliage à base de nickel	25	6,123	11,2
5	Grains millimétriques en alumine-zircone électrofondue + 25%vol de grains de carbonitride de titane	Carbures de chrome (80-90%vol) liés avec un liant à base de nickel	25	6,130	11,1

## Interprétation des résultats

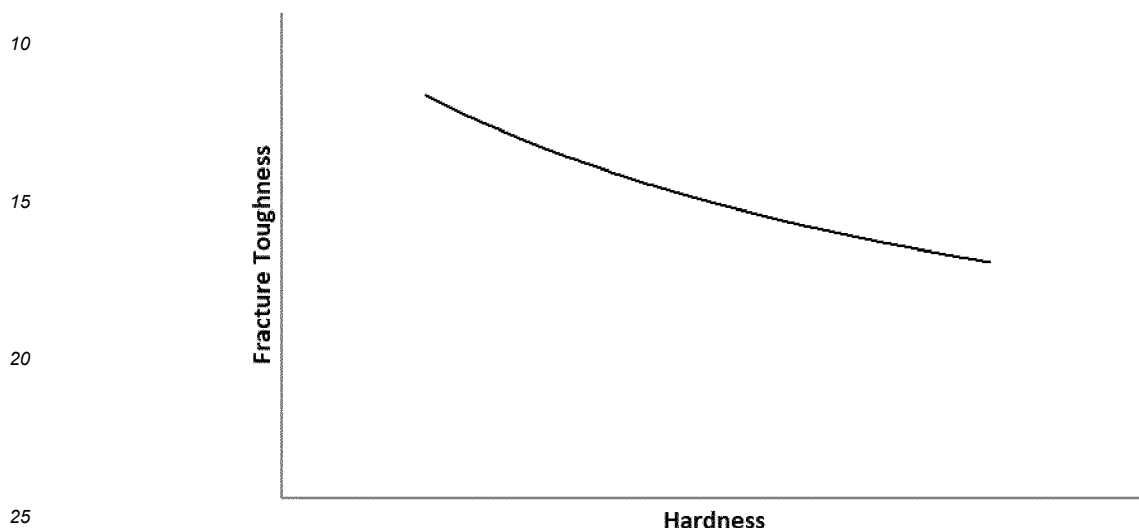
**[0052]** Les exemples présentés montrent que la performance à l'usure de la pièce d'usure d'un impacteur à axe vertical est améliorée par rapport à l'état de l'art par l'ajout d'inserts centimétriques de géométrie prédéfinie dans une structure tridimensionnelle poreuse composée de grains millimétriques.

**[0053]** Les mécanismes d'usure des pièces d'usure des impacteurs à axe vertical sont un mélange complexe d'arrachement de matière par abrasion, de microécaillage par propagation de microfissure et d'érosion par impact des particules traitées.

**[0054]** Dans ces conditions complexes de fonctionnement, le comportement à l'usure d'un matériau dépendra d'un

grand nombre de paramètres qui sont eux-mêmes interdépendants. On peut citer parmi les plus significatifs la dureté, la ténacité, le module d'élasticité, le libre parcours moyen entre les différentes particules, et ce à différentes échelles (micrométrique, millimétrique, centimétrique) en fonction de la taille et de la forme des particules traitées, la limite élastique, la résistance à la fatigue et la ductilité.

**[0055]** Dans une approche simplifiée, un matériau résistera d'autant mieux à l'usure que son produit dureté\*ténacité est élevé. Or, ces deux propriétés sont intimement liées pour une même famille de matériaux comme illustré sur la figure suivante.



**[0056]** Le développement de matériaux composites permet de déplacer avantageusement cette courbe vers des duretés plus importantes à ténacité équivalente.



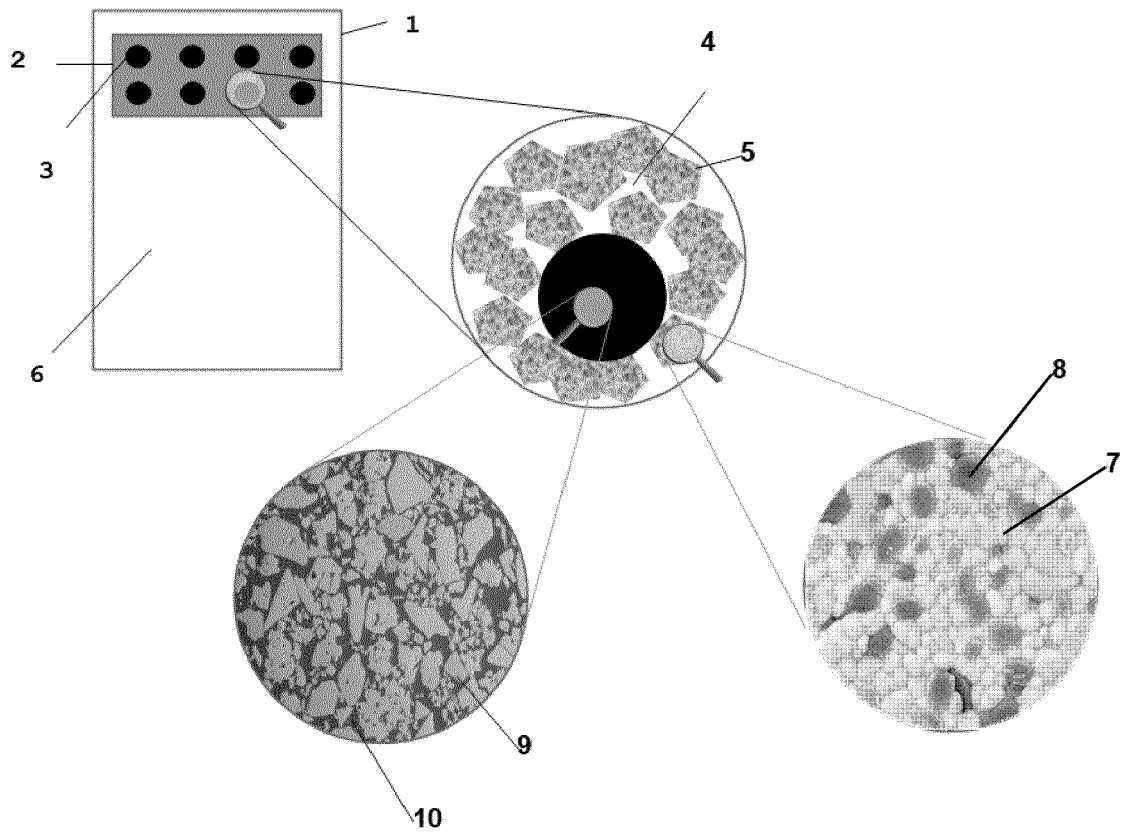
**[0057]** L'optimisation de la répartition géométrique des matériaux constituant le composite couplée à leur nature et donc à leurs propriétés intrinsèques permet donc d'augmenter davantage la dureté globale du matériau tout en maintenant une ténacité suffisante conduisant à une meilleure performance à l'usure.

## Revendications

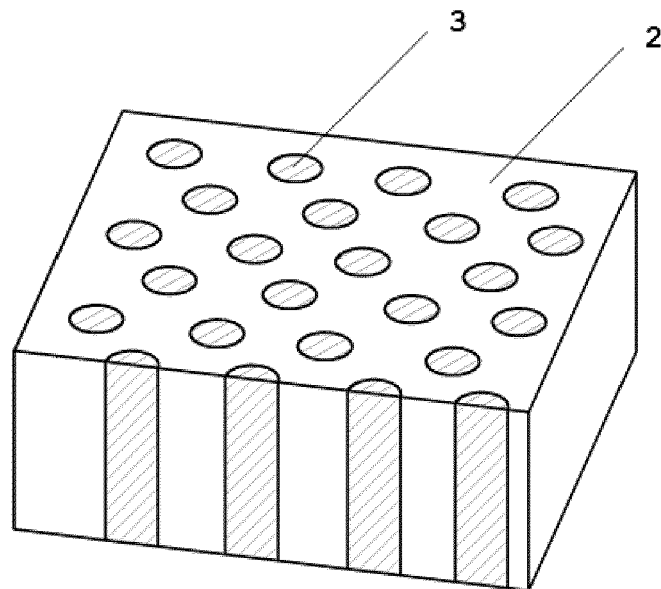
1. Pièce d'usure (1) hiérarchique comportant une partie renforcée (2) comprenant de l'alumine, de la zircone ou un alliage d'alumine-zircone, ladite partie renforcée comprenant également des inserts (3) centimétriques de géométrie prédéfinie, lesdits inserts (3) comportant des particules micrométriques (9) de carbures, nitrures, borures métalliques ou de composés intermétalliques liées par une première matrice métallique (10), lesdits inserts (3) étant insérés

dans une structure de renfort (2) infiltrée par une seconde matrice métallique (6), la structure de renfort comportant une alternance périodique de zones millimétriques à forte et à faible concentration (4,5) en particules micrométriques d'alumine, de zircon ou d'un alliage d'alumine-zircon (7,8), la seconde matrice métallique (6) étant différente de la première matrice métallique (10).

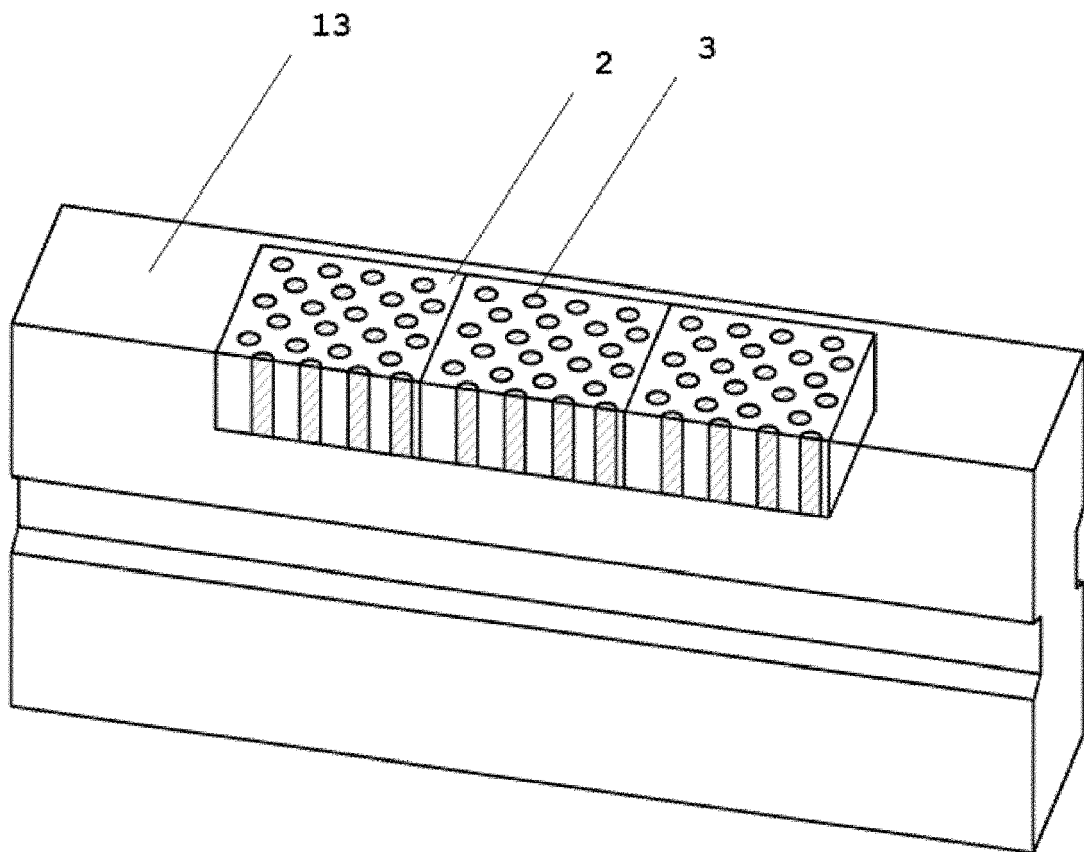
2. Pièce d'usure (1) selon la revendication 1 dans laquelle la partie renforcée (2) comporte en outre des zones millimétriques de composite céramique-métal comportant des particules micrométriques de carbures de titane, de nitrures de titane, ou de carbonitrures de titane dans un liant constituant une troisième matrice métallique, la proportion de ces zones par rapport aux zones millimétriques à forte concentration (5) de particules micrométriques d'alumine, de zircon ou d'un alliage d'alumine-zircon (7,8) étant inférieure à 50% en volume, de préférence inférieure à 40% en volume et de manière particulièrement préférée inférieure à 30% en volume, la troisième matrice métallique étant indépendante de la première (10) et de la seconde matrice métallique (6).
3. Pièce d'usure (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle l'insert (3) comporte une concentration en particules micrométriques (9) de carbures, nitrures, borures métalliques ou en éléments intermétalliques entre 20 et 95 % en volume et au moins 30%, de préférence au moins 40% et de manière particulièrement préférée au moins 50 % en volume.
4. Pièce d'usure (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle la première matrice métallique (10) servant de liant aux particules micrométriques (9) de l'insert (3) comporte majoritairement du nickel, de l'alliage de nickel, du cobalt, de l'alliage de cobalt ou un alliage ferreux différent de l'alliage de coulée (6).
5. Pièce d'usure (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle la troisième matrice métallique servant de liant aux particules micrométriques de carbures de titane, de nitrures de titane, ou des carbonitrures de titane dans les zones millimétriques faisant partie du renfort (2), comporte majoritairement du nickel, de l'alliage de nickel, du cobalt, de l'alliage de cobalt ou un alliage ferreux différent de l'alliage de coulée (6).
6. Pièce d'usure (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle l'insert (3), ou les zones millimétriques du renfort (2) lorsqu'ils comportent des composites céramique métal, comportent des particules (9) de carbures, nitrures, borures métalliques ou des particules d'alliages intermétalliques de taille moyenne D50 inférieure à 80  $\mu\text{m}$ , de préférence inférieure à 60  $\mu\text{m}$  et de manière particulièrement préférée inférieure à 40  $\mu\text{m}$ .
7. Pièce d'usure (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle l'insert (3) et les zones renforcées à l'alumine, à la zircon ou à l'alliage alumine zircon (5) comportent des interstices micrométriques comportant des matrices métalliques différentes (6,10).
8. Méthode de fabrication d'une pièce d'usure (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant les étapes suivantes :
  - mise à disposition d'un moule comprenant l'empreinte d'une pièce d'usure (1) avec une géométrie prédéfinie d'une zone à renforcer (2) ;
  - introduction et positionnement dans ladite zone à renforcer (2) d'un mélange compact de poudres sous forme de granulés millimétriques d'alumine, de zircon ou d'alumine-zircon entourant au moins partiellement un ou plusieurs inserts (3) de géométrie définie préfabriqués concentrés en particules micrométriques de carbures, nitrures, borures métalliques ou en composés intermétalliques liées par une première matrice métallique (10),
  - coulée d'un alliage ferreux (6) dans le moule, ledit alliage ferreux liquide infiltrant la structure tridimensionnelle comportant des grains d'alumine, de zircon ou d'un alliage d'alumine-zircon entourant au moins partiellement les inserts (3) préfabriqués.
9. Méthode de fabrication d'une pièce d'usure (1) selon la revendication 8 dans laquelle les inserts de géométrie prédéfinie (3) fabriqués préalablement à la coulée de ladite pièce d'usure, le sont par métallurgie des poudres.
10. Pièce d'usure (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 réalisée sous forme d'un impacteur, une enclume, un cône ou un galet de broyage.



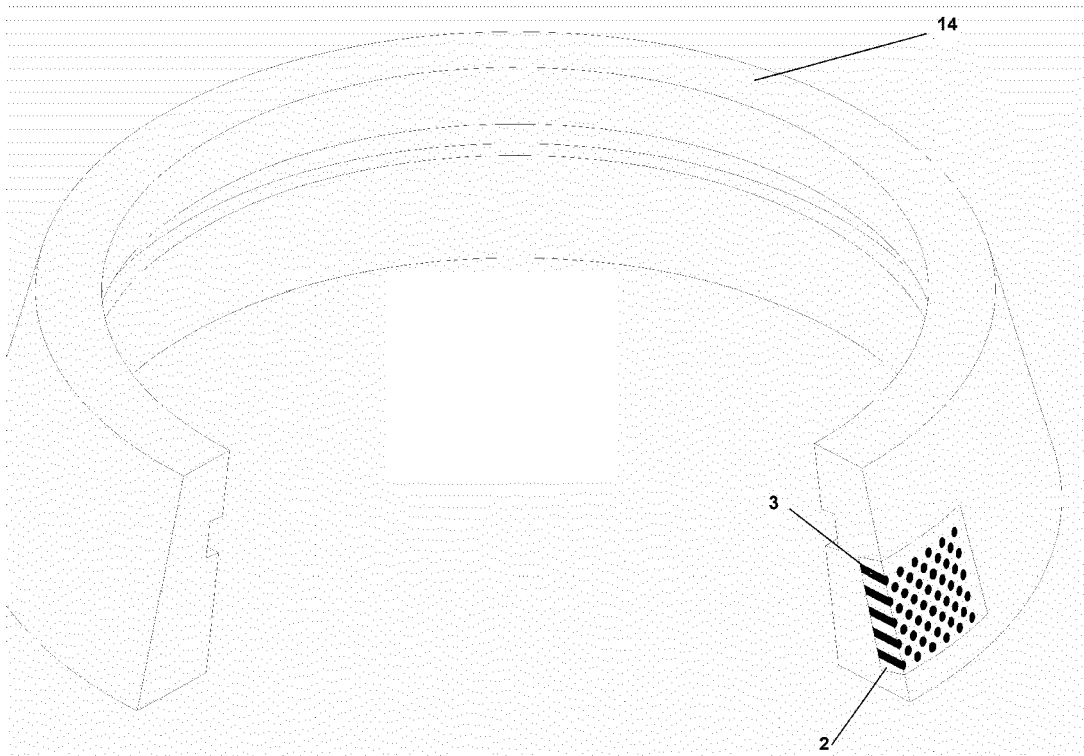
**Fig. 1**



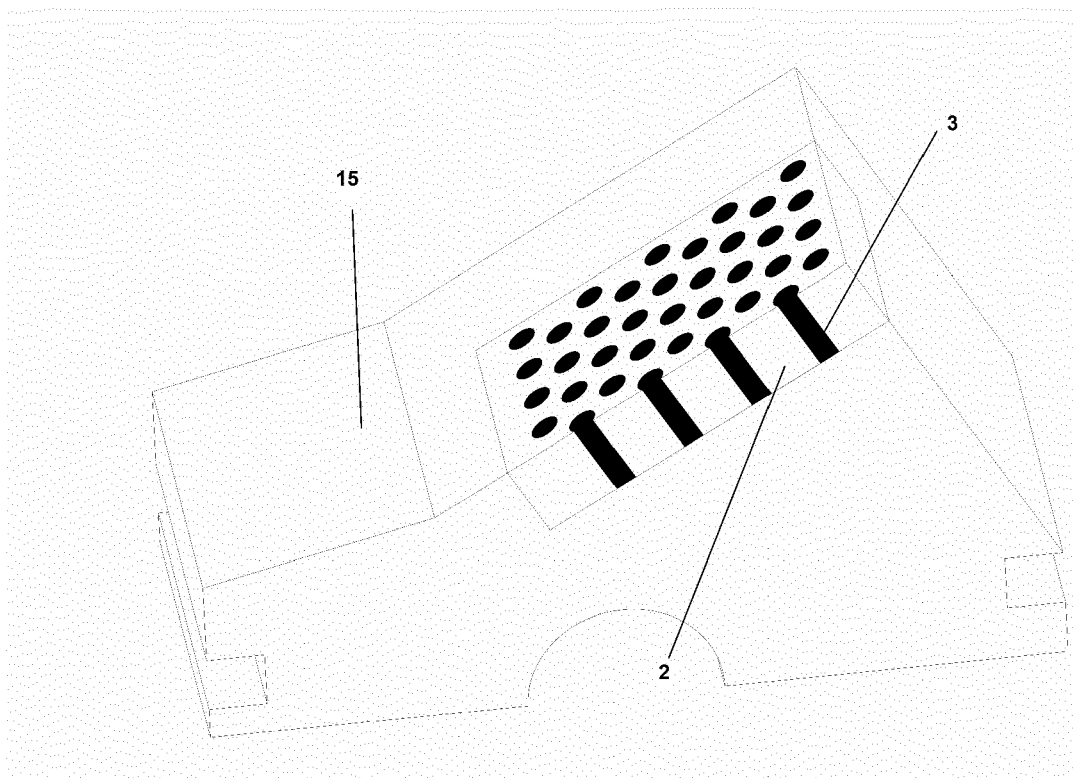
**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 20 17 7458

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	WO 2011/008439 A2 (TDY IND INC [US]; MIRCHANDANI PRAKASH K [US]; CHANDLER MORRIS E [US]) 20 janvier 2011 (2011-01-20)	1,3,4, 6-10	INV. B02C2/00 B02C13/28 B22D19/02 B22D19/04 B22D19/06 B22D19/08 C22C33/04 B22F3/00 B22F7/00 C22C1/04 C22C1/05 C22C1/10 C22C33/02 B22F5/00 B22F7/06
Y	* revendications 22, 27-33, 43 * * alinéas [0013], [0035], [0048], [0078] * * figures 3, 5 *	1-10	
Y	US 2003/213861 A1 (CONDON GARY J [US] ET AL) 20 novembre 2003 (2003-11-20) * revendications 33, 35 * * alinéas [0005], [0035], [0036], [0048], [0049] * * figures 1-5 *	1-10	
Y	US 2011/287238 A1 (STEVENS JOHN H [DE] ET AL) 24 novembre 2011 (2011-11-24) * revendications 1, 5 * * alinéas [0047], [0072] * * figures 8-10 *	1-10	
Y	WO 2014/125034 A1 (AMINCEM S A [BE]) 21 août 2014 (2014-08-21) * revendication 11 * * alinéas [0019] - [0023], [0043] *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) B02C B04C C22C B22D B22F
Y	CN 108 348 995 A (INNERCO SP Z O O) 31 juillet 2018 (2018-07-31) * exemple 8c *	1-10	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		16 octobre 2020	Traon, Nicolas
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : 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 20 17 7458

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.

16-10-2020

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2011008439 A2	20-01-2011	AU 2010273851 A1	02-02-2012
		BR 112012000697 A2	16-02-2016
		CA 2767227 A1	20-01-2011
		CL 2012000118 A1	24-08-2012
		CN 102498224 A	13-06-2012
		EP 2454391 A2	23-05-2012
		JP 2013506754 A	28-02-2013
		KR 20120049259 A	16-05-2012
		RU 2012105015 A	20-08-2013
		US 2011011965 A1	20-01-2011
		US 2013025127 A1	31-01-2013
		US 2013025813 A1	31-01-2013
		US 2013026274 A1	31-01-2013
		WO 2011008439 A2	20-01-2011
US 2003213861 A1	20-11-2003	ZA 201200266 B	25-06-2014
		AUCUN	
		CA 2799911 A1	24-11-2011
		CN 102985197 A	20-03-2013
		EP 2571648 A2	27-03-2013
		RU 2012155100 A	27-06-2014
		US 2011287238 A1	24-11-2011
		US 2015075876 A1	19-03-2015
		US 2018010394 A1	11-01-2018
		WO 2011146760 A2	24-11-2011
WO 2014125034 A1	21-08-2014	AU 2014217875 A1	06-08-2015
		CN 105026584 A	04-11-2015
		EP 2956561 A1	23-12-2015
		LU 92152 B1	19-08-2014
		WO 2014125034 A1	21-08-2014
		ZA 201505284 B	25-05-2016
CN 108348995 A	31-07-2018		
		CN 108348995 A	31-07-2018
		EP 3374107 A1	19-09-2018

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**

- EP 0575685 A1, Sulzer **[0006]**
- WO 9815373 A1, Magotteaux **[0007]** **[0036]**
- WO 2016008967 A1, Magotteaux **[0008]**