(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
26 novembre 2015 (26.11.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/177463 A2

(51) Classification internationale des brevets : Non classée

(21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2015/051318

(22) Date de dépôt international : 20 mai 2015 (20.05.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
14/01156 21 mai 2014 (21.05.2014) FR

(71) Déposant : **CONSTRUCTIONS MECANIQUES CONSULTANTS** [FR/FR]; 2401 Avenue d'Uriage, 38410 Vaulnaveys-le-Haut (FR).

(72) Inventeur : **SIMON, Jean**; 2401 Avenue d'Uriage, 38410 Vaulnaveys-le-Haut (FR).

(74) Mandataire : **TALBOT, Alexandre**; Cabinet Hecke, 10 rue d'Arménie, BP 1537, 38025 Grenoble Cedex 1 (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))*

(54) Title : CONSTRUCTION ELEMENT FOR CREATING A TUNNEL, TUNNEL COMPRISING SUCH AN ELEMENT AND METHODS FOR CONSTRUCTING SUCH AN ELEMENT AND SUCH A TUNNEL

(54) Titre : ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION POUR LA RÉALISATION D'UN TUNNEL, TUNNEL COMPRENANT UN TEL ÉLÉMENT ET PROCÉDÉS DE FABRICATION D'UN TEL ÉLÉMENT ET D'UN TEL TUNNEL

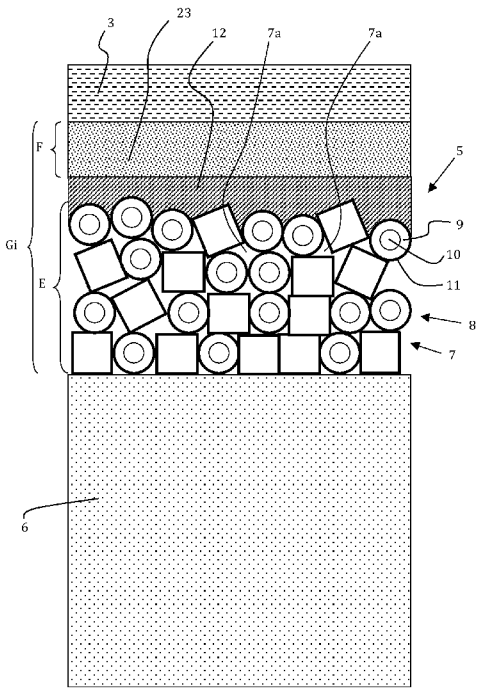

FIG. 2

(57) Abstract : Construction element for creating a tunnel, comprising a first, incompressible layer (6) of concrete and a second, compressible layer (7) fixed to the first layer (6) so as to form a one-piece prefabricated construction element designed to be incorporated into a tunnel section during the creation of the tunnel, the second layer (7) having a plurality of devices (8), each having a solid body (9) incorporating an empty space (10).

(57) Abrégé : Élément de construction pour la réalisation d'un tunnel, comprenant une première couche (6) incompressible en béton et une deuxième couche (7) compressible solidaire de la première couche (6) pour former un élément de construction préfabriqué monobloc configuré pour être intégré dans une section du tunnel lors de la réalisation du tunnel, la deuxième couche (7) comportant une pluralité de dispositifs (8) ayant chacun un corps solide (9) intégrant un espace vide (10).

WO 2015/177463 A2

Elément de construction pour la réalisation d'un tunnel, tunnel comprenant un tel élément et procédés de fabrication d'un tel élément et d'un tel tunnel

Domaine technique de l'invention

L'invention concerne la réalisation de tunnels, en particulier de tunnels souterrains, et les éléments de construction de tels tunnels.

État de la technique

Dans le domaine des tunnels, une cavité est, en général, creusée sous terre, puis un tunnel est formé dans cette cavité en utilisant des voussoirs. Les voussoirs correspondent à des éléments constitutifs d'une section annulaire du tunnel, une fois assemblés entre eux. Lorsqu'on creuse la cavité dans le terrain, on modifie l'équilibre du terrain et celui-ci exerce des poussées plus ou moins intenses qui tendent à fermer la cavité ainsi créée, on appelle ce phénomène « la convergence du terrain ».

On peut citer la demande de brevet français FR1200989, qui divulgue un système d'amortissement de la convergence d'un terrain comprenant un revêtement recouvrant une paroi externe d'un tunnel et qui comprend des dispositifs munis chacun d'un trou débouchant. Ces dispositifs à trou débouchant créent un espace libre au sein du revêtement, noté volume résiduel, qui participe, notamment, à l'amortissement de la convergence du terrain. En particulier, la poussée du terrain a tendance à occuper le volume résiduel, c'est-à-dire le volume laissé inoccupé par les dispositifs, ce qui permet d'amortir la poussée. Mais pour réaliser le revêtement, on doit injecter les dispositifs dans un espace délimité entre la paroi externe du

tunnel et la paroi interne du terrain. Cependant, lors de la construction du tunnel, des éléments du terrain peuvent s'agglutiner dans l'espace délimité et faire obstacle à l'injection des dispositifs, ce qui peut empêcher de disposer les dispositifs de façon homogène autour de la paroi externe du tunnel.

On peut également citer la demande de brevet britannique GB 2013757 qui divulgue un procédé de réalisation d'un tunnel à partir de voussoirs préfabriqués en béton. Avant d'être utilisé pour la réalisation du tunnel, chaque voussoir préfabriqué en béton comporte une couche d'un matériau compressible, telle une mousse de polyéthylène, collée sur la surface extérieure du voussoir. Mais la mousse n'est pas stable et peut se désagréger dans le temps, entraînant une perte de ses propriétés mécanique de compression et de déformation. En outre, une telle mousse en matière synthétique peut être polluante.

Il est donc intéressant de fournir un élément de construction adapté à la réalisation des tunnels, et un tunnel réalisé à partir d'un tel élément, et en particulier de fournir des procédés de fabrication d'un tel élément et d'un tel tunnel.

Objet de l'invention

Un objet de l'invention consiste à palier les inconvénients cités ci-avant et en particulier à fournir un moyen facile à réaliser et à mettre en œuvre pour amortir la convergence d'un terrain exercée sur un tunnel.

Selon un aspect, il est proposé un élément de construction pour la réalisation d'un tunnel, comprenant une première couche incompressible en béton et une deuxième couche compressible solidaire de la première couche pour former un élément de construction préfabriqué monobloc configuré pour être intégré dans une section du tunnel.

La deuxième couche comporte une pluralité de dispositifs ayant chacun un corps solide intégrant un espace vide.

Ainsi, on fournit un élément de construction préfabriqué adapté pour réaliser une section d'un tunnel. Un tel élément de construction monobloc est facile à manipuler et on peut contrôler sa fabrication de manière à obtenir une section de tunnel homogène, afin de maîtriser le comportement du tunnel face à la convergence du terrain. En outre, les espaces vides des dispositifs déterminent la compressibilité de la deuxième couche. En d'autres termes les espaces vides permettent au terrain de converger et de décharger les contraintes exercées sur la première couche.

La deuxième couche peut comporter des dispositifs munis chacun d'un trou débouchant.

La deuxième couche peut également comporter des dispositifs dont le corps solide délimite au moins une cavité fermée.

Le corps solide des dispositifs peut être réalisé en céramique.

Le corps solide des dispositifs peut être enduit d'une pellicule adhésive pour solidariser les dispositifs à la première couche.

La pellicule adhésive peut être réalisée à partir d'un mortier.

L'élément de construction peut en outre comprendre une troisième couche de protection située sur la deuxième couche. Ainsi on protège la deuxième couche pour conserver son intégrité, par exemple lors du transport de l'élément de construction avant sa mise en place dans une section du tunnel.

Selon un autre aspect, il est proposé un tunnel situé à l'intérieur d'une cavité creusée dans un terrain, au moins une section du tunnel étant réalisée à partir d'au moins un élément de construction à deux couches tel que défini ci-avant.

Chaque élément de construction à deux couches peut comprendre une troisième couche de protection située sur la deuxième couche, et le tunnel peut comprendre un produit de remplissage occupant un espace libre délimité entre la troisième couche de protection et le terrain.

Selon un autre aspect, il est proposé un procédé de réalisation d'un élément de construction pour la réalisation d'un tunnel, comprenant les étapes suivantes :

- réaliser une première couche incompressible en béton ; et
- réaliser une deuxième couche compressible solidaire de la première couche pour former un élément de construction préfabriqué monobloc configuré pour être intégré dans une section du tunnel.

Dans ce procédé, on réalise la deuxième couche à partir d'une pluralité de dispositifs ayant chacun un corps solide intégrant un espace vide.

La deuxième couche peut comporter des dispositifs munis chacun d'un trou débouchant et/ou des dispositifs dont le corps solide délimite au moins une cavité fermée.

La réalisation de la deuxième couche peut comporter les étapes suivantes :

- enduire le corps solide des dispositifs d'une pellicule adhésive ; et
- verser les dispositifs enduits sur la première couche.

Le procédé peut également comprendre une étape de protection dans laquelle on dispose une troisième couche de protection sur la deuxième couche.

Selon encore un autre aspect, il est proposé un procédé de réalisation d'un tunnel comprenant les étapes suivantes :

- former une cavité dans un terrain à l'aide d'un tunnelier ;
- former des sections du tunnel situées à l'intérieur de la cavité, au moins une section étant réalisée à partir d'au moins un élément de construction à deux couches, tel que défini ci-avant, au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier.

Chaque élément de construction à deux couches peut comprendre une troisième couche de protection située sur la deuxième couche, et on peut combler, à l'aide d'un produit de remplissage, un espace libre délimité entre la troisième couche de protection et le terrain.

Description sommaire des dessins

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation et de mise en œuvre de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1, représente schématiquement une vue en coupe d'un mode de réalisation d'un tunnel selon l'invention ;
- la figure 2, illustre de façon schématique un mode de réalisation d'un élément de construction selon l'invention ;
- la figure 3, illustre schématiquement un état d'équilibre après convergence du terrain ;
- la figure 4, illustre de façon schématique une vue en perspective d'un mode de réalisation d'un dispositif muni d'un trou débouchant ;

- la figure 5, illustre de façon schématique une vue en coupe du dispositif de la figure 4 ;
- la figure 6, illustre de façon schématique une vue de dessus d'un autre mode de réalisation d'un dispositif muni d'un trou débouchant ;
- la figure 7, illustre de façon schématique une vue en coupe selon l'axe A-A de la figure 6 ;
- la figure 8, illustre de façon schématique un autre mode de réalisation d'un élément de construction ;
- la figure 9, illustre schématiquement une vue en perspective d'un mode de réalisation d'un dispositif muni d'une cavité fermée ;
- la figure 10, illustre schématiquement une vue en coupe du dispositif de la figure 9 ;
- la figure 11, illustre schématiquement une vue antérieure gauche du dispositif de la figure 9 ;
- les figures 12 à 18, illustrent schématiquement les principales étapes d'un mode de mise en œuvre d'un procédé de réalisation d'un élément de construction ;
- la figure 19, illustre de façon schématique une vue en coupe d'un tunnelier réalisant le tunnel de la figure 1 ; et
- la figure 20, illustre schématiquement une vue en coupe d'un détail de la figure 19.

Description détaillée

De manière générale, bien que la présente invention procure des avantages particuliers dans le domaine des tunnels, elle est aussi applicable à tout système qui est réalisé dans une cavité souterraine et qui est configuré pour résister à la convergence du terrain, par exemple des réceptacles ou cuves partiellement ou totalement enterrés.

Sur la figure 1, on a représenté un tunnel 1 réalisé dans une cavité 2 creusée dans un terrain 3, en d'autres termes un tunnel sous-terrain. Le tunnel 1 peut être ouvert et avoir une forme de U renversé, il peut également être fermé et avoir une forme ovoïde, ou toute autre forme. Préférentiellement, le tunnel 1 a une forme globalement tubulaire. Le tunnel 1 comprend des sections 4 situées au sein de la cavité 2. Au moins une section 4, et de préférence chaque section 4, est réalisée à partir d'éléments de construction 5 assemblés entre eux. Au moins un élément de construction 5 comprend une première couche 6 incompressible en béton. Par exemple, lorsque les sections 4 du tunnel 1 ont une forme annulaire, la première couche 6 a une forme d'un hexaèdre incurvé. En outre, l'élément de construction 5 comporte une deuxième couche 7 compressible solidaire de la première couche 6 pour former un élément de construction 5 préfabriqué du type monobloc. L'élément de construction 5 est préfabriqué, c'est-à-dire qu'il est réalisé avant la réalisation du tunnel 1. En d'autres termes, on réalise préalablement l'élément de construction 5, puis on assemble plusieurs éléments de construction 5 entre eux de manière à réaliser une section 4 du tunnel 1. Ainsi, on s'affranchit de réaliser un revêtement d'amortissement par injection de matière entre un voussoir et le terrain 3. En effet, l'élément de construction 5 incorpore préalablement une couche compressible 7, et a donc une propriété mécanique amortisseur intégrée. Par ailleurs, on entend par élément monobloc, un élément déplaçable qui conserve son intégrité physique et ses propriétés mécaniques lors de son transport, par exemple lorsqu'on déplace l'élément depuis sa zone de fabrication vers l'endroit de la section 4 du tunnel 1 où il est placé. En d'autres termes, l'élément de construction 5 est configuré pour être intégré dans une section 4 du tunnel 1, et en particulier dans une section 4 qui est en cours de réalisation.

De façon générale, la deuxième couche 7 comporte plusieurs dispositifs 8, comme illustré aux figures 2 et 8, ayant chacun un corps solide 9 intégrant un espace vide 10. On entend par espace vide intégré dans un corps, une

cavité fermée ou ouverte délimitée par le corps du dispositif. La deuxième couche 7 est compressible, c'est-à-dire qu'elle peut se déformer lors de la convergence du terrain 3. En particulier, les dispositifs 8 ont un corps solide 9 déformable. C'est-à-dire que les dispositifs peuvent se déformer, en se brisant ou en se courbant, grâce notamment à leur espace vide 10, pour permettre la déformation de la deuxième couche 7. En outre, la deuxième couche 7 comporte des interstices 7a, c'est-à-dire des espaces vides, situés entre les dispositifs 8. Ainsi, on fournit une couche compressible 7 ayant un volume résiduel, constitué par la somme des espaces vides de chacun des dispositifs 8 et des interstices 7a, qui offre une propriété d'amortissement de la convergence du terrain 3. En effet, dans l'état initial, le terrain 3 exerce une pression de convergence initiale sur le tunnel 1. Du fait des mouvements du terrain 3, celui-ci va avoir tendance à converger vers l'intérieur de la cavité 2. Ainsi, la déformation des dispositifs 8 va permettre un rapprochement progressif du terrain 3 vers l'intérieur du tunnel 1, jusqu'à ce que le terrain 3 occupe un état d'équilibre. Dans l'état d'équilibre, la pression de convergence est inférieure à la pression initiale. La deuxième couche compressible 7 permet donc d'amortir la convergence du terrain jusqu'à un état d'équilibre pour lequel la pression de convergence est supportée par l'élément de construction 5, c'est-à-dire que la première couche incompressible 6 ne se brise pas sous la pression de convergence à l'équilibre.

Par exemple, les dispositifs 8 peuvent être réalisés en céramique. La céramique offre une bonne résistance tout en étant cassable pour amortir efficacement la convergence du terrain 3. Lorsque les corps 9 des dispositifs 8 se brisent, le terrain 3 peut converger vers l'intérieur du tunnel 1. Les dispositifs 8 peuvent également être réalisés en verre, en ciment, ou en mortier qui sont, tout comme la céramique, des matériaux pouvant être brisés sous l'effet de la convergence du terrain 3. En variante, les dispositifs 8 peuvent être réalisés en métal, ou en matière plastique, déformable.

Lorsque les dispositifs 8 ont un corps déformable, ils permettent également d'amortir la convergence du terrain.

Sur la figure 2 on a représenté un mode de réalisation préféré, dans lequel des dispositifs 8, de la deuxième couche 7 compressible, comprennent chacun un corps 9 muni d'un trou débouchant 10 (illustrés ultérieurement aux figures 4 à 7). On a également représenté sur la figure 2 l'élément de construction 5 intégré dans une section d'un tunnel. L'élément de construction 5 préfabriqué est monobloc et comporte la première couche 6 en béton et la deuxième couche compressible 7 formée par les dispositifs 8. Lorsque la première couche 6 a une forme hexaédrique incurvée, l'élément de construction 5 forme alors un voussoir à partie compressible 7 configuré pour réaliser une section annulaire du tunnel 1. L'épaisseur E de la deuxième couche 7 est choisie en fonction de l'amortissement de la convergence du terrain 3 que l'on souhaite obtenir. En particulier l'épaisseur E est choisie en fonction du déplacement du terrain 3, par rapport à sa position initiale, qui peut être supporté par l'élément de construction 5. Dans la position initiale, le terrain 3 est à une distance initiale Gi de la surface externe de la première couche 6. La distance initiale Gi correspond à la somme entre l'épaisseur initiale E de la deuxième couche 7, l'épaisseur de la troisième couche de protection 12, et l'épaisseur de l'espace libre F. En outre, l'épaisseur E dépend également de la compressibilité des dispositifs 8. Par ailleurs, les dispositifs 8 sont enduits d'une pellicule adhésive 11 pour les solidariser à la première couche 6. En particulier la couche adhésive 11 permet de solidariser les dispositifs 8 entre eux et à la première couche de béton 6. De cette manière, l'élément de construction 5 est monobloc et il est déplaçable pour être intégré dans la section du tunnel lors de sa formation. La pellicule adhésive 11 comporte de préférence du mortier qui adhère efficacement à la première couche de béton 6. Le mortier comprend, quant à lui, du ciment, du sable et de l'eau. Le mortier est durcissable et durcit pour agglutiner les dispositifs 8 entre eux et permettre aux dispositifs d'adhérer à la première

couche 6. En particulier, la pellicule adhésive 11 enrobe la surface externe du dispositif 8, sans obstruer le trou débouchant 10. D'autres éléments adhésifs peuvent être utilisés pour enduire les dispositifs 8, par exemple une colle à base de résine époxydique, etc.

Avantageusement, l'élément de construction 5 peut comprendre une troisième couche de protection 12 située sur la deuxième couche 7. Plus particulièrement, la troisième couche de protection 12 est une couche fine par rapport aux première et deuxième couches 6, 7. De façon générale, la troisième couche de protection 12 est liée à la deuxième couche 7 pour la rendre solidaire mécaniquement à la deuxième couche 7. La troisième couche de protection 12 protège la deuxième couche 7 des chocs, par exemple lors de la manipulation de l'élément de construction 5, afin d'empêcher de briser les corps 9 des dispositifs 8, notamment ceux qui sont situés en périphérie de l'élément de construction 5. De façon générale, lorsqu'on réalise la section d'un tunnel, un espace libre F est généralement créé entre la surface interne de la cavité et la surface externe de la section du tunnel, c'est-à-dire la surface externe de l'élément de construction 5. Lorsque l'élément de construction 5 ne comprend pas de troisième couche de protection, la surface externe de la section correspond à la surface externe de la deuxième couche 7, comme illustré sur la figure 8. Lorsque l'élément de construction 5 comporte une troisième couche de protection 12, la surface externe est celle de la troisième couche de protection 12, comme illustré sur la figure 2. Or, de façon que le terrain 3 ne s'effondre pas dans l'espace libre F et ne brise pas la section, on injecte un produit de remplissage 23, tel que du mortier ou du gravier, pour combler cet espace libre F. Dans le cas où la deuxième couche 7 comporte des dispositifs 8 à trou débouchant 10, on dispose sur la deuxième couche 7, une troisième couche de protection 12 qui est en outre étanche au produit de remplissage 23 utilisé pour combler l'espace libre F. Dans ce cas, la troisième couche de protection 12 permet, en particulier, d'éviter que les trous débouchant 10 des

premières couches de dispositifs 8 se remplissent du produit de remplissage 23. La troisième couche de protection 12 empêche le mortier ou les graviers de pénétrer dans les trous débouchant 10, ce qui diminuerait les propriétés d'amortissement des éléments de construction 5. La troisième couche de protection 12 permet d'isoler la deuxième couche compressible 7 du produit de remplissage 23. La troisième couche de protection 12 préserve ainsi le volume résiduel avant déformation de la deuxième couche 7, ce qui garantit l'amortissement de la convergence du terrain 3. La troisième couche de protection 12 peut être en plastique ou être réalisée en mortier.

Lorsque le terrain 3 converge, tel qu'illustré sur la figure 3, la deuxième couche compressible 7 se déforme et permet un déplacement du terrain 3 vers le centre du tunnel. Le terrain 3 peut briser ou déformer les dispositifs 8, jusqu'à atteindre un état d'équilibre dans lequel le terrain 3 est à une distance d'équilibre Ge de la surface externe de la première couche 6. La distance d'équilibre Ge est inférieure à la distance initiale Gi. La résistance à la rupture des dispositifs 8 est inférieure à la pression de convergence du terrain de façon à permettre l'écrasement des dispositifs 8. On a représenté par la référence 8a des dispositifs brisés. Autrement dit, les dispositifs 8 peuvent comprendre, tous ou certains d'entre eux, un état dans lequel ils sont brisés. Ceci permet d'absorber les déplacements du terrain 3 sans endommager le tunnel.

Les figures 4 à 7 illustrent deux modes de réalisation d'un dispositif 8 muni d'un trou débouchant 10 pouvant être utilisé dans la deuxième couche compressible 7 de l'élément de construction 5. Sur les figures 4 et 5, le dispositif 8 a une forme de tube comprenant un trou débouchant 10 correspondant à un évidemment selon un axe longitudinal A1 du tube. Le dispositif 8 peut également comprendre plusieurs trous débouchant, et préférentiellement chaque dispositif 8 comporte un unique trou débouchant pour faciliter sa réalisation. Avantageusement, chaque dispositif 8 en forme

de tube a une hauteur H, un diamètre extérieur d_1 et un diamètre intérieur d_2. Préférentiellement, la hauteur H est égale au diamètre extérieur d_1, afin, notamment, d'obtenir une deuxième couche 7 ayant une épaisseur E sensiblement constante. Ces dimensions permettent aux dispositifs 8 tubulaires de supporter une charge calculée avant rupture. Le dispositif 8 est également enrobé d'une pellicule adhésive 11a qui entoure la surface extérieure du dispositif 8. Selon le mode d'enduisage on peut déposer une pellicule adhésive 11b sur la paroi interne du trou débouchant 10 sans l'obstruer. En effet, on peut, par exemple, verser les dispositifs 8 dans du mortier et utiliser un tamis pour éliminer le surplus de mortier. Dans ce cas, comme illustré aux figures 4 et 5, une pellicule de mortier 11a enrobe la surface externe des dispositifs et une autre pellicule de mortier 11b adhère à la paroi interne du trou débouchant 10 sans l'obstruer. Selon un autre mode de réalisation, on isole le trou débouchant 10 des dispositifs 8, et on enduit la surface externe des dispositifs 8 d'une couche adhésive 11. Dans ce cas, comme illustré à la figure 2, la paroi interne n'est pas enduite d'une couche adhésive, ce qui garantit d'obtenir un plus grand espace vide au sein des dispositifs.

Sur les figures 6 et 7, on a représenté un autre mode de réalisation d'un dispositif 8 a trou débouchant 10 ayant la forme d'un anneau. L'anneau peut être torique et peut présenter une section circulaire comme illustré à la figure 6. Un anneau peut avoir un diamètre de tore d_s et un diamètre intérieur d_i. Dans ce mode de réalisation, la pellicule adhésive 11 entoure la surface extérieure du corps 9 du dispositif 8, en pénétrant en partie dans le trou débouchant 10, sans l'obstruer.

De préférence, les dispositifs (tubes ou anneaux) disposés au sein de la deuxième couche 7 sont tous sensiblement identiques afin d'obtenir une deuxième couche 7 homogène. Autrement dit, ils ne peuvent pas s'imbriquer les uns dans les autres. La deuxième couche 7 comporte de préférence des

dispositifs 8 ayant une forme globalement tubulaire car ils sont plus faciles à réaliser que les dispositifs 8 de forme globalement annulaire.

Sur la figure 8 on a représenté un autre mode de réalisation de la deuxième couche 7 compressible. Dans cet autre mode de réalisation, des dispositifs 8 comprennent chacun un corps solide 9 délimitant au moins une cavité fermée (illustrés ultérieurement aux figures 9 à 11). L'élément de construction 5 est monobloc et comporte la première couche 6 en béton et la deuxième couche compressible 7 formée par les dispositifs 8. Dans ce mode de réalisation, il n'est pas nécessaire que l'élément de construction 5 comprenne une troisième couche de protection 12. En effet, le corps 9 des dispositifs 8 délimitant une ou plusieurs cavités fermées, empêche du mortier ou des graviers injectés dans l'espace libre F de pénétrer dans ces cavités. L'élément de construction 5 peut, néanmoins, comprendre des dispositifs ayant un corps délimitant une ou plusieurs cavité fermées et une troisième couche de protection 12 pour protéger la deuxième couche 7 lors du déplacement de l'élément 5, afin, notamment, d'éviter de briser les dispositifs 8 lors du transport. Dans ce cas, la troisième couche de protection 12 garantit une étanchéité à la deuxième couche 7, en empêchant le produit de remplissage 23 de remplir les interstices 7a.

Les figures 9 à 11 illustrent un mode de réalisation d'un dispositif 8 dont le corps 9 délimite au moins une cavité fermée 10. Préférentiellement, le dispositif 8 a un corps solide 9 en céramique. La céramique est adaptée pour réaliser ces dispositifs 8, car elle est malléable avant une étape de cuisson de manière à pouvoir former la cavité fermée 10 au sein du dispositif 8, et car elle devient solide après la cuisson. On entend par cavité fermée 10, un espace vide enfermé à l'intérieur du dispositif 8. Le corps solide 9 du dispositif 8 est en particulier étanche aux liquides, par exemple au mortier en phase liquide avant durcissement. Par exemple, le corps 9 du dispositif 8 s'étend selon un axe longitudinal A du dispositif 8 et comporte deux

extrémités fermées 13, 14. Les extrémités fermées 13, 14 peuvent avoir, chacune, une forme linéaire. Dans un premier mode de réalisation, tel qu'illustré aux figures 9 et 10, les extrémités 13, 14 sont parallèles entre elles. En variante, les extrémités 13, 14 peuvent être perpendiculaires entre elles. Par exemple, le corps 9 du dispositif 8 a une forme cylindrique. On entend ici par cylindre, un solide limité par une surface cylindrique engendrée par une droite, notée génératrice, parcourant une courbe plane fermée, notée directrice, et deux plans parallèles coupant les génératrices. En particulier, le corps 9 peut avoir une forme d'un tube. Le dispositif 8 peut également comprendre plusieurs cavités, communicant entre elles ou non. Avantageusement, les cavités fermées 10 des dispositifs 8 les empêchent de s'imbriquer les uns dans les autres, quelle que soit leur taille et leur forme.

En variante, l'élément de construction 5 comprend une deuxième couche compressible 7 qui peut comprendre à la fois, des dispositifs 8 munis chacun d'un trou débouchant 10, et des dispositifs 8 dont le corps solide 9 délimite au moins une cavité fermée 10.

Sur les figures 12 à 18, on a représenté les principales étapes d'un mode de mise en œuvre d'un procédé de réalisation d'un élément de construction 5 tel que défini ci-avant. De manière générale, on fabrique l'élément de construction 5 en effectuant les étapes suivantes :

- on réalise la première couche 6 incompressible en béton ; et
- on réalise, à partir d'une pluralité de dispositifs 8 ayant chacun un corps solide 9 intégrant un espace vide 10, la deuxième couche 7 compressible solidaire de la première couche 6 pour former un élément de construction 5 préfabriqué monobloc configuré pour être intégré dans une section 4 du tunnel 1.

Le corps solide 9 des dispositifs 8 sont munis chacun d'un trou débouchant et/ou dont le corps délimite au moins une cavité fermée.

Par exemple, pour réaliser la première couche 6 de béton, on utilise un coffrage parallélépipédique 30 ouvert et incurvé, pour réaliser une forme de voussoir, comme illustré sur la figure 12. En variante, le coffrage est ouvert et non incurvé pour réaliser des sections de tunnel de forme variée, par exemple en U ou ovoïde. Puis on verse du béton liquide 31 dans le coffrage 30, comme illustré à la figure 13. On peut également ajouter des barres métalliques dans le béton liquide 31 pour obtenir une première couche incompressible en béton armé. Puis on utilise un premier gabarit 32 qu'on dispose en surface du béton 31 et qu'on déplace le long de la surface afin de former une surface externe incurvée. On laisse prendre le béton 31, soit complètement et dans ce cas le béton a durci entièrement, soit partiellement et dans ce cas le béton n'a pas complètement durci mais a suffisamment durci en surface pour conserver la courbure donnée par le premier gabarit 32. Puis on retire le premier gabarit 32, et on obtient ainsi une première couche 6 dont la base et la surface externe sont incurvées, comme illustré sur la figure 14. Préalablement on a enduit les corps solides 9 des dispositifs 8 avec la pellicule adhésive 11. En outre, on fixe des éléments de coffrage 33 sur les bords du coffrage 30 pour rehausser le coffrage 30 et pour pouvoir former la deuxième couche 7, comme illustré sur la figure 15. Ensuite, on verse dans le coffrage 30, et plus particulièrement sur la surface externe de la première couche 6, les dispositifs enduits 34. Selon un mode de réalisation, lorsqu'on verse les dispositifs enduits 34, le béton de la première couche n'a pas complètement durci. Dans ce mode de réalisation, on utilise une couche adhésive 11 réalisée en mortier qui va adhérer à la surface externe de la première couche 6 qui n'a pas encore complètement durci. En variante, on peut attendre que le béton ait durci entièrement puis on verse les dispositifs 8. Dans cette variante, on utilisera une couche adhésive 11 réalisée à partir d'une colle, par exemple une colle à base de résine époxydique qui adhère avec une surface dure en béton. En outre, lorsque la pellicule adhésive 11 comprend un mortier, on verse les dispositifs enduits 34 du mortier sur la première couche 6 avant que le mortier durcisse. Puis on

laisse le mortier durcir pour solidariser la deuxième couche 7 compressible à la première couche 6. Ensuite, on utilise un deuxième gabarit 35 qu'on dispose et qu'on déplace en surface des dispositifs enduits 34 afin de former une surface externe incurvée sur la deuxième couche 7, comme illustré sur la figure 15. Puis on laisse la couche adhésive 11 adhérer pour que les dispositifs soient liés entre eux et pour rendre la deuxième couche 7 solidaire de la première couche 6. Puis on retire le deuxième gabarit 35 et on obtient un élément monobloc préfabriqué 5 entouré du coffrage 30, illustré à la figure 16. En variante, on peut réaliser, comme illustré sur la figure 17, une troisième couche de protection, en coulant du mortier 36 sur la deuxième couche 7 et en déplaçant un troisième gabarit 37 pour incurver la surface externe de la troisième couche. Ensuite, on retire le coffrage 30 et les éléments de coffrage 33, et le cas échéant le troisième gabarit 37, pour obtenir l'élément de construction 5 préfabriqué monobloc, comme illustré à la figure 18.

Sur les figures 19 et 20 on a représenté un mode de mise en œuvre d'une réalisation du tunnel 1 décrit ci-avant à la figure 1. Selon ce mode de mise en œuvre, un tunnelier 15 creuse la cavité 2 dans le terrain 3 selon la direction F1. L'avant du tunnelier 20 est équipé de moyens 21 assurant l'abattage de la roche du terrain 3 et comporte des moyens d'extraction de la roche, non représentés à des fins de simplification. Une partie du tunnelier 15 assure la mise en place des éléments de construction 5 au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier 15 selon la direction F1. En outre, le tunnelier 15 comporte des moyens d'injection 22 pour injecter un produit de remplissage 23, par exemple du mortier ou du gravier, pour combler l'espace libre F délimité entre les éléments de construction 5 et la paroi interne de la cavité 2 formée par l'avancement du tunnelier 15. La flèche, indiquée par la référence F2, illustre le chemin emprunté par le produit de remplissage 23 lors de son injection. L'injection du produit de remplissage 23 permet de former une

couche de remplissage pour occuper l'espace libre F entre les éléments de construction 5 et le terrain 3.

De manière générale, le procédé de réalisation du tunnel comprend les étapes suivantes :

- former la cavité 2 dans le terrain 3 à l'aide du tunnelier 15 ;
- former des sections 4 du tunnel 1 situées à l'intérieur de la cavité 2, au moins une section 4 étant réalisée à partir d'au moins un élément de construction 5, tel que défini ci-avant, au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier 15.

Plus particulièrement, lors de la réalisation d'une section 4 du tunnel 1, on conserve un espace libre F délimité entre la paroi externe du tunnel 1 et la paroi interne de la cavité 2, pour placer les éléments de construction afin de former la section 4 du tunnel 1. Puis on comble l'espace libre F avec le produit de remplissage 23.

L'élément de construction qui vient d'être décrit permet de faciliter la construction d'un tunnel tout en garantissant un amortissement de la convergence du terrain dans lequel est situé le tunnel. En outre, il offre une meilleure maîtrise du procédé de réalisation du tunnel. Un tel élément de construction permet de diminuer l'épaisseur d'un voussoir classique, ce qui diminue grandement la quantité de béton nécessaire pour réaliser le tunnel.

Revendications

1. Elément de construction pour la réalisation d'un tunnel, comprenant une première couche (6) incompressible en béton et une deuxième couche (7) compressible solidaire de la première couche (6) pour former un élément de construction préfabriqué monobloc configuré pour être intégré dans une section du tunnel, caractérisé en ce que la deuxième couche (7) comporte une pluralité de dispositifs (8) ayant chacun un corps solide (9) intégrant un espace vide (10).

2. Elément de construction selon la revendication 1, dans lequel des dispositifs (8) sont munis chacun d'un trou débouchant (10).

3. Elément de construction selon la revendication 1 ou 2, dans lequel des dispositifs (8) ont un corps solide (9) délimitant au moins une cavité fermée (10).

4. Elément de construction selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le corps solide (9) des dispositifs (8) est réalisé en céramique.

5. Elément de construction selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le corps solide (9) des dispositifs (8) est enduit d'une pellicule adhésive (11) pour solidariser les dispositifs (8) à la première couche (6).

6. Elément de construction selon la revendication 5, dans lequel la pellicule adhésive (11) comprend du mortier.

7. Elément de construction selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant une troisième couche de protection (12) située sur la deuxième couche (7).

8. Tunnel situé à l'intérieur d'une cavité (2) creusée dans un terrain (3), au moins une section du tunnel étant réalisée à partir d'au moins un élément de construction à deux couches (6, 7) selon l'une des revendications 1 à 6.

9. Tunnel selon la revendication 8, dans lequel chaque élément de construction à deux couches (6, 7) comprend une troisième couche de protection (12) située sur la deuxième couche (7), et un produit de remplissage occupe un espace libre délimité entre la troisième couche de protection (12) et le terrain (3).

10. Procédé de réalisation d'un élément de construction pour la réalisation d'un tunnel, comprenant les étapes suivantes :

- réaliser une première couche (6) incompressible en béton ; et
- réaliser une deuxième couche (7) compressible solidaire de la première couche (6) pour former un élément de construction préfabriqué monobloc configuré pour être intégré dans une section du tunnel ;

caractérisé en ce qu'on réalise la deuxième couche (7) à partir d'une pluralité de dispositifs ayant chacun un corps solide intégrant un espace vide.

11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel le corps des dispositifs (8) ont un trou débouchant (10).

12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, dans lequel des dispositifs (8) ont un corps solide (9) délimitant au moins une cavité fermée (10).

13. Procédé selon l'une des revendications 10 à 12, dans lequel, la réalisation de la deuxième couche (7) comporte les étapes suivantes :

- enduire le corps solide des dispositifs d'une pellicule adhésive (11) ; et
- verser les dispositifs enduits sur la première couche (6).

14. Procédé selon l'une des revendications 10 à 13, comprenant une étape de protection dans laquelle on dispose une troisième couche de protection (12) sur la deuxième couche (7).

15. Procédé de réalisation d'un tunnel comprenant les étapes suivantes :

- former une cavité dans un terrain à l'aide d'un tunnelier ;
- former des sections du tunnel situées à l'intérieur de la cavité, au moins une section étant réalisée à partir d'au moins un élément de construction à deux couches (6, 7) selon l'une des revendications 1 à 7 au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier.

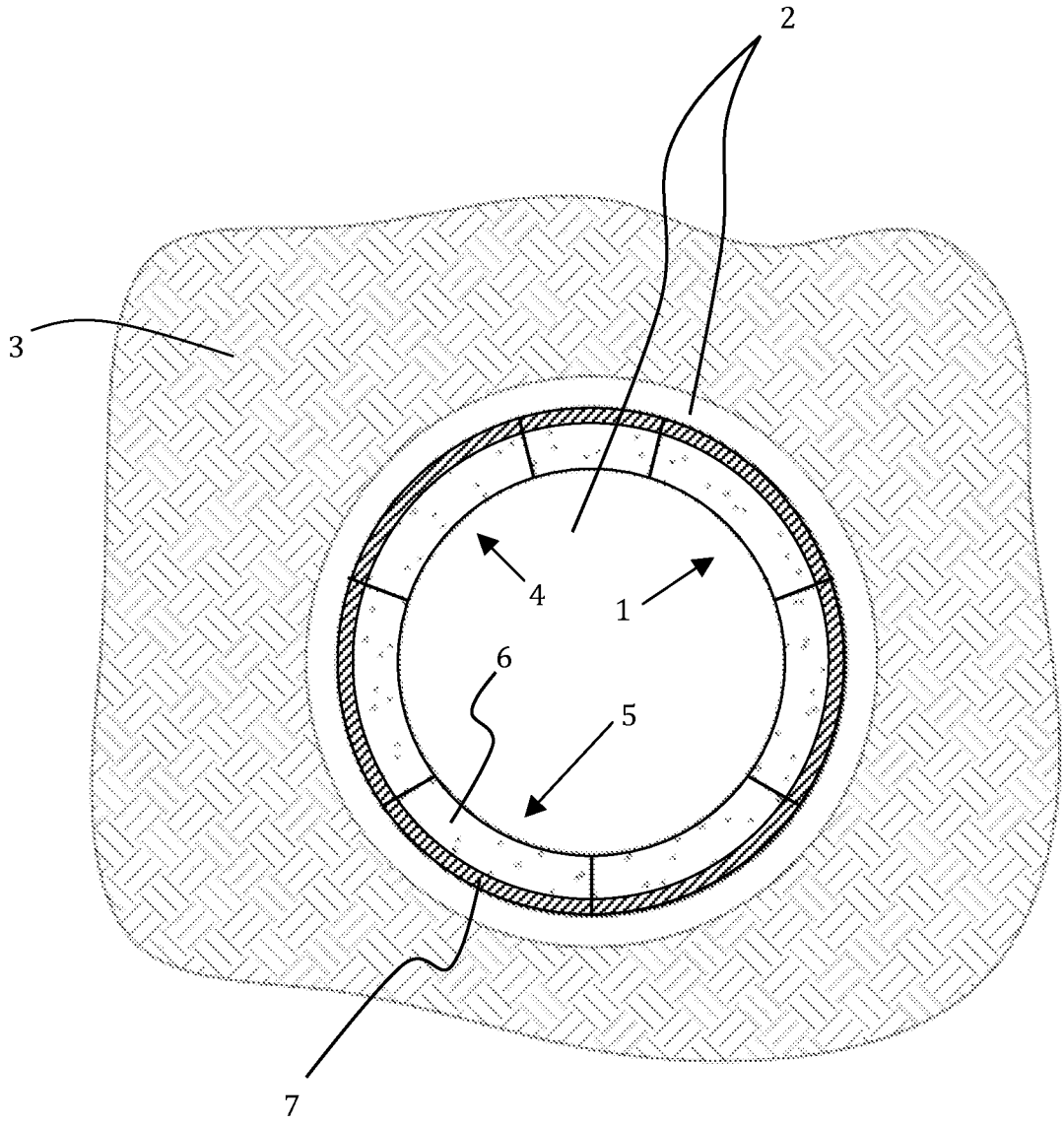

FIG. 1

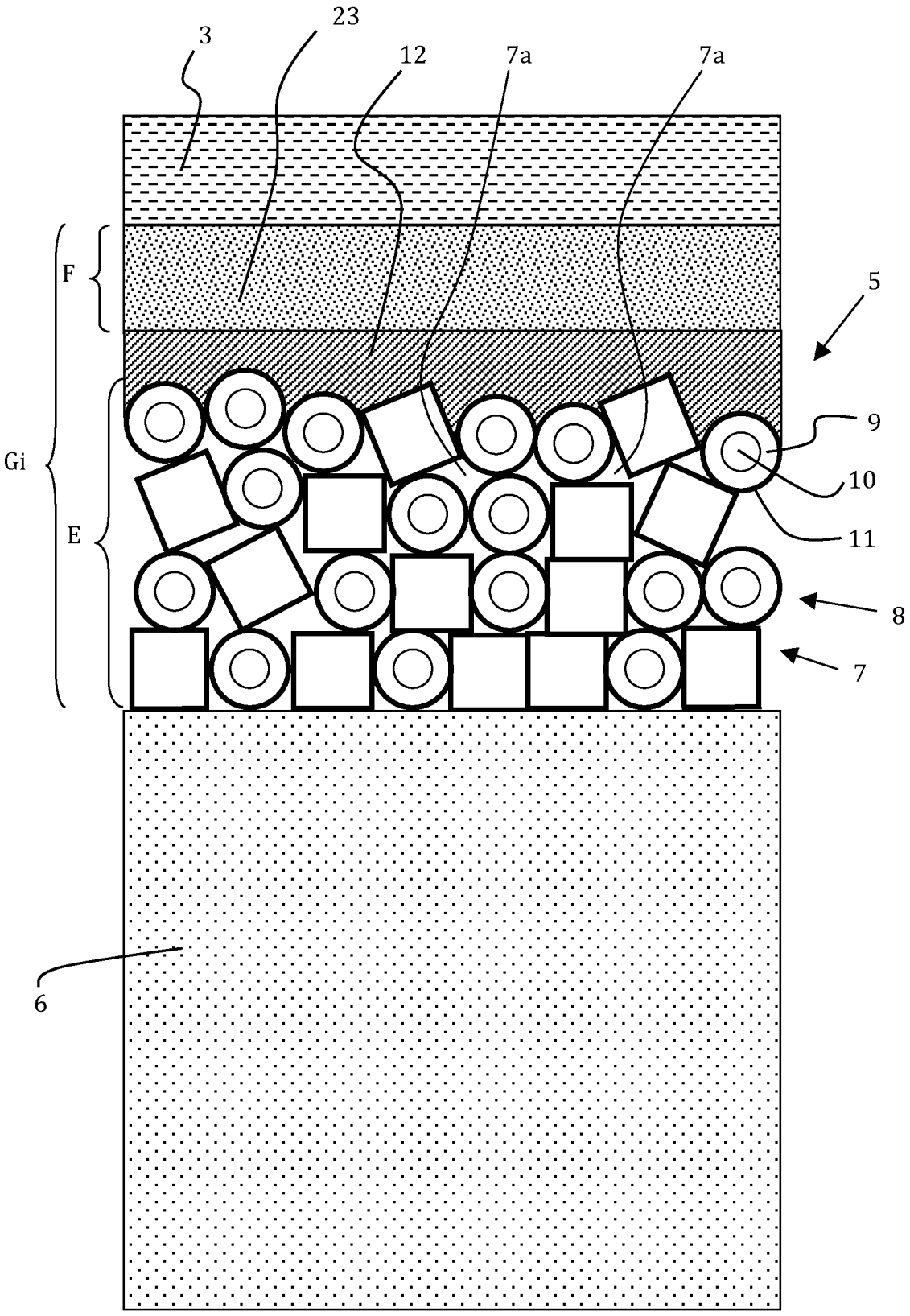

FIG. 2

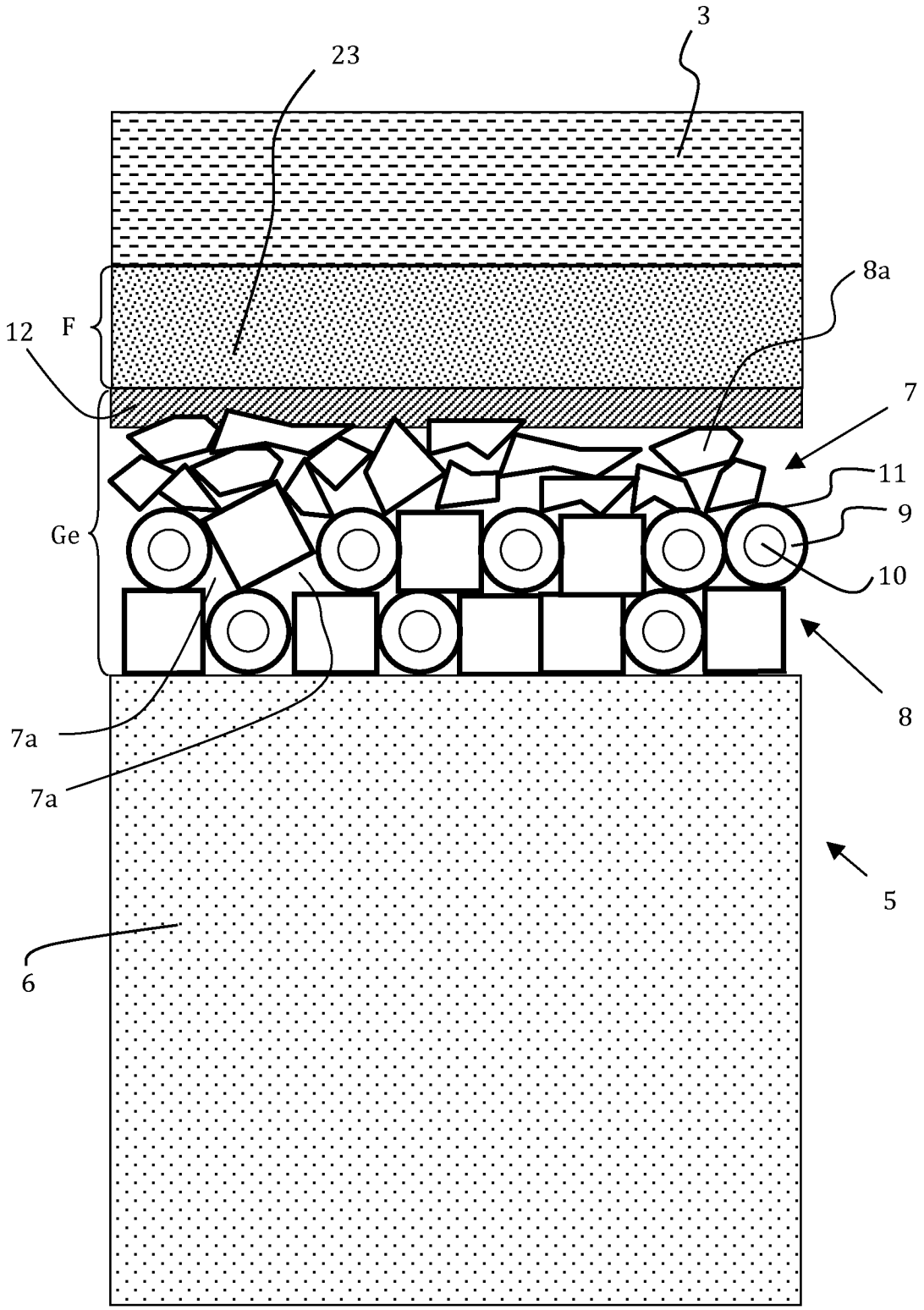

FIG. 3

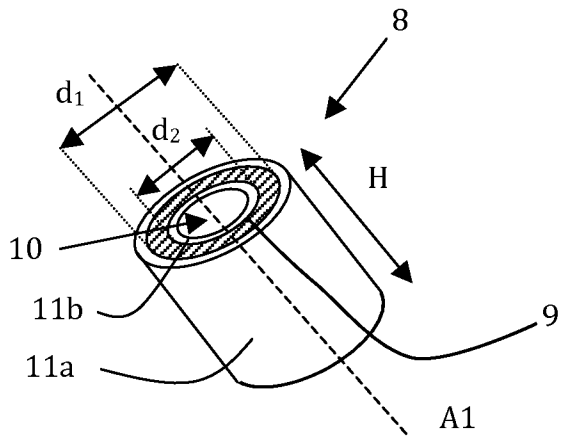

FIG. 4

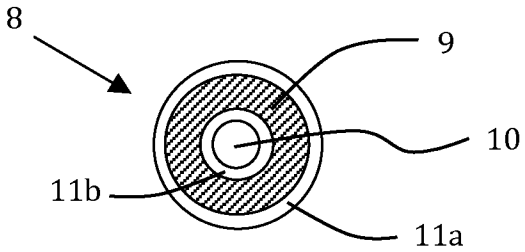

FIG. 5

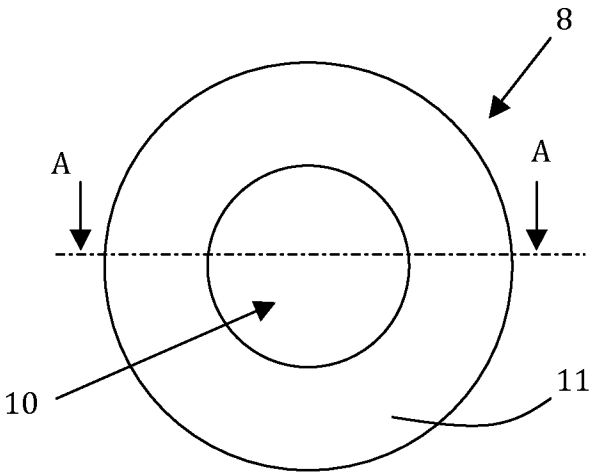

FIG. 6

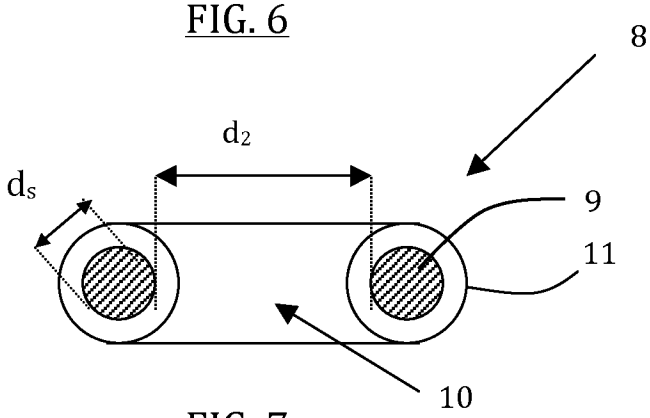

FIG. 7

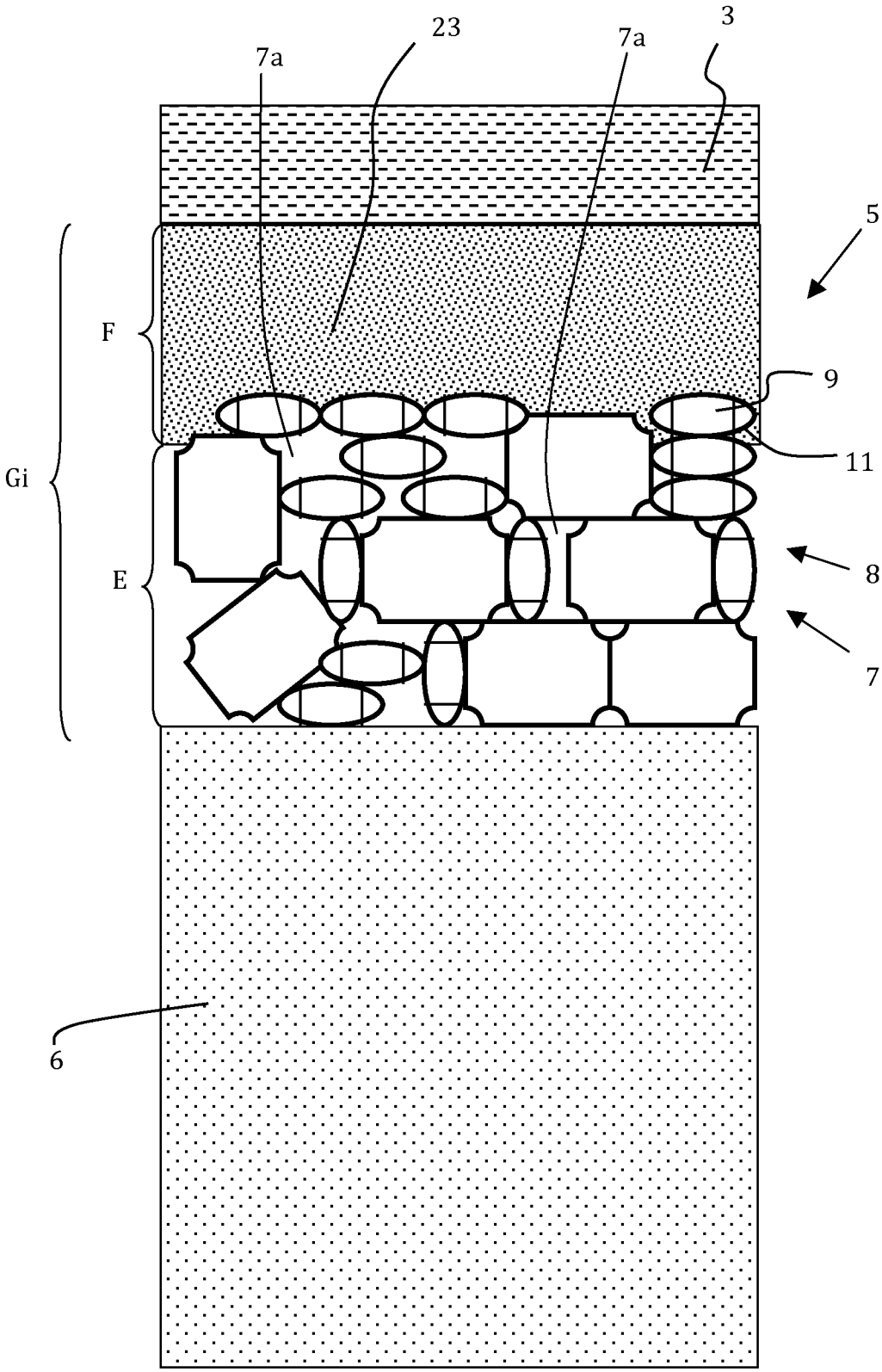

FIG. 8

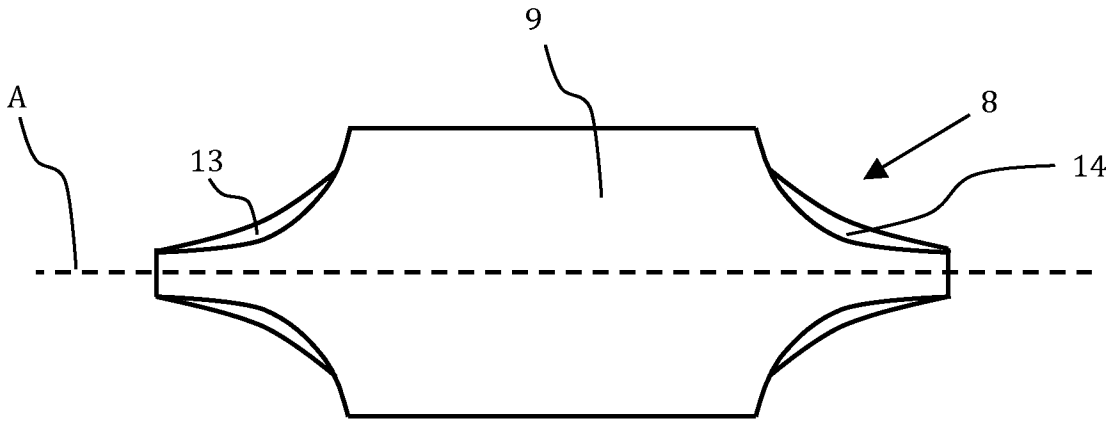

FIG. 9

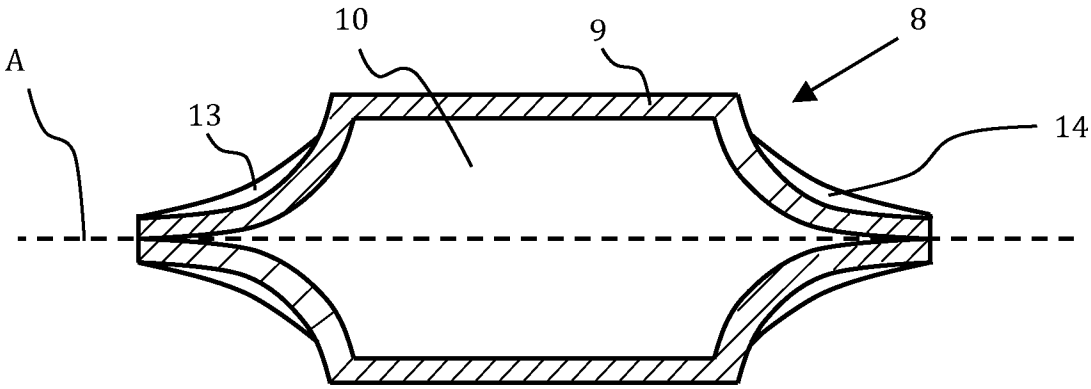

FIG. 10

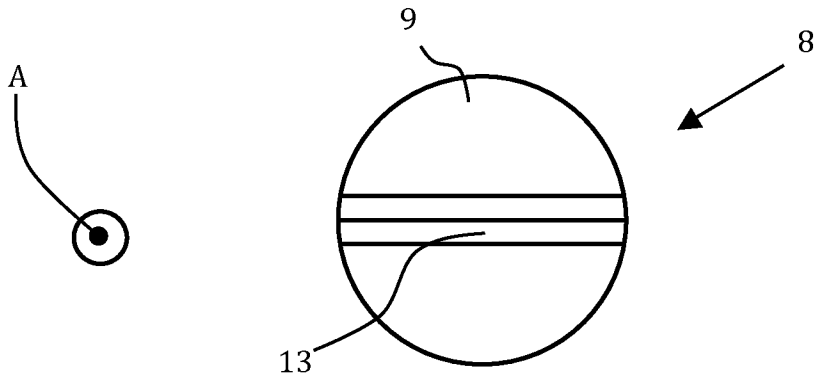

FIG. 11

FIG. 12

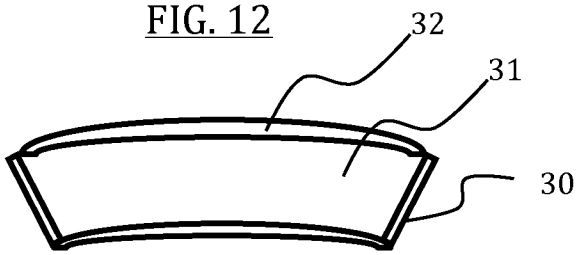

FIG. 13

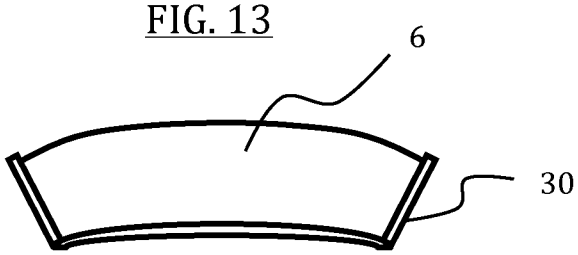

FIG. 14

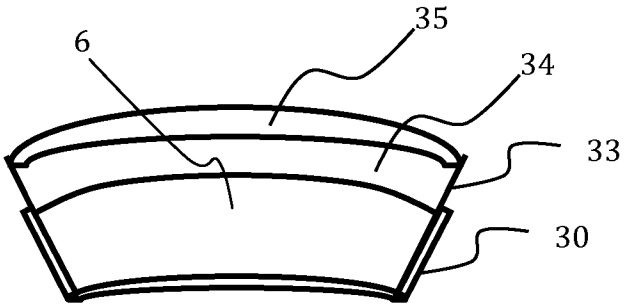

FIG. 15

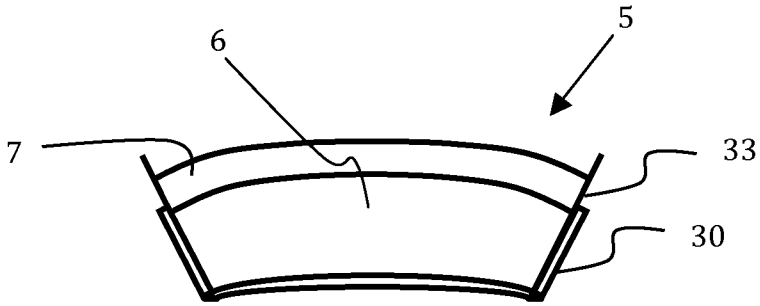

FIG. 16

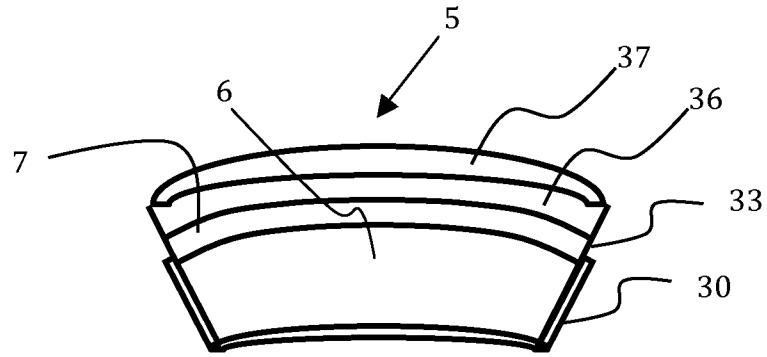

FIG. 17

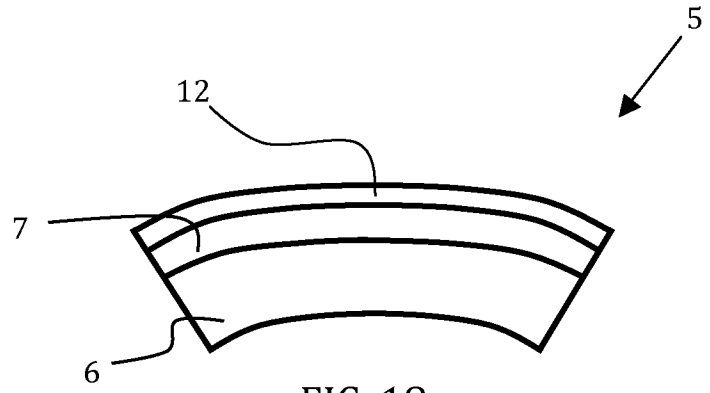

FIG. 18

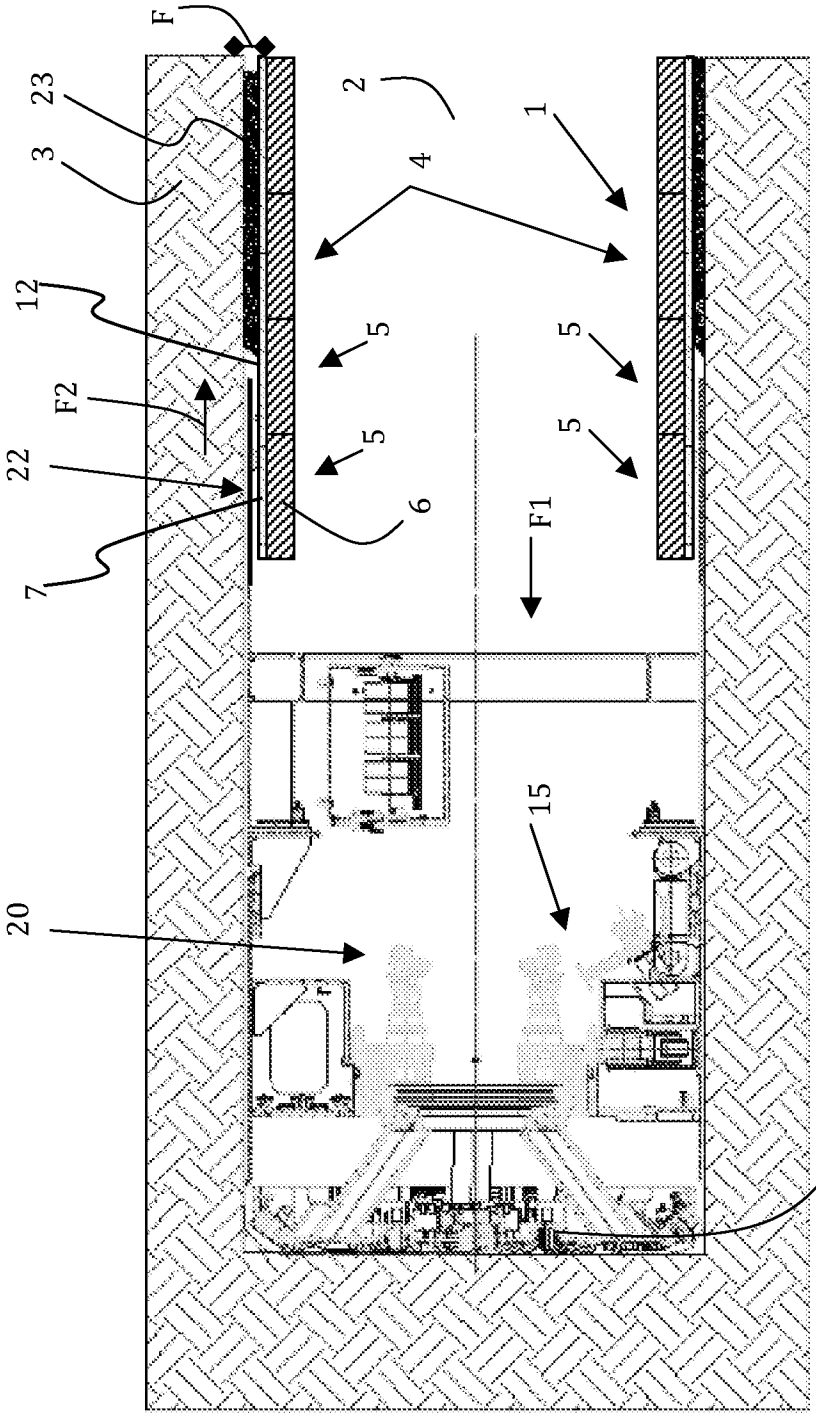

FIG. 19

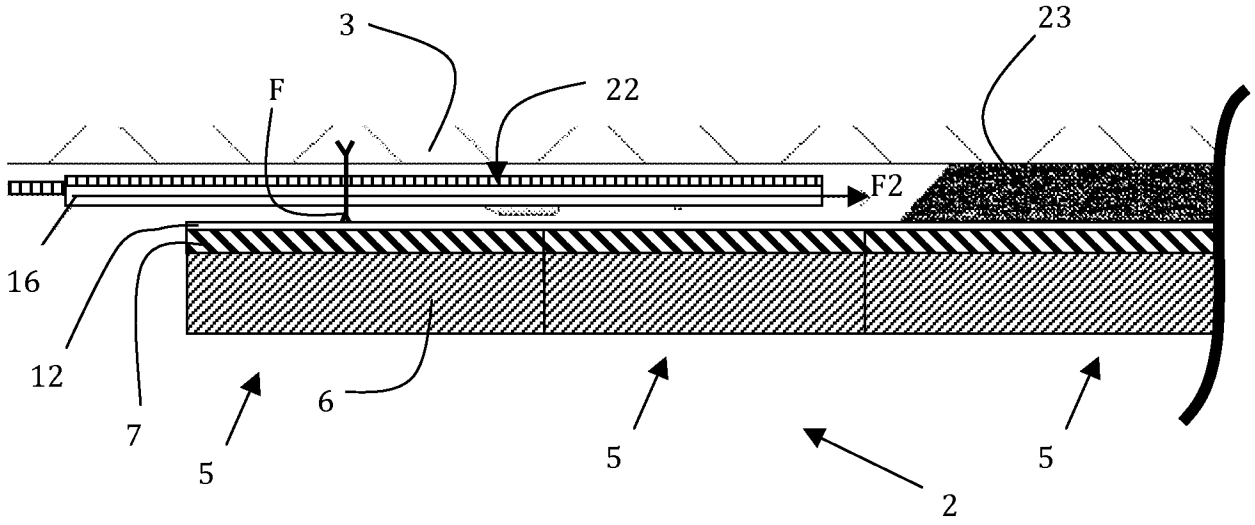

FIG. 20