

①② **CERTIFICAT D'UTILITÉ** **B3**

⑤④ **ELEMENT DE BLINDAGE PROFILE.**

②② **Date de dépôt** : 02.07.20.

③③ **Priorité** :

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés** :

☐ **Demande(s) d'extension** :

⑦① **Demandeur(s)** : SAINT-GOBAIN CENTRE DE
RECHERCHES ET D'ETUDES EUROPEEN Société
par actions simplifiée — FR.

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande** : 07.01.22 Bulletin 22/01.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
certificat d'utilité** : 01.07.22 Bulletin 22/26.

⑤⑥ **Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un
rapport de recherche.**

⑦② **Inventeur(s)** : BRULIN Jérôme, GRAVELEAU
Matthieu et MARGOSSIAN Alexane.

⑦③ **Titulaire(s)** : SAINT-GOBAIN CENTRE DE
RECHERCHES ET D'ETUDES EUROPEEN Société
par actions simplifiée.

⑦④ **Mandataire(s)** : SAINT-GOBAIN RECHERCHE.

FR 3 112 201 - B3



Description

Titre de l'invention : Elément de blindage profilé

Domaine technique

- [0001] L'invention se rapporte à un élément de blindage notamment de protection antibalistique dont la surface d'impact présente une forme particulièrement adaptée pour cette fonction, un système de protection comprenant un tel élément et le procédé de fabrication d'un tel élément.
- [0002] L'invention trouve notamment son application comme armure utilisée pour les gilets pare-balles ou un autre blindage permettant de protéger des véhicules (terrestres, maritimes ou aériens) ou des installations fixes (bâtiment, mur d'enceinte, poste de garde notamment).

Technique antérieure

- [0003] En particulier, la masse supplémentaire liée au port d'un élément de protection antibalistique tel qu'une armure ou un blindage est un critère essentiel qu'il s'agisse de la protection des personnes mais aussi vis à vis des véhicules. Notamment, il s'agit d'éviter un alourdissement excessif qui est un obstacle aux déplacements rapides et limite leur rayon d'action.
- [0004] On connaît en particulier des systèmes formés par l'assemblage dit « mosaïque » de pièces céramiques ayant une forme polygonale déterminée et résistants individuellement à l'impact d'un projectile. JP2005247622 décrit par exemple un arrangement de telles formes de 20 à 100 mm de largeur, pour une épaisseur de quelques mm. Ce type de mosaïques de pièces présente l'avantage de résister à des tirs successifs (protection dite « multi-shot » ou « multi-hit » en anglais). L'assemblage de telles structures « mosaïques » est cependant long et coûteux. De plus, il peut être difficile de maintenir une tolérance globale faible de l'ensemble du fait que les tolérances de chaque pièce s'ajoutent pour constituer l'assemblage. Cela a un impact sur la largeur des espaces résiduels entre les pièces (plans de joints) produits par l'assemblage. Par ailleurs, si celui-ci présente en plus une forme incurvée, les espaces constituent une zone de faiblesse importante de ce système de protection lorsque le projectile impacte ces endroits.
- [0005] Il existe d'autres systèmes dits monolithiques, c'est à dire formés par une seule pièce ou encore par un nombre très limité de pièces de grande surface, chaque monolithe ayant une surface d'impact supérieure à 100 cm², voire 150 cm², de façon à réduire le nombre de joints.
- [0006] De nombreux matériaux ont été proposés notamment pour constituer en particulier une armure destinée aux personnes dont le rapport masse de blindage sur surface de

protection (ou densité surfacique) doit rester faible, typiquement moins de 50 kg/m², ou un blindage non personnel destiné à des véhicules ou des installations fixes dont le rapport masse sur surface de protection est supérieur typiquement à 10 kg/m².

- [0007] Les métaux et l'alumine sont couramment utilisés comme blindage mais ils présentent une densité surfacique élevée pour obtenir la protection souhaitée.
- [0008] Plus récemment ont été proposés des produits à base de céramique non oxyde dont le rapport masse sur surface de blindage ou densité surfacique, à résistance à l'impact équivalente, est plus faible.
- [0009] Au-delà de la forme générale dite mosaïque ou celle dite monolithique, différentes configurations ont été proposées. La publication EP 1380809 A2 dévoile par exemple un système comportant deux couches de matériau, la première couche A plus dense formée en surface par un carbure et un métal, par exemple un carbure de silicium SiC et du silicium métallique Si, et une deuxième couche B plus poreuse formée par le carbure, par exemple du carbure de silicium.
- [0010] Il est proposé par US6389594B1 une enveloppe externe (ou «outershell» en anglais) de l'armure en céramique monolithique qui est mise sous contrainte de compression. Cette enveloppe est réalisée en un matériau polymère à base d'aramide ou d'autres matériaux antibalistiques notamment à base fibres de verre. Cette enveloppe externe n'empêche pas la fracturation du bloc monolithique et si celui-ci présente une taille supérieure à 100 cm² et/ou si le projectile est de gros calibre, du fait de l'importante énergie à dissiper, l'effet de « blocage » est trop faible, la décohésion du bloc monolithique est forte et la résistance à des tirs multiples reste trop faible.
- [0011] Plus récemment, WO2008/130451 (EP2095055A1) a proposé une approche consistant à réduire la propagation de la vague de contraintes liée à l'impact du projectile en utilisant une enveloppe formée cette fois-ci par un média perméable, typiquement une couche de fibres organiques (par exemple aramide) fixée sur la pièce en céramique puis imprégnée par un polymère hyper élastique afin d'absorber l'énergie liée à l'impact du projectile et réduire la propagation de fissures et la multifracturation de la céramique. Ce système n'a d'intérêt que pour des pièces céramiques également de faible dimension et l'exemple testé est réalisé à partir d'un assemblage de 9 pièces céramiques de dimension 100mm*100mm*8mm. L'énergie absorbée par cette nouvelle enveloppe ne peut empêcher la décohésion d'un bloc céramique d'une surface supérieure à 150cm².
- [0012] La publication « effects of novel geometric designs on the ballistic performance ceramics » de P.Karandikar et al dans Advances in Ceramic Armor X divulgue différentes géométries de plaques de blindage de céramique ou de métal notamment des plaques dont certaines pour lesquelles la surface d'impact présente des trous, des creux ou des bosses. Les auteurs n'observent pas d'amélioration, voire une détérioration des

performances lorsque cette texturation est appliquée sur la face d'impact. Aucune information n'est cependant fournie dans cette publication sur les dimensions et la répartition exacte de la texturation appliquée.

- [0013] Il existe donc continuellement un besoin d'amélioration des produits utilisés comme blindage, cette amélioration étant mesurée notamment par leur performance balistique, pour un densité surfacique comparable.
- [0014] L'objet de la présente invention est donc de proposer un nouveau produit, différent des produits actuellement utilisés dans le domaine, et dont les performances balistiques sont améliorées, à densité surfacique égale.
- [0015] En particulier, il existe aujourd'hui un besoin pour un blindage monolithique d'une surface supérieure à 100 cm², de préférence supérieure à 150 cm², de préférence encore supérieure à 200 cm², voire supérieure à 500 cm² ou même supérieure à 1000 cm², capable de résister à des tirs de projectiles perforants de diamètre supérieur ou égal à 5,56mm dans une même région du blindage, mais qui présente cependant une masse volumique apparente faible, typiquement inférieure à 8,5g/cm³, voire inférieure à 5 g/cm³, afin de protéger sans trop alourdir le porteur de la protection, ou encore les véhicules (terrestres, maritimes voire aériens) ou les installations fixes, telles que des bâtiments, équipés d'une telle protection.

Exposé de l'invention

- [0016] Selon un premier aspect général, la présente invention se rapporte à un élément de blindage sous forme d'un corps monolithique, par exemple une plaque, un tube ou une forme plus complexe telle qu'un casque, présentant une surface supérieure (ou surface d'impact), en particulier de forme droite ou courbe, comprenant des grains en un matériau qualifié de dur. Ledit corps peut être muni sur sa face intérieure (ou opposée à la face d'impact) d'un revêtement arrière de dissipation de l'énergie, de préférence constitué dans un matériau de dureté inférieure à celui du matériau constituant le corps de l'élément de protection.
- [0017] Plus précisément, la présente invention se rapporte à un élément de blindage, sous forme d'un corps monolithique présentant une face extérieure ou face d'impact et une face intérieure, opposée à ladite face d'impact, lesdites faces intérieure et extérieure étant de préférence sensiblement parallèles entre elles dans lequel :
 - [0018] -ledit corps est constitué dans un matériau fritté,
 - [0019] -les surfaces desdites faces intérieure et extérieure sont supérieures à 100 cm²,
 - [0020] ledit corps étant caractérisé en ce qu'au moins une portion de ladite face d'impact dudit corps est texturée, de telle façon que,
 - [0021] -sur cette portion et selon un plan i de section interne dudit corps parallèle à ladite face intérieure, avec $0 < i < 100$ et i correspondant en pourcentage à la fraction de

ladite épaisseur moyenne E_m au plan i , en partant de la face intérieure et en direction de la face d'impact, A_i étant l'aire occupée par le seul matériau à l'épaisseur E_i , au niveau d'une surface intermédiaire située entre la surface de la face intérieure d'aire A_0 et la surface extérieure d'aire A_{100} correspondant à l'aire de matériau au niveau de l'épaisseur moyenne E_m ,

- [0022] -l'épaisseur moyenne E_m entre lesdites faces extérieure et intérieure dudit corps sur ladite portion (50) est supérieure à 4 mm,
- [0023] -la surface d'une aire intermédiaire A_i est inférieure à ladite aire A_0 à partir d'une valeur de i supérieure à au moins 50, ($A_i < A_0$ si $i \geq$ au moins 50).
- [0024] - A_i décroît de façon continue ou discontinue (par exemple par paliers) selon i , lorsque $A_i < A_0$ (ou encore lorsque $E_i > E_{50}$)
- [0025] - $A_{75} \geq 0,2 \times A_0$,
- [0026] - $A_{95} < 0,9 \times A_0$.
- [0027] On entend par « continue » que $A_{i+e} < A_i$ quel que soit $i \geq 50$.
- [0028] On entend par « discontinue » que la relation $A_{i+e} < A_i$ n'est pas vérifiée sur toute la plage du domaine $100 \geq i \geq 50$.
- [0029] Au sens de la présente invention, le plan de section i considéré n'est pas forcément plat. En particulier, si ladite face intérieure est courbe, ledit plan de section i l'est bien entendu également. Dans une telle configuration, on comprend que le terme « plan de section » doit être entendu comme la surface de section parallèle à ladite face intérieure au point considéré.
- [0030] Comme cela sera exposé par la suite l'aire de la surface intermédiaire de matériau selon ledit plan de section interne parallèle peut être mesurée aisément par une coupe dudit corps et de préférence par des méthodes non destructives telle que la to-mographie et l'utilisation de logiciels de dessin assisté par ordinateur par exemple.
- [0031] Il est entendu que l'aire A_i occupée par le seul matériau inclut aussi son éventuelle porosité.
- [0032] L'avantage de la présente invention réside dans un choix optimal du profil de l'élément, permettant d'augmenter la surface de contact initiale avec le projectile, sans augmentation substantielle de matière. Une telle réalisation permet de dévier les projectiles et de réduire leur pouvoir perforant compte-tenu de l'épaisseur de la partie non texturée de l'élément de blindage nécessaire à l'absorption d'une partie de l'énergie due à l'impact afin de limiter par conséquent sa fragmentation.
- [0033] De préférence,
- [0034] - A partir d'une valeur de i supérieure à au moins 50, la variation relative $(A_{i+2}-A_i) \times 100/A_i$ est inférieure à 30%.
- [0035] - A partir d'une valeur de i supérieure à au moins 75, la variation relative $(A_{i+2}-A_i) \times 100/A_i$ est inférieure à 20%.

[0036] - $A_{85} < 0,8 \times A_0$. De préférence, $A_{85} < 0,6 \times A_0$. De manière plus préférée $A_{85} < 0,5 \times A_0$.

- [0037] – L'épaisseur E_i à partir de laquelle l'aire A_i diminue, appelée aussi E_{sm} , est supérieure à 55% et/ou inférieure à 95%, de préférence inférieure à 90%, de manière encore plus préférée inférieure à 80% ou même inférieure à 75% de l'épaisseur moyenne dudit corps. De préférence E_i à partir de laquelle l'aire A_i diminue, appelée aussi E_{sm} , est supérieure à 4mm.
- L'aire A_{95} correspondant à la surface intermédiaire de matériau mesurée selon un plan de section interne dudit corps parallèlement à la face intérieure à 95% de l'épaisseur moyenne dudit corps en partant de la face intérieure en direction de la face d'impact représente entre 50 et 90% de l'aire de la face intérieure ou A_0 .
- L'aire A_{100} correspondant à la surface de matériau sur la face supérieure (ou face d'impact) dudit corps selon un plan de section au niveau de son épaisseur moyenne est inférieure ou égale à 20% de A_0 , de préférence inférieur à 10% de A_0 .
- La surface de la face intérieure est supérieure à 150 cm², supérieure à 200cm², supérieure à 500 cm², voire encore supérieure à 1000 cm²,
- Ledit corps présente une épaisseur moyenne supérieure à 7mm, de préférence supérieure à 10mm, de préférence supérieure à 15 mm, de préférence supérieure à 20 mm,
- De préférence encore, en particulier :
- Ledit corps selon l'invention, sur au moins une portion de sa face d'impact, présente une pluralité de motifs correspondant à une variation locale de l'épaisseur dudit corps. Cette variation locale d'épaisseur peut suivre une fonction ou un profil dont la courbe dans un plan perpendiculaire au plan de section peut présenter un ou plusieurs changements de courbure.
- Lesdits motifs peuvent présenter les caractéristiques suivantes:
- Les motifs sont de préférence des excroissances ou des protubérances, en forme de cônes, de pyramides de base polygonale, ou encore des motifs dont le profil est de forme sinusoïdale.
- la largeur ou le diamètre ϕ des motifs de ladite portion est comprise entre 1 et 5 fois l'épaisseur E_m , de préférence entre 1,5 et 4 fois l'épaisseur E_m .
- La largeur ou le diamètre ϕ des motifs de ladite portion est supérieure ou égale à 3mm et/ou inférieure ou égale à 40mm.
- la hauteur h des motifs, est inférieure à 0,5 fois l'épaisseur E_m , de préférence h est comprise entre 0,05 0,5 fois l'épaisseur E_m .
- La hauteur des motifs de ladite portion est supérieure ou égale à 0,5mm et/ou

inférieure ou égale à 5mm.

- L'espacement D entre deux motifs voisins correspondant à la plus grande distance mesurée entre leurs centres respectifs est inférieur à 5 fois l'épaisseur E_m , de préférence inférieur à 4 fois l'épaisseur E_m , de manière plus préférée inférieur à 3,5 fois l'épaisseur E_m .
- l'espacement D entre deux motifs voisins correspondant à la plus grande distance mesurée entre les centres respectifs de deux motifs est inférieur ou égal à 40mm. De préférence l'espacement D est adapté en fonction du calibre du projectile vis-à-vis duquel l'armure est prévue. En particulier, l'espacement D est de préférence égal au double du calibre du projectile plus ou moins 30%. Par exemple pour un calibre de 7,62 mm, D est égal à 15,2 +/- 4,6mm. Selon un mode possible les motifs sont jointifs c'est-à-dire que leur espacement est sensiblement égal à leur largeur ou leur diamètre.
- Le motif s'étend par translation selon une ou de préférence selon deux directions différentes, ces deux directions étant de préférence perpendiculaires entre elles.
- Selon un mode particulier un motif peut être plus complexe et composé de sous-motifs superposés afin de dévier des projectiles de différent calibre, chaque sous-motif étant adapté à une menace en particulier. La figure 10 illustre un exemple d'un tel mode de réalisation. Selon un mode possible les sous-motifs répondent à une même forme de base selon une échelle différente, par exemple de façon homothétique ou une structure fractale.
- Selon un autre mode possible, la forme générale du motif est sinusoïdale et comprend des sous-motifs sous forme d'harmoniques, notamment de différentes amplitudes ou hauteurs.
- Selon un mode particulier la distribution des motifs est régulière, c'est à dire que des motifs de même morphologie (hauteur et largeur) sont espacés de la même distance.
- Selon un mode possible ledit corps présente une face intérieure plane.
- Selon un autre mode possible, la face intérieure et la face d'impact (hormis les motifs ou variations locales d'épaisseur) sont sensiblement parallèles.

[0038] On décrit ci-après différents modes de réalisation préférés selon la présente invention, qui peuvent bien évidemment, le cas échéant, être combinés entre eux :

- [0039]
- ledit corps a une masse volumique apparente inférieure à 8g/cm³,
 - les grains du matériau constituant ledit corps ont un diamètre équivalent moyen inférieur à 500 micromètres et une dureté Vickers supérieure à 3 GPa, de préférence supérieure à 10 GPa.
 - le matériau constituant ledit corps comprend des grains de matériau mé-

- tallique et/ou de céramique et/ou de cermet.
- lesdits grains présentent un diamètre équivalent maximal inférieur ou égal à 500 micromètres, de préférence inférieur ou égal à 400 micromètres ou même inférieur ou égal à 300 micromètres. De préférence, le diamètre équivalent maximal desdits grains est supérieur à 5 micromètres, de préférence supérieur à 10 micromètres ou même supérieur à 50 micromètres.
 - Lesdits grains de céramique et/ou de cermet sont de préférence liés par une matrice, ladite matrice comprenant ou étant constituée d'une phase de nitrure de silicium et/ou d'une phase d'oxynitrure de silicium, ladite matrice représentant entre 5 et 40% poids, de préférence entre 15 et 35% poids, dudit matériau constitutif du corps céramique.
 - Lesdits grains sont constitués d'un carbure ou d'un borure métallique. De préférence encore il s'agit de grains de carbure de silicium ou de carbure de bore ou un mélange de ces deux carbures. Selon un mode possible le matériau constituant ledit corps comprend uniquement des grains de carbure de silicium, avec éventuellement une phase métallique, de préférence comprenant l'élément silicium.
 - ledit corps, de préférence céramique, présente une masse volumique apparente inférieure à 5 g/cm³, de préférence inférieure à 3,2 g/cm³, de préférence une masse volumique apparente inférieure à 3,0 g/cm³.
 - De préférence, les grains constitutifs du matériau constituant ledit corps sont constitués essentiellement de SiC, de préférence sous forme alpha.
 - ledit matériau constituant ledit corps présente une porosité ouverte supérieure à 5%, de préférence supérieure à 6%, de préférence encore supérieure à 7% ou même supérieure à 8%, et inférieure à 14%, de préférence inférieure à 13%, de préférence encore inférieure à 12%.
 - ledit corps présente un ratio masse sur surface ou une densité surfacique, mesuré en kg/m², supérieur à 60 et/ou de préférence inférieur à 200.
 - Ledit corps peut être une plaque, un tube ou une autre forme permettant de réaliser un plastron, un bouclier, un élément de carrosserie d'un véhicule, un radôme, un casque, parmi lesquels l'élément de blindage selon l'invention peut être choisi.
- [0040] L'invention se rapporte également à un dispositif de protection antibalistique comprenant l'élément de blindage selon l'invention, dans lequel :
- [0041] -ledit corps est muni sur sa face intérieure ou opposée à la face d'impact d'un revêtement arrière de dissipation de l'énergie, constitué dans un matériau de dureté inférieur à celui du matériau constituant ledit corps, dans lequel le matériau constituant le revêtement arrière est choisi parmi les polyéthylènes PE, notamment les poly-

éthylènes ultra haute densité (UHMPE), les fibres de verre ou de carbone, les aramides, les métaux tel que l'aluminium, le titane ou leur alliages ou l'acier.

- [0042] – l'ensemble corps céramique-revêtement arrière est entouré par une enveloppe d'un matériau de confinement.
- le matériau de confinement constituant l'enveloppe est choisi parmi les fibres de verre ou de carbone ou les aramides.

Brève description des dessins

- [0043] – La figure 1 décrit les paramètres géométriques et la forme possible d'un corps de blindage selon l'invention.
- Les figures 2a, 2b, 2c et 2g décrivent en coupe selon un plan de section des corps de blindage à titre comparatif. Les figures 2d, 2e et 2f concernent des corps de blindage profilés selon l'invention.
- La figure 3 représente l'évolution de la surface A_i/A_0 en fonction de l'épaisseur E_i/E_m pour différents exemples de réalisation. Une épaisseur de zéro (0) correspond au plan de surface A_0 de la face inférieure et une épaisseur égale à 100 correspond au plan selon l'épaisseur maximale E_m .
- La figure 4 illustre un corps de blindage dont une portion de la surface d'impact présente des motifs jointifs.
- La figure 5 montre un corps de blindage dont une portion de la surface d'impact avec motifs réguliers espacés.
- La figure 6 montre un corps de blindage dont une portion de la surface d'impact avec alternance de deux motifs différents.
- La figure 7 montre un corps de blindage dont la surface d'impact comprend une distribution circulaire de motifs.
- La figure 8 montre un corps de blindage dont la surface d'impact comprend des motifs de profil sinusoïdal.
- La figure 9 montre un corps de blindage dont la surface d'impact comprend une alternance de motifs jointifs.
- La figure 10 représente une surface d'impact de deux éléments de blindage selon l'invention comprenant un motif complexe constitué de sous-motifs, de type sinusoïdal avec des harmoniques.
- La figure 11 représente une surface d'impact de deux éléments de blindage selon l'invention comprenant un motif complexe constitué de sous-motifs de type empilement de pyramides homothétiques.
- [0044] La [fig.1] présente schématiquement en coupe un exemple de corps de blindage 10 selon l'invention, sous forme d'un corps monolithique présentant une face extérieure 20 (ou face d'impact) et une face intérieure 30 (opposée à ladite face d'impact). Le

corps a une forme de plaque d'épaisseur moyenne E_m et de largeur 40 longueur non représentée). L'épaisseur moyenne est déterminée comme indiqué ci-dessous et prend en compte la texturation de la surface extérieure sur la portion 50 texturée. Sur une portion 50, la face extérieure 20 est texturée de telle façon que l'aire A_i d'un plan i de section interne à l'épaisseur intermédiaire E_i , décroît partant de la face intérieure 30 d'aire A_0 à partir d'une valeur de i supérieure à au moins 50, i correspondant en pourcentage à la fraction de ladite épaisseur moyenne E_m au plan i . L'aire A_{100} correspondant à l'aire de matériau au niveau de l'épaisseur moyenne E_m . Comme reportée sur la [fig.1], E_m est l'épaisseur E_i à partir de laquelle l'aire A_i diminue.

[0045] Sur la portion 50 de sa face d'impact, le corps présente une pluralité de motifs correspondant à une variation locale de l'épaisseur dudit corps. Un motif 60 présente une hauteur h_1 , une largeur ϕ_1 et un centre C_1 . L'espacement D_{1-2} entre le motif 60 de centre C_1 et celui voisin de centre C_2 est aussi représenté.

Définitions :

[0046] On donne les indications et définitions suivantes, en relation avec la description précédente de la présente invention :

[0047] Par épaisseur moyenne E_m dudit corps, on entend l'épaisseur moyenne sur la portion du corps comprenant la texturation.

[0048] Elle est calculée en divisant :

[0049] - les différentes épaisseurs mesurées à l'endroit de chaque motif ou protubérance, perpendiculairement à la face intérieure si celle-ci est plane ou perpendiculairement à la tangente de ladite face intérieure au point considéré, si cette face est courbe,

[0050] - par le nombre de protubérances ou motifs identifiés sur ladite portion.

[0051] On pourra se reporter à la [fig.1] qui montre le positionnement de ladite épaisseur moyenne.

[0052] Par portion de surface, il est entendu la surface polygonale minimale entourant une famille de motifs, cette surface étant délimitée par des segments de droite tangents aux motifs périphériques. Une famille de motifs est par exemple constituée de motifs telle que la distance entre deux motifs immédiatement voisins est inférieure à cinq fois la largeur ou le diamètre du motif le plus large. De préférence mais pas nécessairement, une portion peut regrouper des motifs de même morphologie et/ou de même hauteur ou largeur.

[0053] Le centre d'un motif est le barycentre de la surface dudit motif projetée perpendiculairement sur le plan correspondant à la face intérieure du corps. Typiquement dans le cas par exemple de pyramides droites, le centre est le sommet de la pyramide qui devient le centre de la base par projection perpendiculairement sur le plan correspondant à la face intérieure.

[0054] Une plaque est une forme géométrique dont la surface de la plus grande face est au

moins 5 fois de préférence 10 fois supérieure à son épaisseur.

- [0055] Par diamètre équivalent d'un grain, on entend la demi-somme de la plus grande longueur du grain et de la plus grande largeur du grain, mesurée dans une direction perpendiculaire à ladite plus grande longueur.
- [0056] Par matériau dur, on entend un matériau dont la dureté est suffisamment élevée pour justifier son utilisation dans des éléments d'armures ou de blindage.
- [0057] Les diamètres équivalents maximal et moyen sont classiquement déterminés à partir de l'observation de la microstructure du matériau constituant le corps céramique, classiquement grâce à des images prises en MEB (microscopie électronique à balayage) sur une coupe du produit fritté. Il a été vérifié dans les exemples qui suivent que ladite microstructure est sensiblement identique, quelle que soit l'orientation de la coupe.
- [0058] Par masse volumique apparente d'un produit, on entend au sens de la présente invention, le rapport égal à la masse du produit divisée par le volume qu'occupe ledit produit. Elle est classiquement déterminée par la méthode d'Archimède. La norme ISO 5017 précise par exemple les conditions d'une telle mesure. Cette norme permet aussi de mesurer la porosité ouverte au sens de la présente invention.
- [0059] On entend par Cermet un matériau composite composé d'un renfort en céramique et d'une matrice métallique.
- [0060] Par « matrice » on entend une phase cristallisée ou non, assurant une structure sensiblement continue entre les grains. Elle est obtenue, lors de l'élaboration du matériau, typiquement lors de sa cuisson, à partir des constituants de la charge de départ et éventuellement des constituants de l'environnement gazeux de cette charge de départ et/ou à partir d'un métal en fusion venant s'infiltrer dans la porosité dudit matériau lors de ou après sa cuisson. Une matrice entoure sensiblement les grains de la fraction granulaire, c'est-à-dire les enrobe.
- [0061] Le frittage d'un matériau est un procédé de fabrication de pièces telles que l'élément de blindage selon l'invention consistant à chauffer un mélange comprenant une poudre sans la mener jusqu'à la fusion. Sous l'effet de la chaleur, les grains se soudent entre eux, ce qui forme la cohésion de la pièce.
- [0062] Dans un corps céramique selon l'invention, les grains céramiques sont liés par la matrice. Lors de la cuisson ou frittage, ils conservent sensiblement la forme et la nature chimique qu'ils présentaient dans la charge de départ. Dans le corps céramique fritté, la matrice et les grains représentent ensemble 100% de la masse du produit. Dans le cas de corps céramiques présentant une matrice nitrure, un ou plusieurs métaux sont de préférence ajoutés à la charge, lesquels réagissent avec l'atmosphère azotée afin de former une ou plusieurs phases cristallisées azotées. L'augmentation de volume qui en résulte, typiquement de 1 à 30%, permet avantageusement de combler les pores de la matrice et/ou de compenser le retrait occasionné par le frittage des grains. Ce frittage

réactif permet ainsi d'améliorer la résistance mécanique du produit fritté. Les produits frittés réactivement présentent ainsi une porosité fermée significativement plus faible que celle(s) des autres produits frittés dans des conditions de température et de pression similaires. Lors de la cuisson, les produits frittés réactivement ne présentent sensiblement pas de retrait.

- [0063] La composition cristallographique du matériau constituant le corps monolithique est normalement obtenue par diffraction des rayons X et analyse de Rietveld.
- [0064] Les phases cristallisées, notamment les phases cristallisées azotées ont été mesurées par diffraction aux rayons X et quantifiées selon la méthode de Rietveld.
- [0065] Les teneurs en azote élémentaire (N) dans les produits frittés ont été mesurées au moyen d'analyseurs LECO (LECO TC 436DR ; LECO CS 300). Les valeurs sont fournies en pourcentages massiques.
- [0066] Le silicium résiduel sous forme métallique dans le matériau fritté ou après cuisson est normalement mesuré selon la méthode connue de l'homme du métier et référencée sous ANSI B74-151992 (R2000).
- [0067] La dureté Vickers de grains peut être mesurée à l'aide d'une pointe pyramidale normalisée en diamant de base carrée et d'angle au sommet entre faces égal à 136°. L'empreinte réalisée sur le grain a donc la forme d'un carré; on mesure les deux diagonales d_1 et d_2 de ce carré à l'aide d'un appareil optique. La dureté est calculée à partir de la force appliquée sur la pointe diamantée et la valeur d moyenne de d_1 et d_2 selon la formulation suivante :

[0068]

$$H_V = 0,189 \cdot \frac{F}{d^2} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} H_V = \text{Dureté Vickers} \\ F = \text{Force appliquée [N]} \\ d = \text{Moyenne des diagonales de l'empreinte [mm]} \end{array}$$

- [0069] La force et la durée de l'appui sont également normalisées. La norme de référence pour les matériaux céramiques ou cermet est la norme ASTM C1327:03 Standard Test Method for VICKERS Indentation Hardness of Advanced Ceramics. Pour un matériau de métal fritté la norme de référence est la norme ISO 6507-1.
- [0070] Sauf indication contraire, dans la présente description, tous les pourcentages sont des pourcentages massiques.
- [0071] L'élément de blindage selon l'invention permet notamment une protection contre tout type de projectiles, par exemple une balle, un obus, une mine ou un élément projeté lors de la détonation d'explosifs, comme des éclats, des boulons, des clous (ou IED pour «Improvised Explosive Device») mais aussi vis-à-vis d'armes blanches et constitue normalement un élément d'armure pour véhicules, généralement sous forme

de modules comme des plaques.

[0072] Selon l'invention, il comprend classiquement au moins deux couches : une première pièce en céramique telle que décrite précédemment associée à un autre matériau moins dur et préférentiellement ductile, en face arrière, classiquement appelé « backing », tel que des fibres de polyéthylène (ex : Tensylon™, Dyneema®, Spectra™), d'aramide (ex : Twaron™, Kevlar®), des fibres de verre, ou des métaux comme par exemple l'acier ou les alliages d'aluminium, sous la forme de plaques. Des colles, par exemple à base de polyuréthane ou polymères époxyde, sont utilisées pour lier les différents éléments constituant l'élément de blindage.

[0073] Sous l'impact des projectiles, le matériau du corps monolithique se fragmente et a pour rôle principal de casser le pouvoir perforant des projectiles. Le rôle de la face arrière, associée au matériau constituant ledit corps, est de consommer l'énergie cinétique des débris et de maintenir un certain niveau de confinement dudit corps optimisé encore par l'enveloppe de confinement.

[0074] Les exemples qui suivent sont donnés à titre purement illustratif et ne limitent sous aucun des aspects décrits la portée de la présente invention.

Exemples :

[0075] Dans tous les exemples qui suivent, des plaques céramiques de différents formats ont été réalisées par coulage en moule plâtre d'une suspension selon le procédé décrit précédemment et la formulation décrite dans le tableau 1 ci-après.

[0076]

[Tableaux1]

Composition du mélange initial (% massique)	
Poudre SiC 10-150µm $D_{50} = 75 \mu\text{m}$	39,5
Poudre SiC 0,1-5µm $D_{50} = 2,5 \mu\text{m}$	37,5
Poudre Si 0,5-50µm $D_{50} = 20\mu\text{m}$	17
Poudre d'Alumine $D_{50}=2,5 \mu\text{m}$	5,0
Fe_2O_3 2,5 µm	0,5
B_4C 95% <45µm $D_{50}=18 \mu\text{m}$	0,5
total minéraux %	100
eau ajoutée %	+12,5
dispersant ajouté %	+0,5
Conditions de la mise en forme et cuisson	
Coulage moule plâtre démoulage après durcissement	
Séchage (T° / durée)	110°C / 24h
Cuisson (T° /durée/temps)	1420°C/ 8h/ Azote

[0077] Différentes formes ont été réalisées à partir de moules dont la surface géométrique a été modifiée afin de faire varier le profil de ladite surface. Pour chaque configuration l'épaisseur a été ajustée afin d'obtenir une densité surfacique de matériau constante quels que soient les exemples. Les différents profils sont représentés selon la [fig.2]. Le profil de l'exemple 1 correspond à une plaque plane sans motifs. Les profils de exemples 2 à 7 présentent un profil sinusoïdal dont la hauteur h varie selon la fonction $a \times \cos(b \times x)$, x étant l'abscisse dans un axe du plan de coupe parallèle la face arrière, x variant de 0 à π/b . Pour chaque réalisation, les caractéristiques géométriques des plaques ainsi réalisées sont rassemblées dans le tableau 2.

[0078] Pour chaque exemple, trois assemblages ont été réalisés en collant la face de la plaque céramique opposée à l'impact à une plaque de polycarbonate à l'aide d'un scotch double face 3M 950TM de la société 3M.

[0079] Chaque assemblage a été ensuite posé devant trente plaques de polycarbonate de 10 mm d'épaisseur. Le tout a été soumis à un tir à 15 mètres de distance avec un calibre 7.62x51mm P80 à une vitesse de 820m/s. La performance balistique a été appréciée en mesurant la profondeur de pénétration de la balle dans les plaques de polycarbonate. Un indice a été calculé sur la base d'une plaque de référence fixé à 100. Plus l'indice est élevé, plus la profondeur est élevée proportionnellement et la performance ba-

listique faible.

[0080] La densité surfacique ρ_a est calculée selon la formule suivante $\rho_a = t \times \rho_v$ où :

[0081] ρ_a est la densité surfacique exprimée en Kg/m²

[0082] t est l'épaisseur de la plaque, exprimée en m

[0083] ρ_v est la masse volumique apparente exprimée en Kg/m³ typiquement mesurée selon la norme ISO 18754.

[0084] Les résultats reportés dans le tableau 2 qui suivent montrent les avantages liés à la mise en œuvre d'une plaque de blindage monolithique selon l'invention.

[0085] Dans le tableau 2 qui suit :

[0086] A_0 est l'aire occupée par le matériau à la surface intérieure de la plaque.

[0087] E_m (en mm) est l'épaisseur moyenne du corps, au sens précédemment décrit.

[0088] E_{sm} (en mm) est l'épaisseur E_i à partir de laquelle l'aire A_i diminue, c'est à dire l'épaisseur à partir de laquelle la texturation apparaît dans la plaque, mesurée à partir de la face intérieure de la plaque (voir la [fig.1]).

[0089] A_{75} (en mm²) est l'aire occupée par le seul matériau (c'est-à-dire en excluant les surfaces non remplies entre chaque motif), selon un plan de coupe parallèle à la face intérieure de la plaque et situé à une distance de ladite face intérieure égale à 75% de l'épaisseur E_m .

[0090] A_{95} (en mm²) est l'aire occupée par le seul matériau (c'est-à-dire en excluant les surfaces non remplies entre chaque motif), selon un plan de coupe parallèle à la face intérieure de la plaque et situé à une distance de ladite face intérieure égale à 95% de l'épaisseur E_m .

[0091] A_{100} (mm²) est l'aire occupée par le seul matériau (c'est-à-dire en excluant les surfaces non remplies entre chaque motif), selon un plan de coupe parallèle à la face intérieure de la plaque et situé à une distance de ladite face intérieure égale à l'épaisseur E_m .

[0092] Le ratio E_{sm}/E_m correspond à la valeur de i à partir de laquelle la surface d'une aire intermédiaire A_i est inférieure à l'aire A_0 .

[0093]

[Tableaux2]

	Exemple 1**	Exemple 2**	Exemple 3 **	Exemple 4*	Exemple 5*	Exemple 6*	Exemple 7**
Figure	2a	2b	2c	2d	2e	2f	2g
A_0 (mm ²)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
E_m (mm)	7	11,4	10,5	9,9	8,5	9,9	7,1
E_{sm} (mm)	NA	5,4	6,5	5,9	6,5	5,9	6,9
E_{sm}/E_m (%)	NA	47	62	60	76	60	97
A_{75} (mm ²)	10000	2124	1470	3069	10000	3028	10000
A_{95} (mm ²)	NA	286	29	448	760	400	10000
A_{100} (mm ²)	NA	0	0	0	0	0	0
profil motif a b	NA	a=3 b=0,412	a=1 b=0,412	a=2 b=0,206	a=1 b=0,412	a=2 b=0,412	a=0,125 b=0,412
Hauteur h des motifs (mm)	0	6	4	4	2	4	0,25
Diamètre Φ des motifs (mm)	NA	15,24	15,24	30,48	15,24	15,24	15,24
Escapement D entre motifs (mm)	NA	15,24	22,86	30,48	15,24	15,24	15,24
ρ_a (Kg/m ²)	19,60	19,59	19,61	19,59	19,60	19,60	19,58
Résultats ba- listiques	100	130	84	43	72	49	98

[0094] *selon l'invention **comparatif « NA » = non applicable

[0095] L'évolution de la surface A_i/A_0 en fonction de l'épaisseur E_i/E_m pour différents exemples de réalisation est représentée sur la [fig.3].

[0096] Les exemples selon l'invention 4, 5 et 6 présentent une performance balistique significativement améliorée vis à vis des exemples comparatifs notamment l'exemple 1 (plaque plane sans motif). La comparaison des exemples 2 et 7 (hors invention) avec les exemples 5 et 6 (selon l'invention) montre que la sélection de la hauteur, la largeur et l'espacement de motifs égaux de manière à obtenir un profil tel que E_{sm} est compris

entre $0,5 \times E_m$ et $0,95 \times E_m$ permet d'améliorer la performance balistique.

[0097] La comparaison de l'exemple 3 (hors invention) avec l'exemple 4 (selon l'invention) montre en particulier que malgré l'espacement augmenté de motifs plus larges, le choix d'un profil adapté avec une surface A_{75} correspondante d'élément de blindage au moins égale à 20% de la surface intérieure A_O permet d'augmenter très significativement la performance. Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits et représentés, fournis à titre d'exemples. En particulier, des combinaisons des différents modes de réalisation décrits entrent également dans le cadre de l'invention.

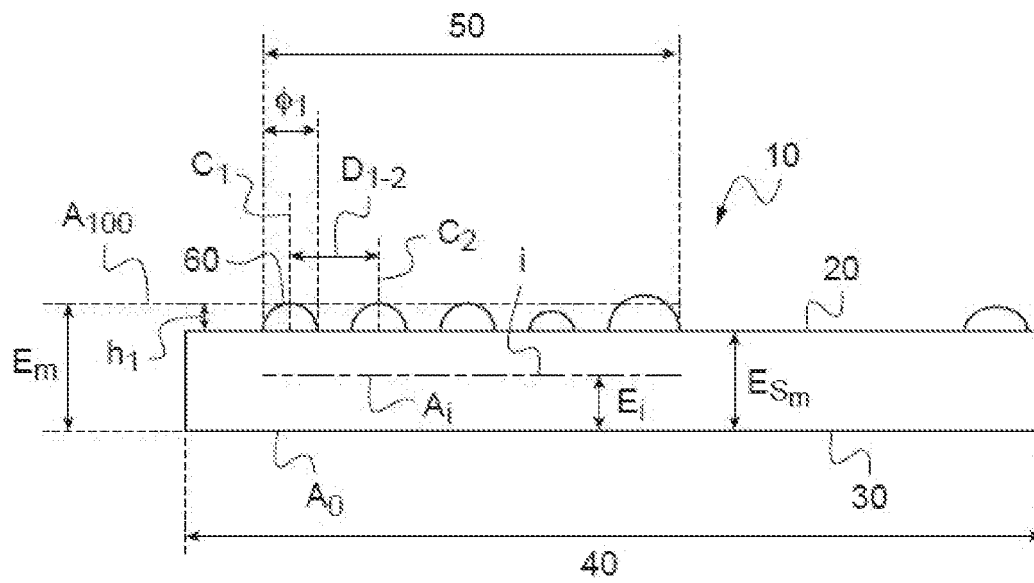
Revendications

- [Revendication 1] Elément de blindage, sous forme d'un corps monolithique (10) présentant une face extérieure (20) ou face d'impact et une face intérieure (30), opposée à ladite face d'impact, lesdites faces intérieure et extérieure étant de préférence sensiblement parallèles entre elles dans lequel:
- ledit corps (10) est constitué dans un matériau fritté,
 - les surfaces desdites faces intérieure et extérieure sont supérieures à 100 cm^2 ,
- ledit corps étant caractérisé en ce qu'au moins une portion (50) de ladite face d'impact dudit corps est texturée, de telle façon que,
- sur cette portion et selon un plan i de section interne dudit corps parallèle à ladite face intérieure, avec $0 < i < 100$ et i correspondant, en pourcentage, à la fraction de ladite épaisseur moyenne E_m au plan i , en partant de la face intérieure et en direction de la face d'impact, A_i étant l'aire occupée par le seul matériau à l'épaisseur E_i , au niveau d'une surface intermédiaire située entre la surface de la face intérieure d'aire A_0 et la surface extérieure d'aire A_{100} correspondant à l'aire de matériau au niveau de l'épaisseur moyenne E_m ,
 - l'épaisseur moyenne E_m entre lesdites faces extérieure et intérieure dudit corps sur ladite portion (50) est supérieure à 4 mm,
 - l'aire intermédiaire A_i est inférieure à ladite aire A_0 à partir d'une valeur de i supérieure à au moins 50,
 - A_i décroît de façon continue ou discontinue selon i , lorsque $A_i < A_0$,
 - $A_{75} \geq 0,2 \times A_0$,
 - $A_{95} < 0,9 \times A_0$.
- [Revendication 2] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel $A_{85} < 0,8 \times A_0$.
- [Revendication 3] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel à partir d'une valeur de i supérieure à au moins 50, la variation relative $(A_{i+2} - A_i) \times 100 / A_i$ est inférieure à 30%.
- [Revendication 4] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel à partir d'une valeur de i supérieure à au moins 75, la variation relative $(A_{i+2} - A_i) \times 100 / A_i$ est inférieure à 20%.
- [Revendication 5] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur E_i à partir de laquelle l'aire A_i diminue est supérieure à 55% et/ou inférieure à 95% de l'épaisseur moyenne E_m dudit corps.

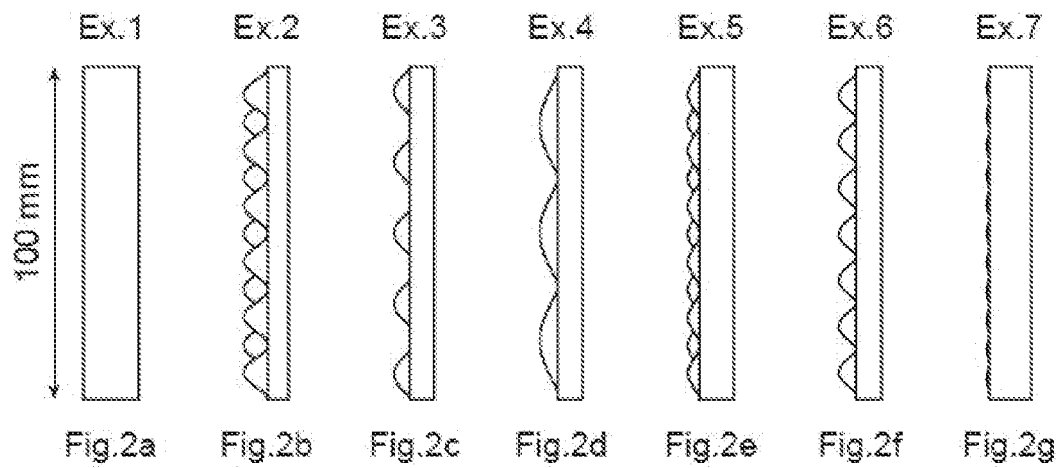
- [Revendication 6] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel, sur ladite portion, la face d'impact présente une pluralité de motifs correspondant à une variation locale d'épaisseur dudit corps.
- [Revendication 7] Elément de blindage selon la revendication précédente, dans lequel la largeur ou le diamètre ϕ des motifs de ladite portion est comprise entre 1 et 5 fois l'épaisseur E_m .
- [Revendication 8] Elément de blindage selon la revendication 6 ou 7, dans lequel largeur ou le diamètre ϕ des motifs de ladite portion, est supérieure ou égale à 3mm et/ou inférieure ou égale à 40 mm.
- [Revendication 9] Elément de blindage selon l'une des revendications 6 à 8, dans lequel la hauteur h des motifs, est comprise entre 0,05 et 0,5 fois l'épaisseur E_m .
- [Revendication 10] Elément de blindage selon l'une des revendications 6 à 9, dans lequel la hauteur h des motifs, de ladite portion est supérieure ou égale à 0,5mm et/ou inférieure ou égale à 5 mm.
- [Revendication 11] Elément de blindage selon l'une des revendications 6 à 10, dans lequel l'espacement D entre deux motifs voisins correspondant à la plus grande distance mesurée entre leurs centres respectifs est inférieur à 5 fois l'épaisseur E_m .
- [Revendication 12] Elément de blindage selon l'une des revendications 6 à 11, l'espacement D entre deux motifs voisins correspondant à la plus grande distance mesurée entre leurs centres respectifs est inférieur ou égal à 40mm.
- [Revendication 13] Elément de blindage selon l'une des revendications 6 à 12, dans lequel ledit motif s'étend par translation sur une ou de préférence selon deux directions différentes.
- [Revendication 14] Elément de blindage selon l'une des revendications 6 à 13, dans lequel ledit motif est composé de sous-motifs superposés, les sous-motifs étant de même forme de base selon une échelle différente.
- [Revendication 15] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le matériau constituant ledit corps a une masse volumique apparente inférieure à 8g/cm³ et/ou et une dureté Vickers supérieure à 3 GPa.
- [Revendication 16] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le matériau constituant ledit corps comprend des grains de matériau métallique et/ou de céramique et/ou de cermet.
- [Revendication 17] Elément de blindage selon la revendication précédente, dans lequel les grains ont un diamètre équivalent moyen inférieur à 500 micromètres.
- [Revendication 18] Elément de blindage selon l'une des deux revendications précédentes, dans lequel lesdits grains sont constitués d'un carbure ou d'un borure.

- [Revendication 19] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ledit corps présente un ratio masse sur surface ou une densité surfacique, mesuré(e) en kg/m^2 , supérieur à 60 et/ou inférieur à 200.
- [Revendication 20] Elément de blindage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la forme dudit corps est choisie parmi une plaque, un tube ou une autre forme permettant de réaliser un plastron, un bouclier, un élément de carrosserie d'un véhicule, un radôme, un casque.

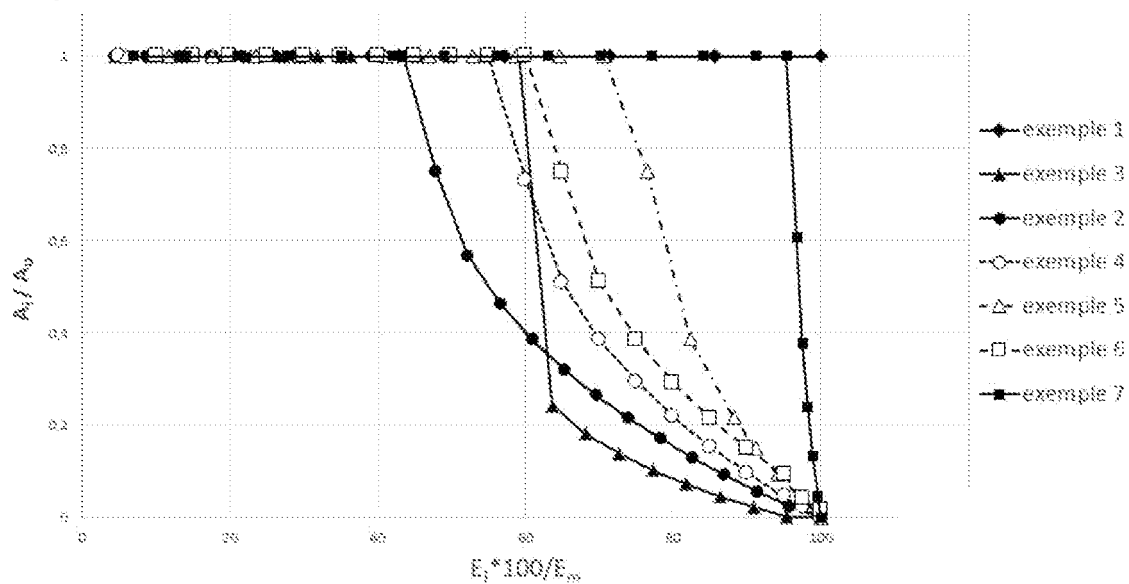
[Fig. 1]



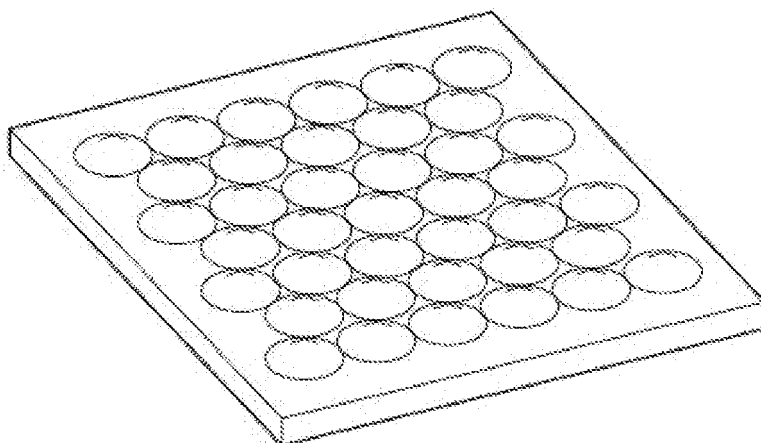
[Fig. 2]



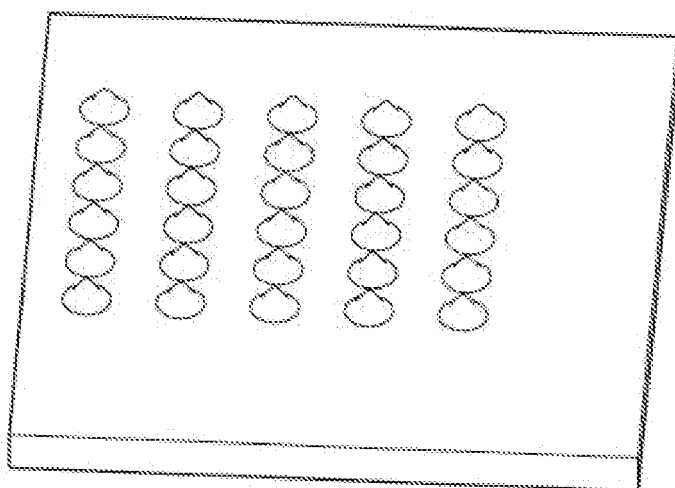
[Fig. 3]



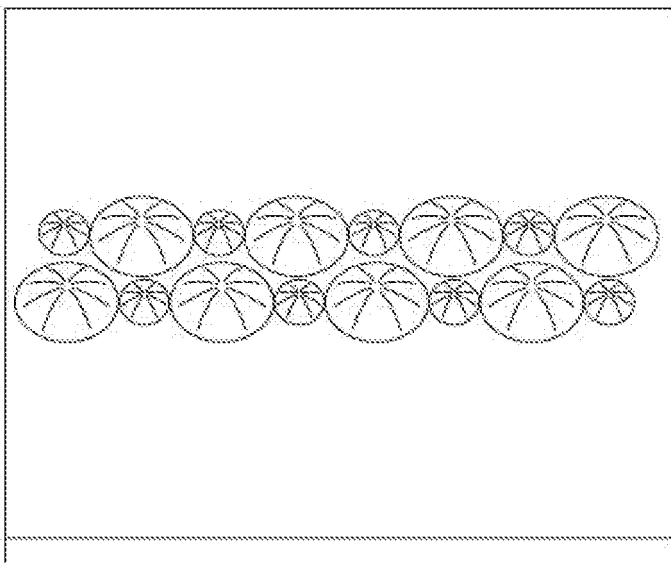
[Fig. 4]



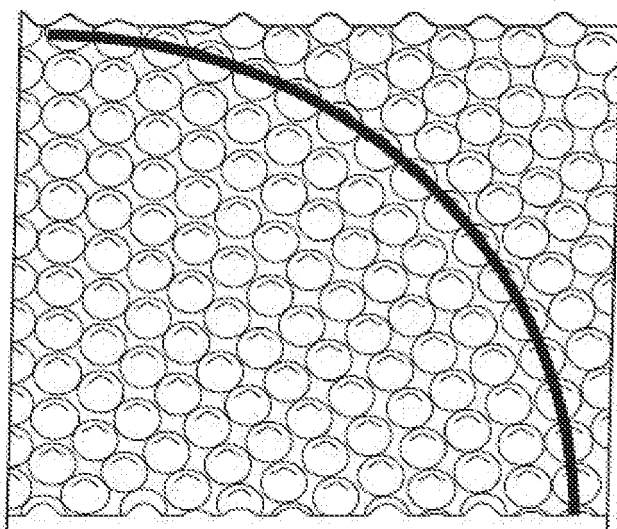
[Fig. 5]



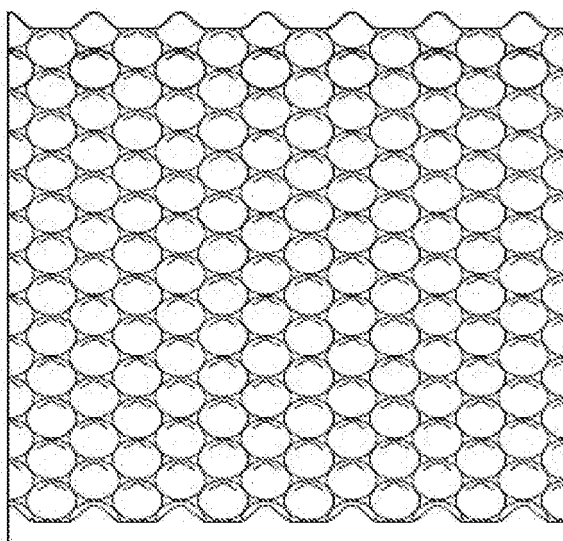
[Fig. 6]



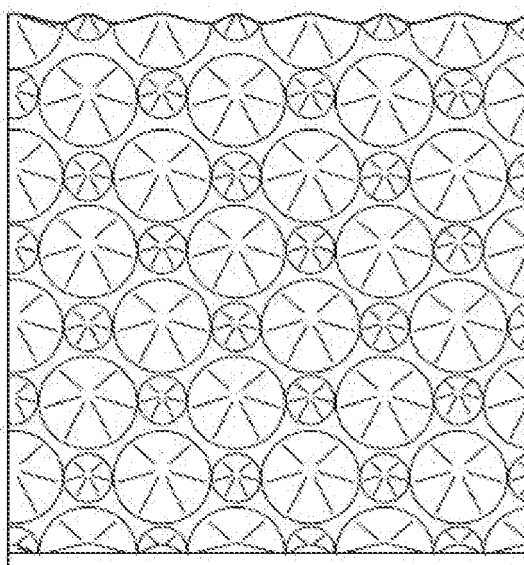
[Fig. 7]



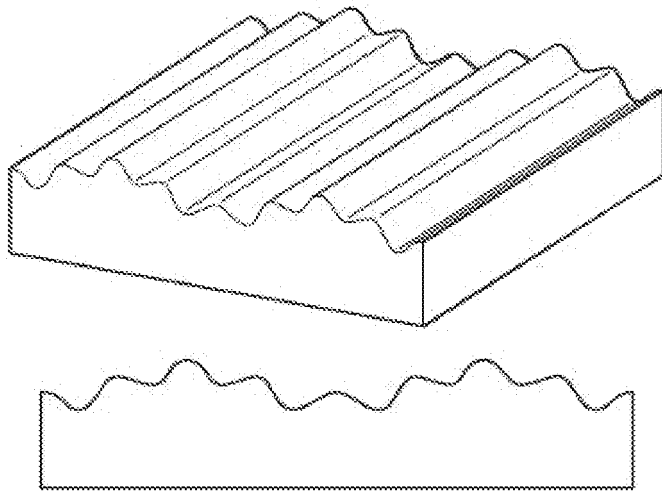
[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]



[Fig. 11]

