(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 450 164 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
23.10.2024 Bulletin 2024/43

(21) Numéro de dépôt: **23168749.2**

(22) Date de dépôt: **19.04.2023**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
B02C 15/00 *(2006.01)*

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
B02C 15/005; B02C 2210/02

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

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

(72) Inventeurs:
- **BRUEL, Guillaume**
  4031 Angleur (Liège) (BE)
- **CLERMONT, Benoît**
  4030 Grivegnée (Liège) (BE)

(74) Mandataire: **Aronova**
Aronova S.A.
BP 327
12, avenue du Rock'n'Roll
4004 Esch-sur-Alzette (LU)

(54) GALET DE BROYAGE COMPOSITE MONOBLOC

(57) La présente invention se rapporte à un galet de broyage monobloc (1) pour broyeurs à axe vertical réalisé par coulée d'une matrice métallique en fonderie, ledit galet comportant en sa périphérie une structure de renfort (2) ajourée constituée d'une pluralité d'inserts en céramique assemblés de manière jointive, l'assemblage jointif des renforts en céramique étant réalisé selon des lignes ondulées.

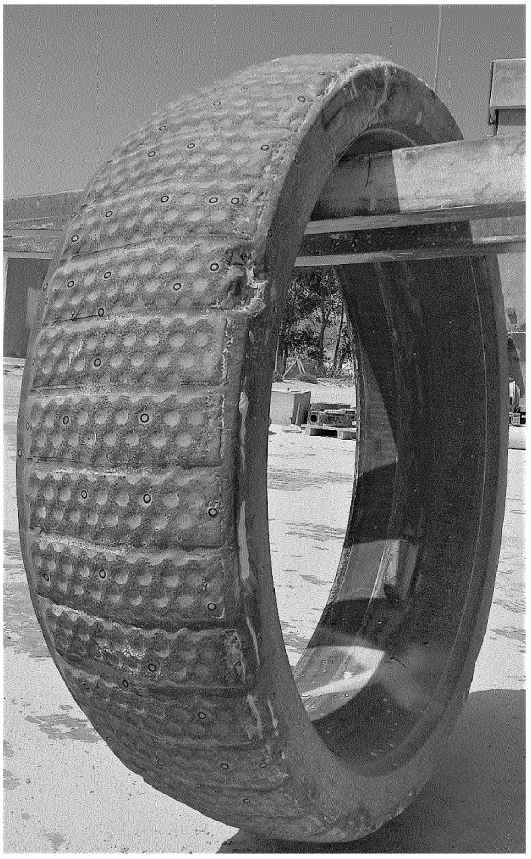


Fig.6

EP 4 450 164 A1

Description

Objet de l'invention

[0001] La présente invention se rapporte à une pièce d'usure composite réalisée en fonderie par coulée d'un alliage ferreux. Elle se rapporte plus particulièrement à un galet de broyage monobloc renforcé par une structure ajourée en céramique intégrée au galet avec un assemblage spécifique des éléments du renfort adapté éventuellement à la sollicitation à l'usure en pratiquant un ajourage différentié. Elle divulgue également une méthode de fabrication dudit galet.

Etat de la technique

[0002] Les pièces d'usure composites réalisées en fonderie sont bien connues des personnes du métier. Il s'agit principalement de pièces en fonte renforcées localement et de manière ciblée par des céramiques de type alumine-zircone ou encore des carbures, nitrures, borures ou autres éléments intermétalliques, sur les faces les plus exposées à l'usure. Ces céramiques ont des géométries étudiées et sont situées adéquatement au sein de la matrice métallique.

[0003] La disposition particulière des structures de renfort permet en effet de créer des composites hiérarchiques avec un renforcement différencié selon la disposition ou la forme géométrique des renforts en céramique qui sont composés généralement d'agrégats de grains infiltrables par le métal de coulée. C'est ainsi que l'on peut réaliser des agrégats de granulés mesurant en moyenne 3 à 8 mm avec des interstices de l'ordre de 1 à 3 mm permettant l'infiltration par la fonte liquide lors de la coulée. On peut ainsi former des « galettes » ou « gaufrettes » sous forme de structures ajourées de type nid d'abeille par exemple. Ces « inserts » sont généralement agencés de manière étudiée à l'intérieur d'un moule de sable sur la face la plus sollicitée de la pièce d'usure. Ces « inserts » sont appelés « padding » en anglais. Lorsque ces galettes sont infiltrées individuellement, avant d'être disposés une fois refroidies dans le moule de coulée, on les appelle des barreaux.

[0004] La présente invention vise à améliorer la résistance à l'usure des galets de broyage pour des broyeurs en général et en particulier pour des broyeurs dits à axe vertical. Les broyeurs à axe vertical, sont utilisés par exemple pour broyer du charbon, du cru ou du clinker de ciment. Ils sont constitués d'une piste rotative supportant des galets qui sont entraînés par le mouvement rotatif de la piste selon l'axe vertical (voir figure 1). La matière à broyer est introduite par une voie d'alimentation centrale et tombe sur la piste, où elle est écrasée et broyée par les galets. Ce principe est illustré en détail à la figure 2. Le matériau broyé est ensuite évacué par centrifugation à la périphérie de la piste et récupéré dans une soufflerie avec un cyclone permettant de recycler la matière non encore suffisamment broyée. Divers types de formes de galets sont possibles, les galets tronconiques et les galets toriques étant les plus courants.

[0005] Le documents WO98/15373 divulgue une pièce d'usure composite réalisé en fonderie avec un renfort céramique en forme de nid d'abeille et une céramique à base d'alumine-zircone.

[0006] Le document WO2005/084809 divulgue un galet de broyage comportant plusieurs barreaux périphériques en matériau à haute résistance à l'usure mécaniquement scellés dans une matrice coulée en matériau ductile, ledit galet comportant des zones soumises à forte contrainte à l'usure ainsi que des zones soumises à faible contrainte à l'usure le galet présentant sur sa face périphérique des barreaux comportant une partie jointive dans la zone la plus sollicitée et une partie non jointive dans la zone la moins sollicitée à l'usure, l'écartement dans la partie non jointive étant comblé par le matériau ductile de la matrice de coulée permettant un scellage mécanique des barreaux.

[0007] Le document WO2018/069006 divulgue un galet de broyage pour broyeurs à axe vertical réalisé en fonderie par coulée d'une matrice métallique, le galet comportant en sa périphérie une pluralité d'inserts de renfort, dont certaines portions de la surface périphérique d'un même insert se situent à des distances différentes de la périphérie du galet en fonction des sollicitations à l'usure.

[0008] Le document WO 2021/1160381 divulgue un galet de broyage où les zones soumises à l'usure sont renforcées de manière différenciée avec des inserts en céramique comportant des trous borgnes et des trous passants, le côté borgne des trous borgnes étant orienté du côté le plus sollicité par l'usure.

Buts de l'invention

[0009] La présente invention vise à fournir un galet de broyage composite monobloc avec un renfort en céramique composé d'une pluralité d'inserts d'une géométrie améliorée dont à la fois la structure et le positionnement sont adaptés à la sollicitation à l'usure. Elle vise en particulier à supprimer les lignes droites entre les inserts en céramique jointifs qui constituent des amorces de propagation et des voies privilégiées pour l'usure.

Résumé de l'invention

[0010] La présente invention divulgue un galet de broyage monobloc pour broyeurs à axe vertical réalisé par coulée

d'une matrice métallique en fonderie, ledit galet comportant en sa périphérie une structure de renfort ajourée constituée d'une pluralité d'inserts en céramique assemblés de manière jointive, l'assemblage jointif des renforts en céramique étant réalisé selon des lignes ondulées.

[0011] Les modes d'exécution préférés de l'invention comportent au moins une, ou une combinaison quelconque appropriée des caractéristiques suivantes:

- La structure de renfort 2 comporte au moins une première zone 21, la moins ajourée et la plus exposée à l'usure et au moins une seconde zone 22, la plus ajourée et la moins exposée à l'usure ;
- les premières et secondes zones 21 et 22 de la pluralité d'inserts en céramique sont formés par plusieurs anneaux superposés, lesdits inserts étant assemblés en quinconce de manière jointive selon des lignes ondulées ;
- l'ajourage de la première zone 21, la plus exposée à l'usure, est formé par des trous passants de forme tronconiques 3 avec un diamètre allant en se réduisant vers la périphérie du galet ou par une association de trous passants de forme quelconque 4 avec des trous borgnes dont le côté borgne est situé du côté de la périphérie du galet ;
- l'ajourage de la seconde zone 22, la moins exposée à l'usure, est formé par des trous passants de forme quelconque 4, de préférence de forme cylindrique et positionné de manière perpendiculaire ou inclinée par rapport à la surface à la périphérie du galet ;
- la pluralité d'inserts est assemblée pour former un galet tronconique ou un galet torique ;
- l'amplitude (a) des lignes ondulées représente entre 2 et 20 %, de préférence entre 5 et 15 % par rapport à la longueur « L » de l'insert en céramique ;
- l'amplitude (A) des lignes ondulées représente entre 2 et 20 %, de préférence entre 3 et 15 %, par rapport à la largeur « $\ell_{»}$ de l'insert en céramique ;
- la composition de la céramique de la structure de renfort est choisie parmi des oxides, des carbures, des nitrures et des borures ;
- les inserts en céramique comportent un agrégat de grains composites de céramique-métal dans lesquels des particules micrométriques de céramique sont cimentés dans un liant métallique, les grains composites ayant un taille moyenne D_{50} de 2 à 8 mm, de préférence de 3 à 6 mm déterminée par tamisage avec une maille carrée ou par un Camsizer de Retsch selon la norme 13322-2 :2006;
- les grains composites de céramique-métal comportent du carbure de titane d'une taille moyenne D_{50} comprise entre 3 et 20 μm, de préférence entre 5 et 15 μm cimenté dans un liant métallique, la taille de particules étant mesurable par diffraction laser en utilisant la théorie MIE selon les directives données dans la norme ISO 13320:2020 en utilisant par exemple un Mastersizer 2000 de Malvern et en fixant un indice de réfraction à 3 et un indice d'absorption à 1. L'obscuration doit se trouver dans une plage entre 10 et 15 % et le résidu pondéral moins de 1 %;
- la composition de la céramique de la structure de renfort de la première zone 21 est différente de la composition de la céramique de la seconde zone 22.

[0012] La présente invention divulgue également une méthode pour la réalisation d'un galet de broyage selon l'invention comportant les étapes suivantes :

- mise à disposition d'un moule pour la réalisation d'un galet de broyage monobloc par coulée d'un alliage ferreux ;
- positionnement d'une structure de renfort composée d'une pluralité d'inserts en céramique et assemblés de manière jointive selon des lignes ondulées, les inserts se présentant sous forme d'agrégats de granulés millimétriques ajourés, l'agrégat étant perméable et donc infiltrable;
- infiltration de l'insert par l'alliage ferreux liquide.
- refroidissement et démoulage du galet de broyage.

[0013] La méthode selon l'invention comporte de manière préférée au moins une, ou une combinaison quelconque appropriée des caractéristiques suivantes :

- l'alliage ferreux comporte de l'acier ou de la fonte ;
- la structure de renfort comporte au moins une première zone 21, la moins ajourée et la plus exposée à l'usure et au moins une seconde zone 22, la plus ajourée et la moins exposée à l'usure ;
- les agrégats infiltrables de granulés millimétriques de céramique utilisés pour les inserts des galets de broyage sont sélectionnés parmi les compositions suivantes:

    ◦ alumine-zircone dans des proportions 90/10 à 10/90, la zircone étant éventuellement stabilisée à l'oxyde d'yttrium;

    ◦ carbone et titane en poudre comportant optionnellement de la poudre de fer en tant que modérateur et précurseurs d'une réaction de synthèse thermique autopropagée (SHS) initiée par la coulée de l'alliage ferreux;

◦ composites céramique-métal de carbure de titane cimenté dans un liant métallique.

Brève description des figures

[0014] Dans les figures commentées ci-dessous, les inserts sont représentés de manière schématique. En réalité, ces inserts en céramique sont des structures tridimensionnelles infiltrables formées d'agrégats perméables comme par exemple des agglomérats de grains millimétriques (avec une taille moyenne de 2 à 8 mm, de préférence 3 à 6 mm) agrégés par une colle avec des interstices millimétriques et infiltrables par le métal de coulée.

[0015] Par facilité de représentation, les figures ne représentent que le contour de ces inserts placés dans les parties renforcées du galet de broyage.

La figure 1 représente un exemple de broyeur à axe vertical équipé de galets de broyage tronconiques s'appuyant et tournant sur une table rotative alimentée en minerai à broyer.

La figure 2 représente le principe du broyage par un galet de broyage tronconique.

La figure 3 représente un galet de broyage réalisé avec des barreaux renforcés par des céramiques selon l'état de la technique WO2005/084809. Ici une pluralité d'inserts en céramique en forme de nid d'abeille sont infiltrés individuellement pour former des barreaux avant d'être disposés, une fois refroidis, dans un moule en veillant à maintenir une distance entre chaque élément de renfort individuel (assemblage non-jointif) pour permettre la pénétration du métal de coulée entre les éléments individuels et assurer un scellage de l'ensemble dans le galet coulé.

La figure 4a représente un barreau constitué d'une matrice métallique intégrant un insert en céramique sous forme de nid d'abeille. La figure 4b montre un détail de l'assemblage des barreaux avant la coulée du galet de broyage.

La figure 5 représente une image d'un galet de broyage tronconique fortement usé sur sa partie inférieure. Il s'agit d'un galet de broyage selon l'état de la technique et réalisé selon les techniques représentées dans les figures 3, 4a et 4b. On y voit une structure en céramique sous forme de nid d'abeille ressortir à travers une matrice métallique fortement érodée. Les espaces laissés entre les barreaux individuels (sillons droits) sont également fortement érodés.

La figure 6 représente une image d'un galet de broyage torique qui présente un niveau d'usure important. Il a été réalisé selon l'état de la technique WO2005/084809 en disposant des barreaux infiltrés et refroidis dans un moulée et en respectant une distance entre les barreaux pour assurer le scellage des barreaux dans le galet.

La figure 7a représente un galet de broyage monobloc de forme torique selon l'invention. La figure 7b ne représente que l'assemblage des inserts ajourés correspondants où les inserts sont assemblés sur un anneau unique de manière jointive et selon une ligne ondulée.

La figure 8a représente un galet de broyage monobloc de forme torique selon l'invention. La figure 8b ne représente que l'assemblage des inserts ajourés correspondants où les inserts sont assemblés sur deux anneaux superposés en quinconce et de manière jointive selon une ligne ondulée.

La figure 9a représente un galet de broyage monobloc de forme tronconique selon l'invention. La figure 9b ne représente que l'assemblage des inserts ajourés correspondants où les inserts sont assemblés sur un anneau unique de manière jointive selon une ligne ondulée.

La figure 10 représente un galet de broyage tronconique monobloc selon l'invention semblable à celui de la figure 9a dans lequel une pluralité d'inserts ajourés en céramique sont disposés de manière jointive selon une ligne ondulée. On y montre cependant deux types d'ouvertures (alvéoles) avec une proportion d'ajourage différentiée et adaptée à la sollicitation à l'usure pour une utilisation spécifique. Les inserts ajourés montrent deux zones 21 et 22. La zone 21, la plus exposée à l'usure, comporte un ajourage limité avec des trous coniques disposés dans la partie la plus sollicitée à l'usure et une conicité dont le diamètre évolue de l'intérieur du galet vers la surface extérieure du galet en diminuant. La zone 22 la moins sollicitée à l'usure a une proportion d'ajourage plus importante et comporte des trous cylindriques perpendiculaires à la surface de broyage. Les trous peuvent également former un angle avec la normale à la surface périphérique.

La figure 11a représente un galet de broyage torique monobloc selon l'invention dans lequel une pluralité d'inserts ajourés en céramique sont disposés de manière jointive selon une ligne ondulée. On y voit également deux types d'ouvertures avec une proportion d'ajourage différente et adaptée en fonction d'une sollicitation à l'usure spécifique. Les inserts ajourés montrent aussi dans ce cas deux zones 21 et 22. La figure 11b montre uniquement la pluralité d'inserts assemblés avant la coulée du galet de broyage. On constate ici que les assemblages des inserts sont non seulement jointifs mais que les éléments ont des formes complémentaires permettant de s'assembler parfaitement avec leurs voisins. Un assemblage selon une forme ondulée a été choisi pour éviter les lignes droites qui constituent une amorce et une voie privilégiés pour l'usure. Une fois qu'une telle usure est amorcée, elle continue à se propager trop facilement selon une ligne droite et les lignes plus ou moins fortement ondulées permettent de ralentir ou même d'entraver ce phénomène. L'expérimentation a d'ailleurs montré qu'une simple ligne d'assemblage jointive courbe de faible amplitude et sans ondulations, bien qu'étant plus encline à propager des voies d'usure que la ligne jointive droite, ne donnait qu'un résultat intermédiaire entre la ligne droite et la ligne jointive ondulée.

Les figures 12 et 13 représentent d'autres possibilités d'assemblage d'inserts selon la présente invention. Les inserts peuvent êtres dédicacés aux zones 21 et 22 et former plusieurs anneaux superposés avec des dimensions éventuellement différentes. Lorsque les inserts sont dédicacés aux zones 21 et 22 à forte et faible sollicitation à l'usure respectivement, la disposition en quinconce est préférée pour éviter autant que possible la propagation de l'usure selon une ligne continue. Cette figure montre également en détail des différences d'ajourage importantes entre les zones 21 et 22 avec des trous tronconiques 3 et des trous cylindriques 4 en exemple (détail non représenté).

Les figure 14a et 14b représentent respectivement un galet de broyage torique de grande taille une fois coulé et un assemblage de ses inserts correspondants. On y distingue à nouveau deux zones distinctes 21 et 22 adaptées à des sollicitations différentes. La disposition des inserts est réalisée selon deux anneaux superposés et en quinconce. Le galet de broyage peut être légèrement incliné (penché) sur la table de rotation ce qui nécessite une telle configuration.

Les figure 15a et 15b représentent respectivement un assemblage d'inserts pour un galet de broyage torique et le galet de broyage une fois coulé. Il s'agit ici d'un galet de très grande taille (18 tonnes et 3 m de diamètre). On y distingue à nouveau deux zones distinctes 21 et 22 adaptées à des sollicitations différentes. La disposition des inserts est réalisée selon trois anneaux superposés et en quinconce. Les zones à forte sollicitation sont disposées de part et d'autre d'une zone à plus faible sollicitation. Cette disposition symétrique permet l'utilisation des galets de broyage qui sont un peu inclinés sur la table de rotation alternativement des deux côtés. Une fois qu'un côté est usé, on peut retourner le galet.

La figure 16 représente un insert de renfort avec sa longueur « L » et sa largeur « ℓ » ainsi que l'amplitude des ondulations « A » sur sa largeur « ℓ » et la façon de les mesurer.

La figure 17 représente un assemblage en quinconce de différents inserts où l'on voit que l'amplitude de l'ondulation n'est pas forcément la même sur une même ligne d'assemblage. L'amplitude se mesure en valeur absolue entre un minimum et un maximum de l'ondulation, « A » ou « A' » par rapport à la largeur « *e* » ou encore « a » par rapport à la longueur « L » ou « L' » des inserts assemblés. Les amplitudes « A » et « a » sont évaluées respectivement en pourcentage par rapport à la largeur « $\ell_{\prime\prime}$ et à la longueur « L ».

La figure 18 représente une méthode de mesure du profil d'usure d'un galet de broyage torique en utilisant des tiges de comparaison avec une surface d'un galet de broyage neuf.

La figure 19 représente un profil d'usure d'un galet de broyage tronconique avec une flèche en ligne plus épaisse montrant la position de l'usure maximum qui est déterminante pour le remplacement du galet.

Liste des symboles de référence

[0016]

1 : galet de broyage monobloc
2 : inserts en céramique
21 : première zone des inserts en céramique placé du côté le plus exposée à l'usure
22 : seconde zone des inserts en céramique, la moins exposée à l'usure
3 : exemple d'ouvertures tronconiques dans les inserts en céramique positionnés sur la face la plus sollicitée du galet de broyage
4 : exemple d'ouvertures cylindriques dans les inserts en céramique positionnés sur la face la moins sollicitée du galet de broyage

Description détaillée de l'invention

[0017] Les pièces d'usure réalisées en fonderie sont très répandues dans les industries minières et cimentières pour le broyage des roches et des minerais. Parmi ceux-ci, les tables des broyeurs verticaux à compression et leurs galets de broyage en général et les galets de broyages tronconiques et toriques en particulier qui illustrent la présente invention.

[0018] Pour augmenter la résistance à l'usure des galets de broyage, on associe les alliages ferreux de type fonte ou acier à la dureté d'une matière céramique (comme par exemple des carbures, nitrures, oxydes de divers types...), qui résistent bien à l'usure.

[0019] La combinaison de ces deux types de matière n'est pourtant pas aisée car elles ont des coefficients de dilatation très différents pouvant générer des microfissures lors du refroidissement des pièces et annulant par ses défauts potentiels cet effet de synergie dans une pièce d'usure composite.

[0020] Une difficulté supplémentaire réside dans la problématique de l'infiltration complète de l'insert en céramique par la fonte liquide qui a tendance à refroidir au contact de celui-ci, ce qui s'oppose à une infiltration satisfaisante.

[0021] De nombreuses configurations d'inserts en céramique ont été essayées par les industriels. L'insert en céramique le plus populaire est une forme en « nid d'abeille » relativement facile à infiltrer comme ceux cités dans l'état de la

technique WO98/15373.

[0022] Les renforts en céramique sont généralement introduits sous forme de barreaux, donc sous forme d'insert dans lequel les interstices ont déjà été infiltrés par de la fonte liquide et refroidis avant d'être réintroduits dans un moule pour couler la pièce d'usure en un seul bloc que l'on souhaite obtenir. Cette technologie est illustrée aux figures 3 à 5 du présent document et fait l'objet de la publication WO2005/084809.

[0023] Il y a beaucoup de savoir-faire dans la réalisation d'un insert en céramique car celui-ci doit avoir une structure perméable pour être infiltré par la fonte liquide, le niveau de perméabilité étant déterminant, ce qui a mené à une série de technologies pour la fabrication d'agglomérés (d'agrégats) de poudre sous forme de grains agrégés de quelques millimètres qui sont ensuite assemblés en une structure de « gâteau/gaufrette » dans un moule et compacté par vibration. Une fois sortis du moule ces inserts comportant toujours des interstices irréguliers de l'ordre de 1 à 5 mm.

[0024] Il y a beaucoup de possibilités de compositions pour la réalisation d'un insert en céramique utilisable dans un galet de broyage renforcé selon l'invention. Dans une liste non exhaustive nous pouvons par exemple citer :

- l'alumine-zircone 10/90 à 90/10 avec ou sans stabilisation à l'oxyde d'yttrium sous forme de granulés millimétriques assemblés en agrégats au moyen d'une colle inorganique dans une structure perméable au métal fondu et donc infiltrable par une coulée classique;
- des particules issues de composites céramiques métal broyés ou frittés à partir de mélanges de poudres à base de carbures, nitrures, borures ou d'éléments intermétalliques cimentés dans un liant métallique avant d'être agglomérés en structure perméable et donc infiltrable par un alliage ferreux fondu;
- les céramiques formées par synthèse exothermique auto-propagée (SHS) comme par exemple le carbure de titane à partir de poudres de carbone et de titane, éventuellement mélangés à une poudre pour modérer la réaction comme par exemple de la poudre de fer pouvant se présenter sous forme de grains millimétriques agglomérés avec des interstices millimétriques. La réaction entre le carbone et le titane étant initiée par la coulée de l'alliage ferreux ;

[0025] Le maintien de l'insert dans le moule lors de la coulée nécessite également un certain savoir-faire acquis par les industriels au cours des années.

[0026] La configuration et le positionnement des inserts en céramique au sein d'un galet de broyage composite monobloc ont fait l'objet de nombreuses recherches qui ont toutes abouties au constat que les résultats de vitesse d'usure obtenus lors des essais sont relativement imprévisibles car ils dépendent de l'application spécifique, c'est-à-dire du type de machine utilisé et du type de roches à broyer.

[0027] La situation est rendue encore plus complexe par le fait que durant le phénomène d'usure, la géométrie du galet de broyage change et les zones peu sollicitées au départ peuvent le devenir beaucoup plus au fur et à mesure de l'état d'avancement de l'usure. Il faut donc souvent faire un compromis sur la structure de l'insert permettant de réconcilier l'usure à court et à long terme, ces deux notions pouvant varier considérablement d'un cas de figure à l'autre.

[0028] Les inventeurs du galet de broyage selon l'invention ont désormais réalisé une structure de renfort comportant une pluralité d'inserts en céramique répondant à ce compromis. Cette structure de renfort est adaptée à la forme finale du galet et est par exemple de forme globalement tronconique ou torique et comporte en sa périphérie un assemblage d'inserts en céramique qui peut se présenter sous différentes formes comme par exemple un assemblage côte à côte, donc jointif, d'inserts ayant approximativement la même dimension que le galet de broyage ou encore une superposition de deux ou plusieurs « anneaux » d'inserts céramiques selon des lignes ondulées. L'assemblage sur un ou plusieurs anneaux dépend largement de la taille finale du galet dans la mesure où il existe toujours une limite de faisabilité d'un insert pour des raisons de manipulation par un opérateur (masse, volume, friabilité). C'est ainsi qu'un galet d'une tonne peut ne nécessiter qu'un seul anneau avec un nombre limité d'inserts à assembler alors qu'un galet de >15 tonnes nécessitera au moins 2 ou 3 anneaux avec de nombreux inserts superposés. (Voir figure 15b par exemple).

[0029] En fonction des sollicitations pour des utilisations spécifiques, on peut envisager un ajourage différencié en fonction de la position de l'insert dans le galet. On peut par exemple envisager une proportion d'ajourage différente selon qu'il s'agit du côté le plus sollicité, zone 21 ou du côté le moins sollicité, zone 22, par l'usure. Un exemple d'assemblage d'un anneau d'inserts de ce type, pour un galet de broyage torique est représenté à la figure 11a et un exemple de deux anneaux superposés est représenté aux figures 14a. Trois anneaux d'inserts superposés sont représentés 15b Pour éviter la propagation de l'usure selon une ligné prédéterminée, l'assemblage des inserts superposés se fait de préférence en quinconce.

[0030] Les structures ajourées en céramique ont des ouvertures de forme généralement quelconque. Les ouvertures réalisées dans la structure de l'insert ont un diamètre généralement compris entre 1 et 10 cm, de préférence entre 1 et 8 cm et de manière particulièrement préférée entre 2 et 4 cm. Lorsque l'ajourage est différencié au sein d'un même galet de broyage, la zone périphérique la plus exposée à l'usure 21, les trous ont de préférence une forme tronconique 3 ou sont associés à des trous borgnes. La zone la plus exposée peut aussi comporter une association judicieuse de trous borgnes et de trous passants. Lorsqu'on utilisé des trous borgnes, le côté borgne est placé du côté le plus sollicité par l'usure. Lorsqu'on utilise des ouvertures tronconiques 3, l'ouverture ira en se rétrécissant vers la surface extérieure

la plus exposée à l'usure. Dans la zone la moins exposée et la plus ajourée 22 les trous ont une forme quelconque mais la forme cylindrique sera préférée. (voir figure 12).

[0031] Les inventeurs ont observé par ailleurs que les lignes droites ou même faiblement courbées constituaient des amorces importantes pour l'usure d'un galet de broyage. L'usure se propageant beaucoup plus rapidement en ligne droite car elle ne rencontre plus aucun obstacle une fois amorcée.

[0032] Pour amortir ce phénomène, les inventeurs ont éliminé les espaces entre les inserts dont l'évolution technologique de leur fabrication permet désormais une meilleure infiltration. Les assemblages des inserts selon l'invention sont donc jointifs et se font selon une ligne ondulée permettant d'éviter l'amorce et la propagation de l'usure en ligne droite. Toutes les formes d'ondulations sont bien entendu envisageables mais pour des raisons de logistique on privilégie des pièces qui ont toutes la même forme en présentant un côté concavo-convexe permettant un assemblage complémentaire parfaitement jointif.

[0033] L'amplitude de l'ondulation et la façon de la mesurer est représentée aux figures 16 et 17. Sur ces figures l'amplitude des ondulations est exagérée pour les besoins de la démonstration.

Exemples

[0034] Des essais ont été menés sur différents galets selon l'invention sur un broyeur rotatif vertical de deux types différents adaptés aux galets à tester. Pour neutraliser la variable due à l'influence de la composition de la céramique sur l'usure, la même céramique a été utilisée pour tous les essais. Il s'agit de grains millimétriques d'un composite céramique métal de type carbure de titane cimenté dans un liant métallique de type acier au manganèse. Ces grains d'une dimension moyenne d'environ 5 mm ont été compactés pour former des inserts ajourés d'une épaisseur d'environ 50 mm utilisés pour tous les essais.

[0035] Pour les besoins du test les configurations d'inserts répartis sur plusieurs anneaux ont été réalisés alors que sur un galet d'une tonne par exemple plusieurs anneaux n'auraient pas forcément été nécessaires. Les inventeurs ont néanmoins voulu tester le comportement des galets selon l'invention lorsque les inserts étaient configurés en plusieurs anneaux superposés avec un positionnement en quinconce.

[0036] Chacun des 2 galets tronconiques a été testé en parallèle avec un galet de référence durant 500 heures et l'usure a été extrapolée à 1000 heures. Pour chacun des 3 tests de galets toriques, deux galets ont été disposés en alternance avec deux galets de référence et ont tourné durant 1000 heures. Les essais ont été réalisés en continu. Les conditions de test sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Matière broyée	Charbon de type lignite	Minerai silico calcaire
Broyeur de type	Polysius RM25/12(Type1)	Loesche LM15.2(Type 2)
Type de galets	Torique	Tronconique
Nombre de galets sur le broyeur	4	2
Masse du galet (T) Taille extérieure	1,4 130x33 cm	1 120/104 x33cm
Débit (T/h)	27-30	25
Durée de l'essai	1000 heures	500 heures
Positionnement des galets	2 galets de référence et 2 galets selon l'invention en alternance sur le même broyeur	1 galet de référence et un galet selon l'invention sur le même broyeur

La détermination de l'usure du galet peut être réalisée au départ de mesures de profils, le long de génératrices, au moyen d'un gabarit s'appuyant sur des surfaces non soumises à l'usure. La distance entre la surface du galet et le gabarit est relevée en plusieurs points le long du gabarit sur un nombre représentatif de points sur le contour du galet. (voir figure 18). Ces mesures sont ensuite comparées aux distances relevées sur un galet neuf. On détermine un profil d'usure moyen donnant une information sur la géométrie de l'usure qui pourra être exploitée par le fabricant.

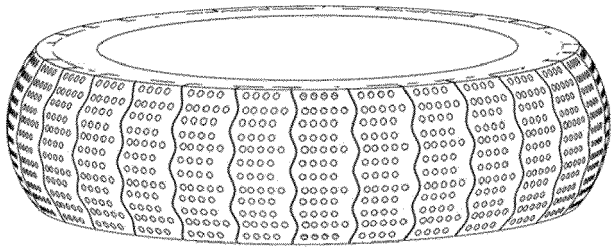
[0037] La mesure de l'usure retenue pour la comparaison des performances des galets est cependant la profondeur d'usure maximale sur le galet qui, elle conditionne son remplacement. C'est cette usure maximale qui sera utilisée dans le tableau ci-dessous pour les mesures de performance. Les galets de broyage réalisés avec des barreaux selon WO2005/084809 et représentés dans les figures 3, 4 et 5 sont utilisés en tant que galets toriques et tronconiques comparatifs de référence. Ces galets de référence sont chaque fois associés à des galets selon l'invention sur un même broyeur durant l'essai. Dans ces derniers, l'usure est mesurée au-dessus des barreaux et non pas entre les barreaux

sur la matrice ductile fortement usée.

Essais sur le broyeur de type 1 avec galets toriques

Exemple 1

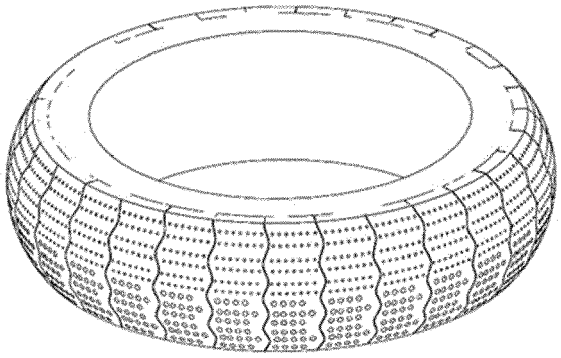
[0038]



Galet torique ajouré par des alvéoles de 23 mm de la même façon sur tous les inserts qui sont assemblés en un seul anneau avec des joints décrivant une ondulation d'une amplitude de 14 % par rapport à la largeur ℓ .

Exemple 2

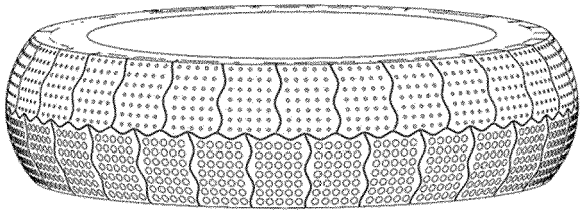
[0039]



Galet torique ajouré de façon différentiée par des alvéoles de 13 et de 23 mm sur les inserts qui sont assemblés en un seul anneau avec des joints décrivant une ondulation d'une amplitude de 12 % par rapport à la largeur ℓ.

Exemple 3

[0040]

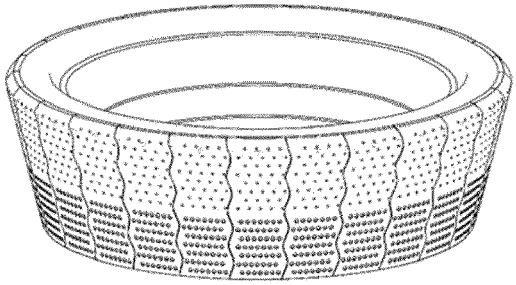


Galet torique ajouré de façon différentiée par des alvéoles de 13 et de 23 mm sur les inserts qui sont assemblés en deux anneaux en quinconce avec des joints décrivant une ondulation d'une amplitude (A) de 13 % par rapport à la largeur ℓ et d'une amplitude (a) de 12 % par rapport à la longueur (L).

Essais sur le broyeur de type 2 avec galets tronconiques

Exemple 4

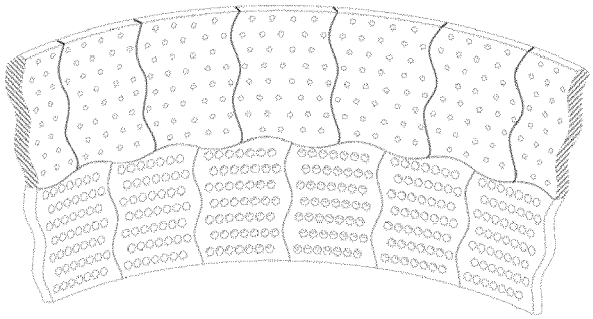
[0041]



Galet tronconique ajouré de façon différentiée par des alvéoles de 13 et de 23 mm de sur les inserts qui sont assemblés en un seul anneau avec des joints décrivant une ondulation d'une amplitude (A) de 4 % par rapport à la largeur ℓ .

Exemple 5

[0042]



Galet torique ajouré de façon différentiée par des alvéoles de 13 et de 23 mm sur les inserts qui sont assemblés sur deux anneaux en quinconce avec des joints décrivant une ondulation d'une amplitude (A) de 9 % par rapport à la largeur ℓ , et une amplitude de 5 % par rapport à la longueur (L)

Résultats

[0043]

Exemples	Nombre d'anneaux	Alvéoles (mm)	A/ℓ %	a/L %	Usure mm/1000h	Coeff. Amélioration
Référence	1	23	-	-	11	1,00
1	1	23	14		9,9	1,11
2	1	23 et 13	12		8,8	1,25
3	2 *	23 et 13	13	12	9,2	1,19
Référence		23			37	1,00
4	1	23 et 13	4		29,1	1,27
5	2 *	23 et 13	9	5	33,6	1,10
(*) les inserts sont assemblés en quinconce						

Interprétation des résultats

[0044] Par rapport aux galets de broyage tronconiques et toriques de référence réalisés avec des barreaux selon

WO2005/084809, tous les galets de broyage selon l'invention présentent une amélioration de la performance à l'usure. Elle se situe entre 10 et 27 %, ce qui est significatif.

[0045] Les galets présentant un ajourage différentié en fonction de la sollicitation à l'usure avec des zones 21 et 22 (Exemples 2 et 4 avec des alvéoles de 13 et 23 mm) présentent les meilleures performances lorsque l'insert de renfort est constitué d'un seul anneau d'assemblage avec un minimum de lignes jointives.

[0046] Les galets comportant plusieurs anneaux superposés en quinconce et un ajourage différentié ont une performance moindre à cause de la multiplication du nombre d'inserts et donc de lignes jointives qui seront nécessaires pour les galets de broyage de grande dimension.

[0047] L'ajourage non différencié, sans zones spécifiques 21 et 22 permet également une amélioration de la performance de 11 % sur le galet de broyage torique.

Revendications

1. Galet de broyage monobloc (1) pour broyeurs à axe vertical réalisé par coulée d'une matrice métallique en fonderie, ledit galet comportant en sa périphérie une structure de renfort (2) ajourée constituée d'une pluralité d'inserts en céramique assemblés de manière jointive, l'assemblage jointif des renforts en céramique étant réalisé selon des lignes ondulées.

2. Galet de broyage monobloc (1) selon la revendication 1, ladite structure de renfort (2) comportant au moins une première zone (21), la moins ajourée et la plus exposée à l'usure et au moins une seconde zone (22), la plus ajourée et la moins exposée à l'usure.

3. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2 dans lequel les premières et secondes zones (21,22) de la pluralité d'inserts en céramique sont formés par plusieurs anneaux superposés, lesdits inserts étant assemblés en quinconce de manière jointive selon des lignes ondulées.

4. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel l'ajourage de la première zone (21), la plus exposée à l'usure, est formé par des trous passants de forme tronconiques (3) avec un diamètre allant en se réduisant vers la périphérie du galet ou par une association de trous passants de forme quelconque (4) avec des trous borgnes dont le côté borgne est situé du côté de la périphérie du galet.

5. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel l'ajourage de la seconde zone (22), la moins exposée à l'usure est formé par des trous passants de forme quelconque (4), de préférence de forme cylindrique positionnés de manière perpendiculaire ou inclinée par rapport à la surface périphérique du galet.

6. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la pluralité d'inserts est assemblée pour former un galet tronconique ou un galet torique.

7. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel l'amplitude (a) des lignes ondulées représente entre 2 et 20 %, de préférence entre 5 et 15 % par rapport à la longueur « L » de l'insert en céramique.

8. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel l'amplitude (A) des lignes ondulées représente entre 2 et 20 %, de préférence entre 3 et 15 %, par rapport à la largeur « ℓ » de l'insert en céramique.

9. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la composition de la céramique de la structure de renfort est choisie parmi des oxides, des carbures, des nitrures et des borures.

10. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les inserts en céramique comportent un agrégat de grains composites de céramique-métal dans lesquels des particules micrométriques de céramique sont cimentés dans un liant métallique, les grains composites ayant une taille moyenne D_{50} de 2 à 8 mm, de préférence de 3 à 6 mm déterminée par tamisage.

11. Galet (1) selon la revendication 11 dans lequel lesdits grains comportent du carbure de titane d'une taille moyenne D_{50} comprise entre 3 et 20 μm, de préférence entre 5 et 15 μm cimenté dans un liant métallique.

12. Galet (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la composition de la céramique de la structure de renfort de la première zone (21) est différente de la composition de la céramique de la seconde zone

(22).

13. Méthode pour la réalisation d'un galet (1) de broyage selon les revendications 1 à 12 comportant les étapes suivantes:

- mise à disposition d'un moule pour la réalisation d'un galet de broyage monobloc par coulée d'un alliage ferreux ;
- positionnement d'une structure de renfort composée d'une pluralité d'inserts en céramique et assemblés de manière jointive selon des lignes ondulées, les inserts se présentant sous forme d'agrégats ajourés de granulés millimétriques, les agrégats ajourés étant perméables et donc infiltrables par un alliage ferreux de coulée.
- infiltration de l'insert par l'alliage ferreux liquide.
- refroidissement et démoulage du galet de broyage

14. Méthode selon la revendication 13 dans laquelle, l'alliage ferreux comporte de l'acier ou de la fonte.

15. Méthode selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14 dans laquelle la structure de renfort comporte au moins une première zone (21) moins ajourée et la plus exposée à l'usure et au moins une seconde zone (22), la plus ajourée et la moins exposée à l'usure.

16. Méthode selon l'une quelconque des revendications 13 à 15 dans laquelle les agrégats infiltrables de granulés millimétriques de céramique utilisés pour les inserts des galets de broyage sont sélectionnés parmi les compositions suivantes:

- alumine-zircone dans des proportions 90/10 à 10/90, la zircone étant éventuellement stabilisée à l'oxyde d'yttrium;
- carbone et titane en poudre comportant optionnellement de la poudre de fer en tant que modérateur et précurseurs d'une réaction de synthèse thermique autopropagée (SHS) initiée par la coulée de l'alliage ferreux;
- composites céramique-métal de carbure de titane cimenté dans un liant métallique.

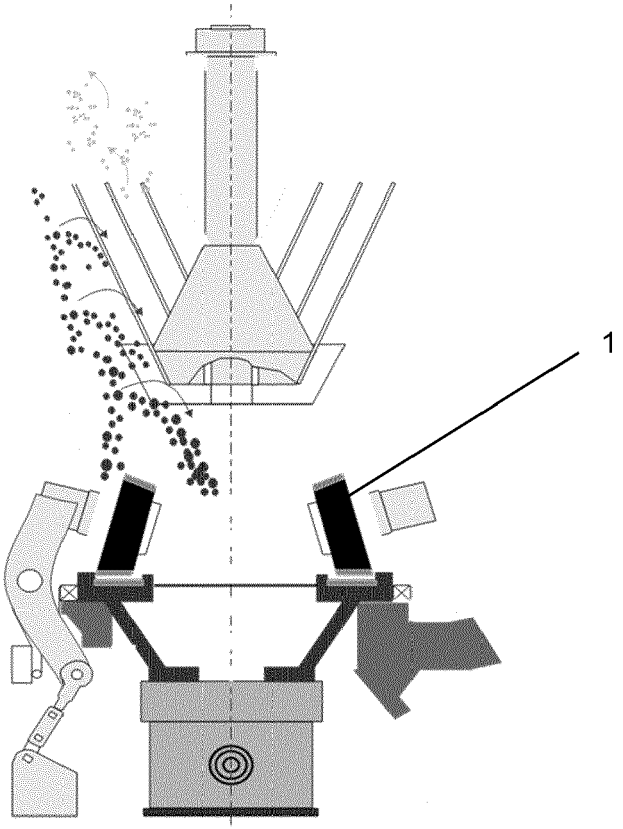


Fig.1

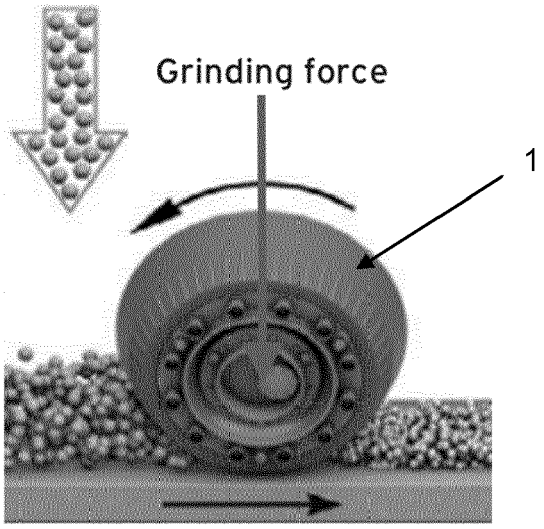


Fig.2

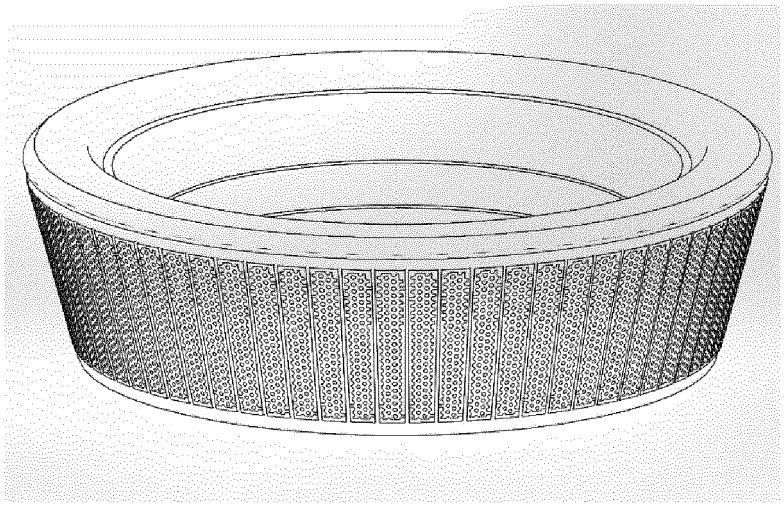


Fig.3

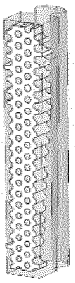


Fig.4a

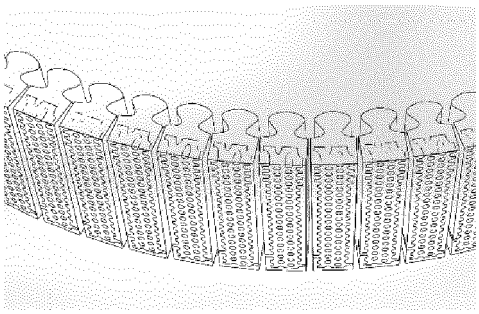


Fig.4b

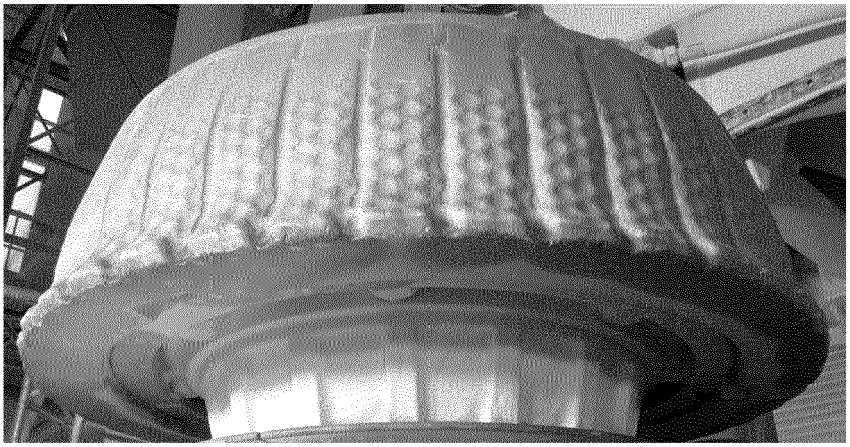


Fig.5



Fig.6

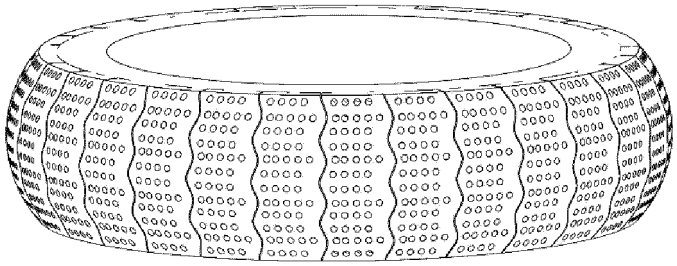


Fig.7a

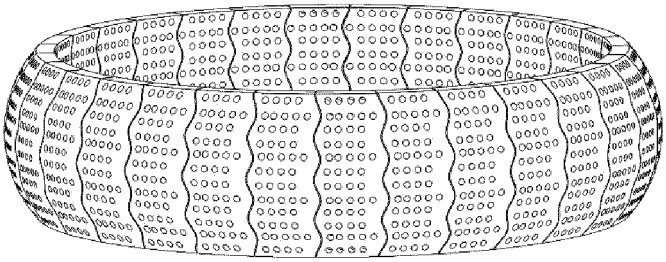


Fig.7b

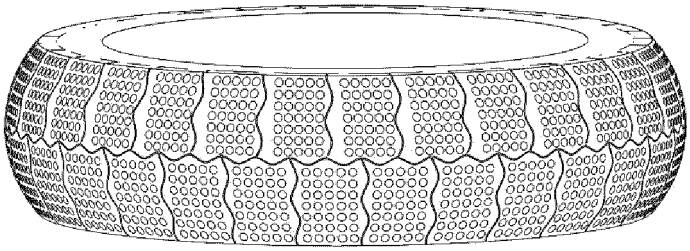


Fig.8a

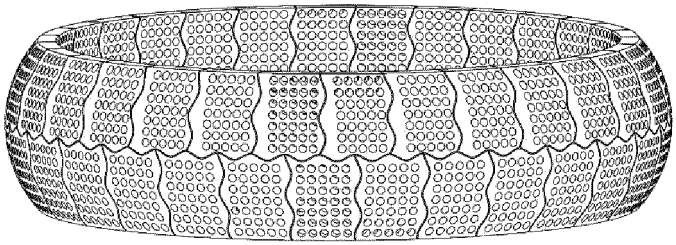


Fig.8b

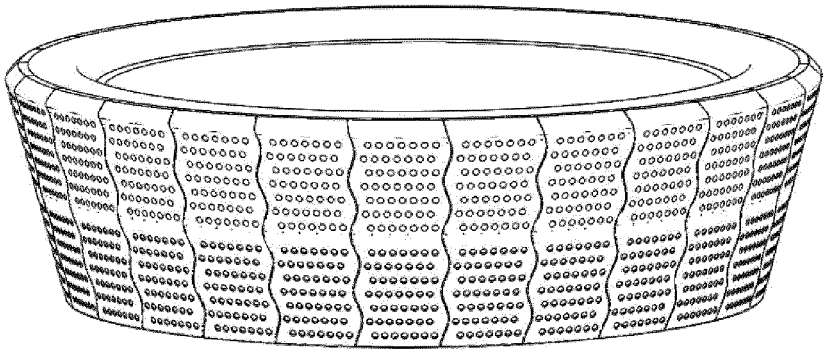


Fig.9a

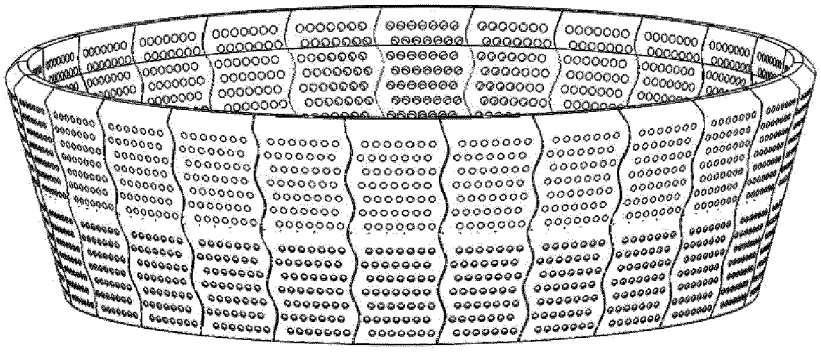


Fig.9b

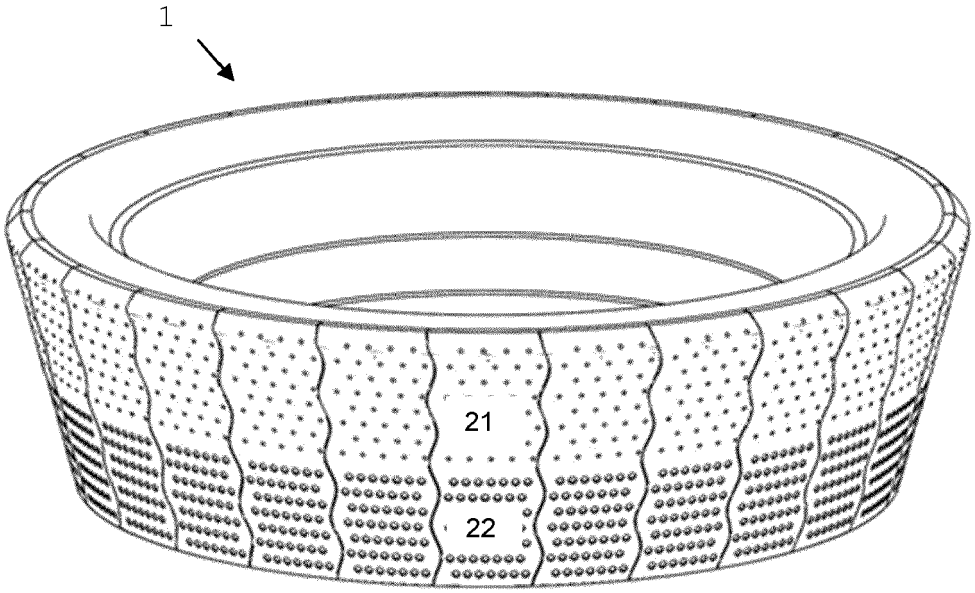


Fig.10

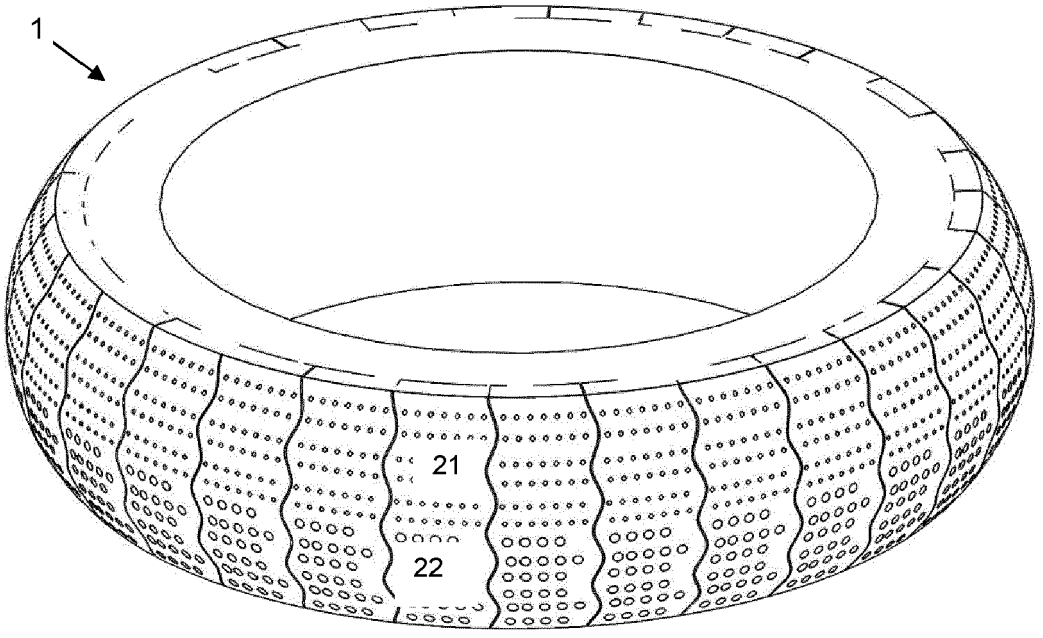


Fig.11a

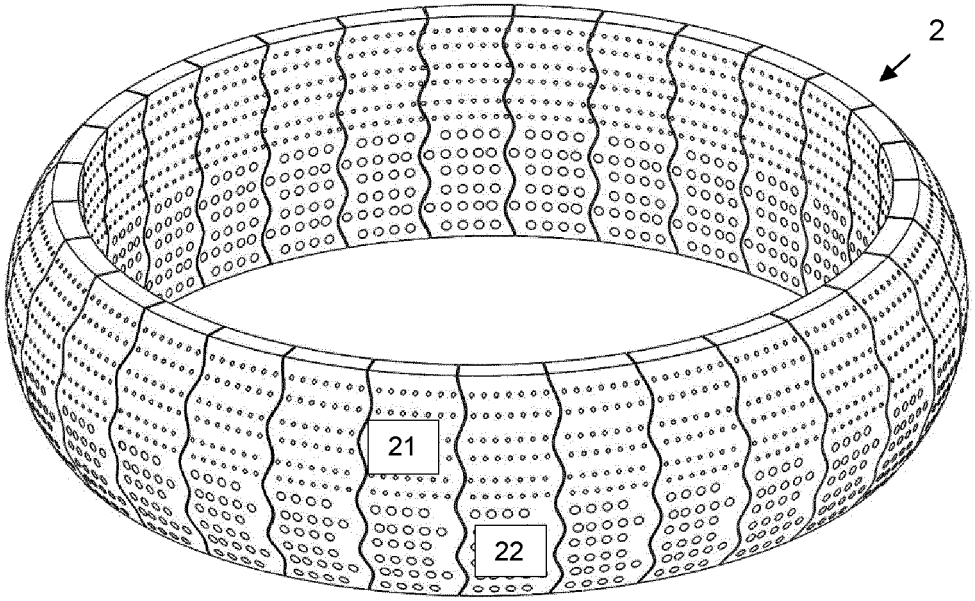


Fig.11b

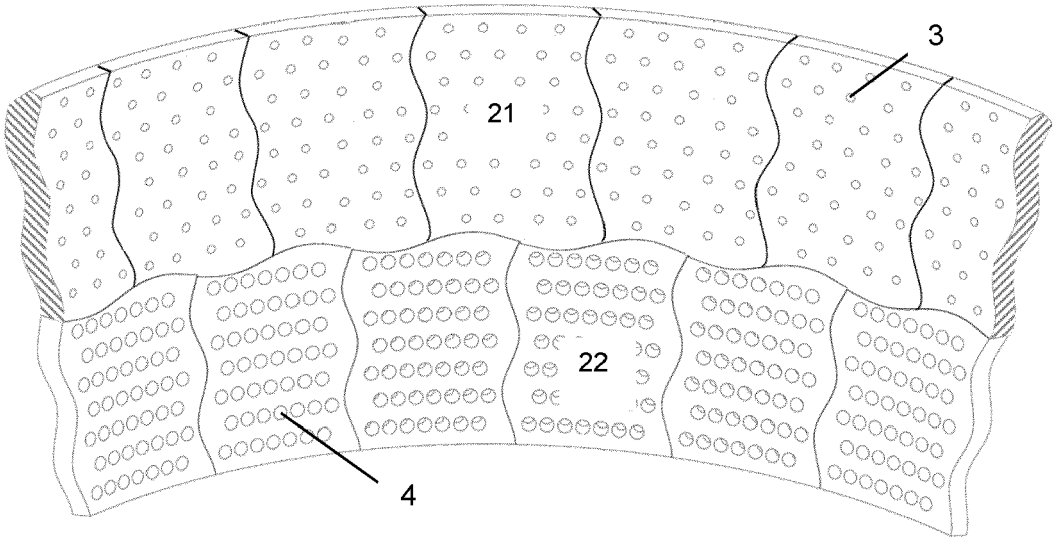


Fig.12

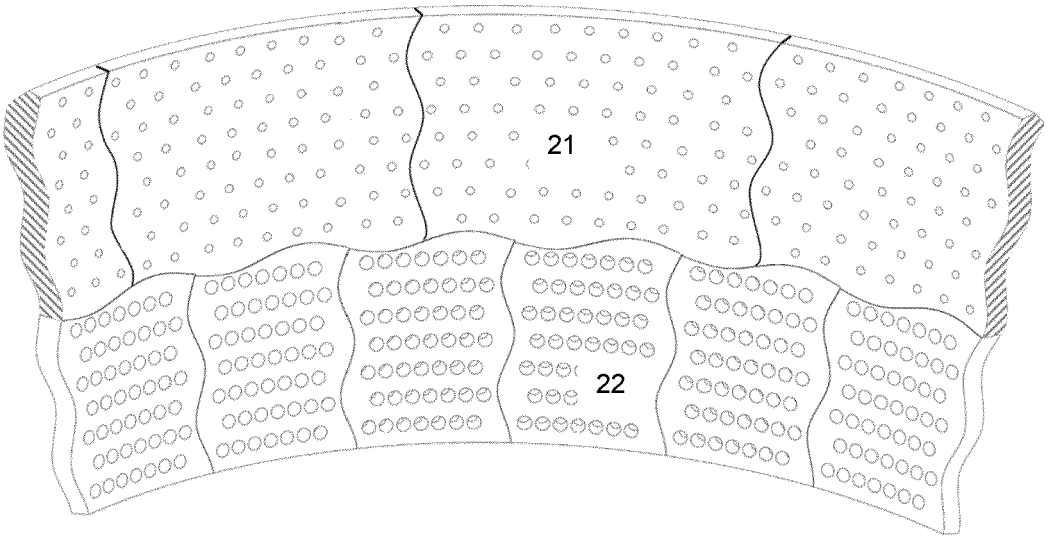


FiG.13

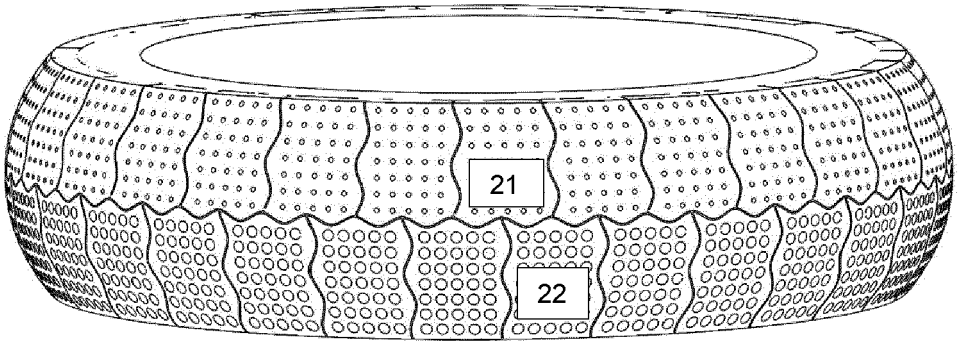


Fig.14a

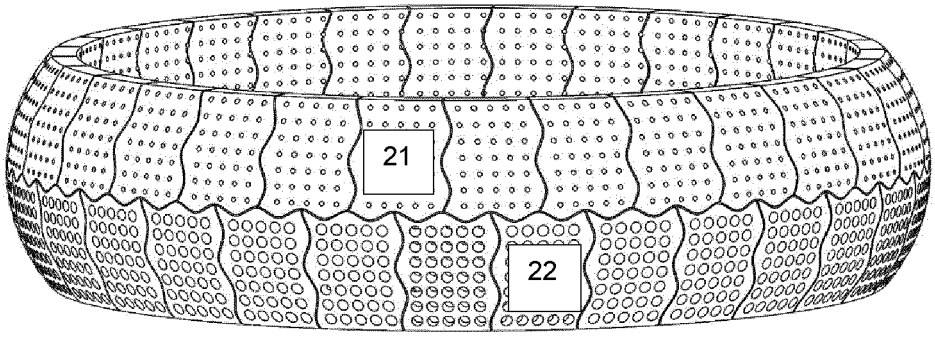


Fig.14b

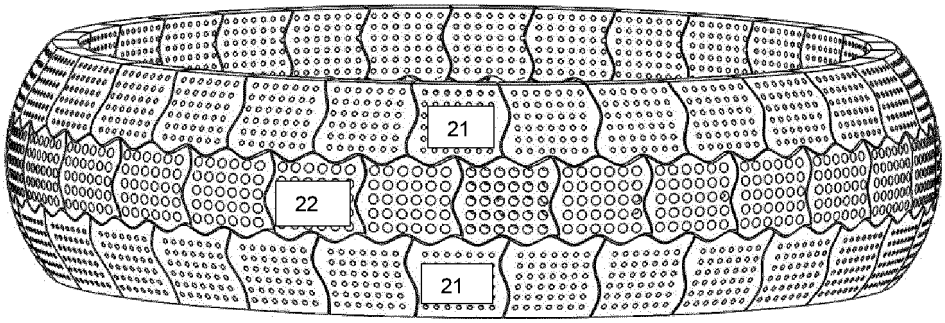


Fig.15 a

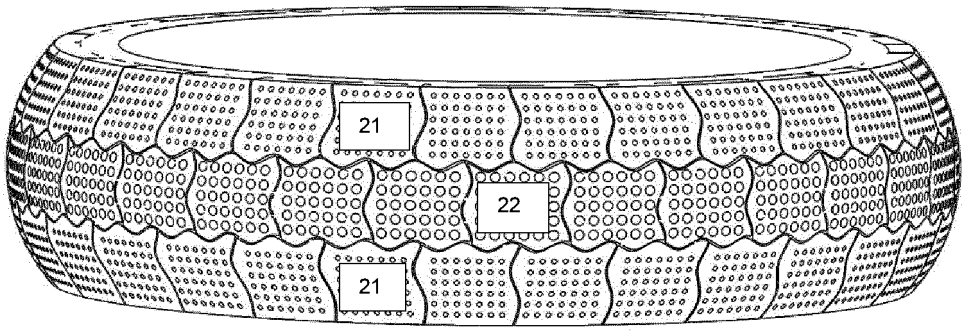


Fig. 15b

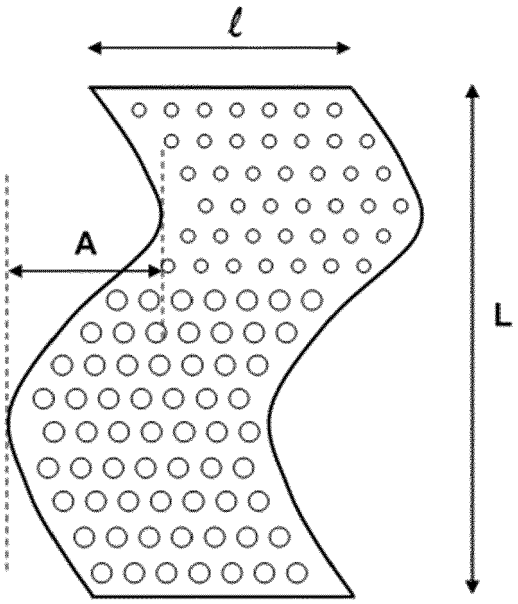


Fig.16

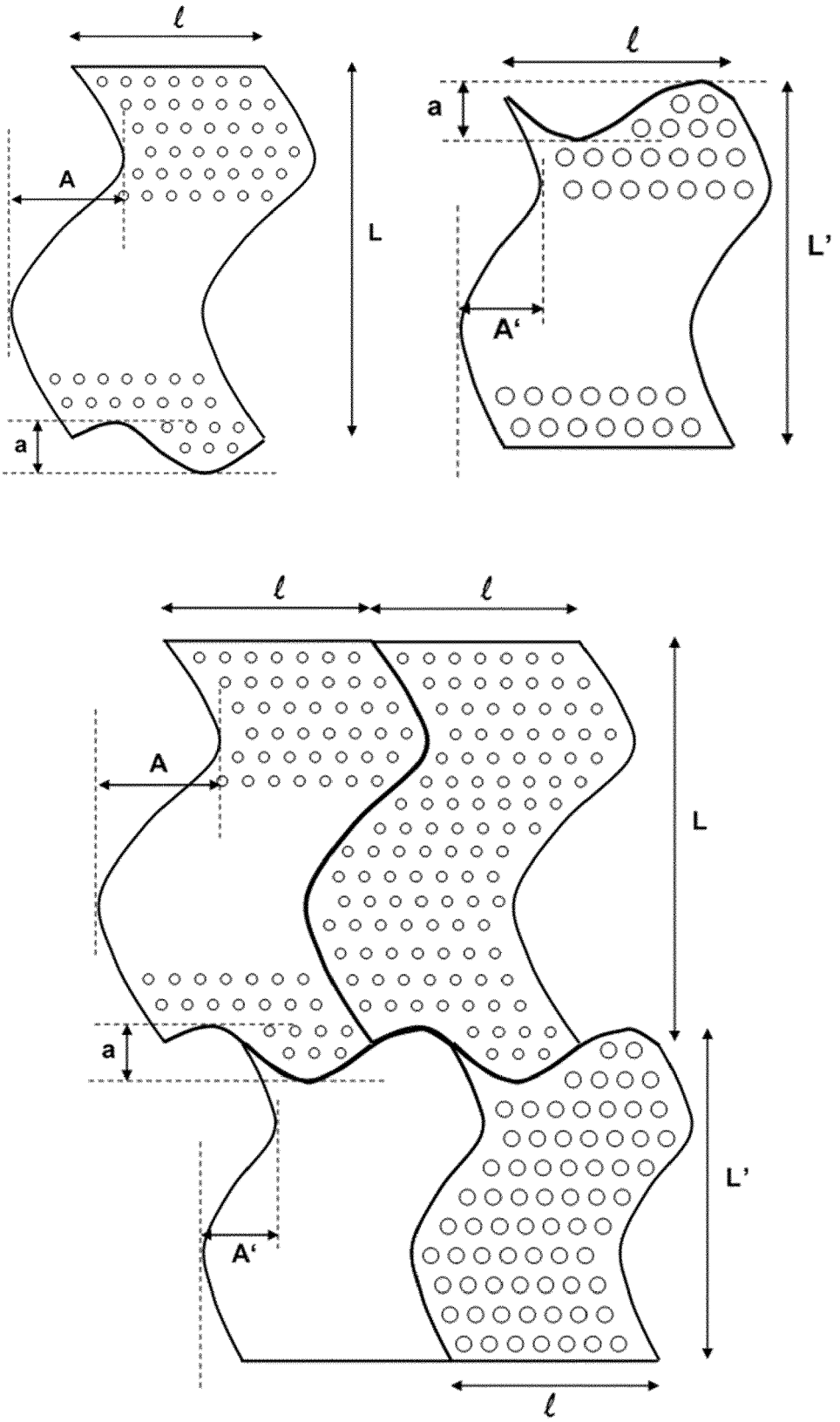


Fig.17

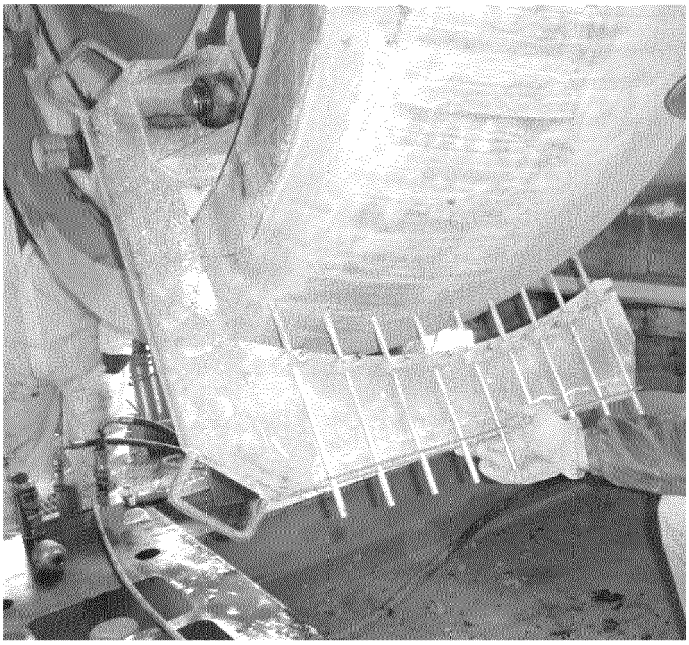


Fig.18

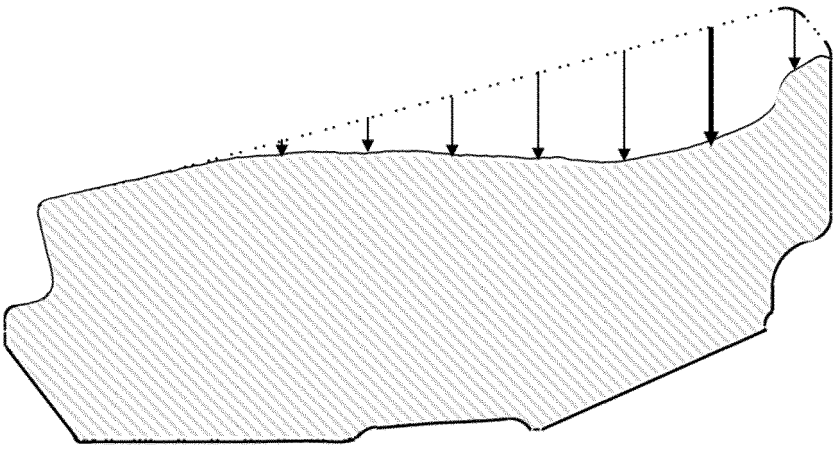


Fig.19

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 23 16 8749

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	CN 111 604 122 A (FOSHAN XINGJIYUAN TECH CO LTD) 1 septembre 2020 (2020-09-01) * le document en entier *	1-16	INV. B02C15/00
A	WO 2014/093280 A1 (SMIDTH AS F L [DK]; SHARMAN DAVID MICHAEL [US]) 19 juin 2014 (2014-06-19) * abrégé * * figures 1,3,6,7,10,12A-12D *	1-16	
A	US 2018/071743 A1 (OLSSON DAVID DAM [DK] ET AL) 15 mars 2018 (2018-03-15) * page 1, colonne de gauche, alinéa 1 * * page 2, colonne de gauche, alinéa 16 * * page 3, colonne de gauche, alinéa 37 * * figures 1,3,4,5A-5E,6A-6E,7 *	1-16	
A	US 2014/291428 A1 (SHARMAN DAVID MICHAEL [US] ET AL) 2 octobre 2014 (2014-10-02) * abrégé * * figures 1-16 *	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B02C

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
Munich	5 octobre 2023	Redelsperger, C

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 23 16 8749

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 members 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.

05-10-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 111604122 A	01-09-2020	AUCUN	
WO 2014093280 A1	19-06-2014	AUCUN	
US 2018071743 A1	15-03-2018	CN 107405624 A	28-11-2017
		EP 3274097 A1	31-01-2018
		US 2018071743 A1	15-03-2018
		WO 2016150719 A1	29-09-2016
US 2014291428 A1	02-10-2014	AU 2012355465 A1	22-05-2014
		CA 2856441 A1	27-06-2013
		CL 2014001327 A1	21-11-2014
		CN 103945945 A	23-07-2014
		EA 201400731 A1	28-11-2014
		EP 2794108 A1	29-10-2014
		PE 20142127 A1	04-01-2015
		US 2014291428 A1	02-10-2014
		WO 2013096251 A1	27-06-2013
		ZA 201403759 B	28-01-2015

EPO FORM P0460

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 9815373 A **[0005] [0021]**
- WO 2005084809 A **[0006] [0015] [0022] [0037] [0044]**
- WO 2018069006 A **[0007]**
- WO 20211160381 A **[0008]**