



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
02.01.2019 Bulletin 2019/01

(51) Int Cl.:
H01B 1/04 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18179221.9**

(22) Date de dépôt: **22.06.2018**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **LARCHE, Jean-François**
69250 FLEURIEU-SUR-SAONE (FR)
• **COMBESSIS, Anthony**
13006 MARSEILLE (FR)
• **SUMERA, Rodrigue**
62860 EPINOY (FR)
• **MASQUELIER, Nicolas**
59133 PHALEMPIN (FR)

(30) Priorité: **30.06.2017 FR 1756118**

(71) Demandeur: **Nexans**
92400 Courbevoie (FR)

(74) Mandataire: **Peguet, Wilfried et al**
Ipsilon
Le Centralis
63, avenue du Général Leclerc
92340 Bourg-la-Reine (FR)

(54) **CABLE COMPRENANT UN ELEMENT ELECTRIQUEMENT CONDUCTEUR COMPRENANT DES FIBRES DE CARBONE METALLISEES**

(57) La présente invention concerne un câble électrique (1) comprenant au moins un élément électriquement conducteur allongé (2) entouré par au moins une couche polymérique (4), ledit élément électriquement conducteur allongé (2) comprenant une fibre de carbone

métallisée ou au moins un ensemble de fibres de carbone métallisées (3), caractérisé en ce que la fibre de carbone métallisée ou ledit ensemble (3) de fibres de carbone métallisées a une conductivité spécifique d'au moins 8%.

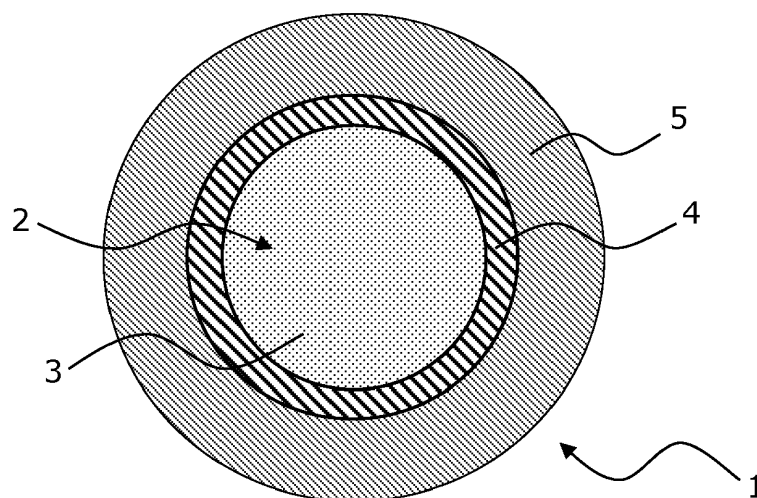


FIG.1

Description

[0001] L'invention se rapporte à un câble électrique comprenant au moins un élément électriquement conducteur allongé comprenant une fibre de carbone métallisée ou au moins un ensemble de fibres de carbone métallisées.

[0002] Les câbles électriques sont largement utilisés pour le transport d'énergie électrique ainsi que pour la transmission de données. Les câbles électriques doivent posséder différentes propriétés selon leur utilisation et notamment, une bonne conductivité électrique, une bonne résistance mécanique, tout en étant le plus léger possible.

[0003] Un câble électrique comprend classiquement un élément électriquement conducteur mono-brin ou multi-brins le plus souvent entouré d'une matière isolante. L'élément électriquement conducteur est généralement constitué de matériaux métalliques comme, par exemple, du cuivre ou de l'aluminium. Cependant, l'utilisation de ces matériaux métalliques dans des câbles électriques présente plusieurs inconvénients. En effet, ces métaux peuvent avoir des propriétés mécaniques pas toujours adaptées aux besoins, une faible disponibilité et un prix élevé. Par ailleurs, les métaux sont des matériaux de densité élevée ce qui pose problème pour la fabrication et l'installation de câbles électriques, notamment de grande longueur (supérieure à 2 km), et dans des applications où la minimisation de la masse des systèmes est recherchée, tel que par exemple dans les systèmes aéronautiques.

[0004] Le but de la présente invention est de pallier les inconvénients de l'art antérieur en proposant un élément électriquement conducteur léger et peu coûteux tout en ayant une très bonne conductivité électrique et des propriétés mécaniques améliorées.

[0005] La présente invention a ainsi pour objet un câble électrique comprenant au moins un élément électriquement conducteur allongé entouré par au moins une couche polymérique, de préférence une couche polymérique électriquement isolante, ledit élément électriquement conducteur allongé comprenant une fibre de carbone métallisée ou au moins un ensemble de fibres de carbone métallisées, caractérisé en ce que la fibre de carbone métallisée ou ledit ensemble de fibres de carbone métallisées a une conductivité spécifique d'au moins 8%, et de préférence d'au moins 10% .

[0006] Grâce au câble électrique de l'invention, l'utilisation de conducteurs métalliques massifs est limitée, voire évitée. Le câble électrique de l'invention possède une bonne conductivité spécifique tout en ayant des propriétés mécaniques, telles qu'une résistance en traction, une tenue thermique, et/ou une flexibilité (e.g. nécessaire pour son enroulement et son installation), améliorée(s) de façon significative. En outre, un autre avantage est que le câble électrique de l'invention présente notamment de très bonnes propriétés physico-chimiques, telles qu'une faible dilatation thermique de l'élément électriquement conducteur. Par ailleurs, le câble électrique de l'invention tire avantageusement parti de la faible densité des fibres de carbone en comparaison avec les densités des métaux. De plus, il possède une masse linéique plus faible qu'un câble électrique comprenant un ou plusieurs conducteur(s) métallique(s) comme seul(s) élément(s) conducteur(s), et a un coût de fabrication comparable.

Elément électriquement conducteur allongé

[0007] Une fibre de carbone est composée majoritairement d'atomes de carbone cristallins alignés plus ou moins parallèlement à l'axe de la fibre de carbone. La teneur d'une fibre de carbone en élément carbone est généralement comprise entre 90% et 99%, et dépend essentiellement des étapes du procédé de fabrication.

[0008] La fibre de carbone métallisée utilisée dans la présente invention peut comprendre une fibre de carbone entourée par une ou plusieurs couche(s) métallique(s).

[0009] L'ensemble de fibres de carbone métallisées utilisé dans la présente invention comprend plusieurs fibres de carbone métallisées, chacune desdites fibres de carbone métallisées comprenant une fibre de carbone entourée par une ou plusieurs couche(s) métallique(s).

[0010] La fibre de carbone de la fibre de carbone métallisée ou les fibres de carbone de l'ensemble de fibres de carbone métallisées peu(ven)t être respectivement une ou des fibre(s) dite(s) à base de carbone. On entend par « à base de carbone » une fibre pouvant être composée de carbone, et plus particulièrement de nanofibres de carbone, de nanotubes de carbone et/ou de graphène.

[0011] Un ensemble de fibres de carbone selon l'invention comprend plusieurs fibres de carbone qui peuvent être classiquement organisés en fils de carbone communément dénommés « mèches ». Un fil de carbone peut comprendre plusieurs milliers de fibres de carbone désignés par la lettre K, par exemple un fil de 12000 fibres de carbone est dit « 12K ».

[0012] La conductivité spécifique d'au moins 8% de la fibre de carbone métallisée ou de l'ensemble de fibres de carbone métallisées permet avantageusement à ladite fibre de carbone métallisée ou audit ensemble de fibres de carbone métallisées d'être utilisé(e) comme élément électriquement conducteur allongé dans un câble électrique selon l'invention.

[0013] L'élément électriquement conducteur allongé peut avoir de préférence une conductivité spécifique d'au moins 15%, de préférence d'au moins 25%, et plus préférentiellement d'au moins 35%.

[0014] La conductivité spécifique d'un matériau s'exprime en $S \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$, et correspond au rapport de sa conductivité électrique exprimée en siemens par mètre (S/m) divisée par sa masse volumique exprimée en kg/m^3 .

[0015] La conductivité spécifique d'un matériau, exprimée en %, est déterminée par rapport à la conductivité spécifique à 20°C du cuivre pur recuit qui est de 6524,71 S.m².kg⁻¹. La masse volumique à 20°C du cuivre pur recuit est de 8890 kg.m⁻³. La conductivité électrique (S/m) caractérise l'aptitude d'un matériau à laisser les électrons qu'il contient se déplacer librement sous l'effet d'un champ électrique et donc permettre le passage d'un courant électrique.

[0016] Dans l'invention, un ensemble de fibres de carbone métallisées est défini comme plusieurs fibres de carbone métallisées organisées, par exemple, de façon parallèle les unes aux autres. Selon une variante possible, les fibres de carbone d'un ensemble peuvent être torsadées ou tressées.

[0017] Dans le câble électrique de l'invention, l'ensemble de fibres de carbone métallisées peut comprendre au moins 2 fibres de carbone métallisées, de préférence au moins 1000 fibres de carbone métallisées, de préférence au moins 3000 fibres de carbone métallisées, de préférence au moins 6000 fibres de carbone métallisées, et plus préférentiellement au moins 12000 fibres de carbone métallisées.

[0018] Dans le câble électrique de l'invention, l'ensemble de fibres de carbone métallisées peut comprendre au plus 48000 fibres de carbone métallisées, voire même l'ensemble de fibres de carbone métallisées peut comprendre plus de 48000 fibres de carbone métallisées.

[0019] Dans la présente invention, l'élément électriquement conducteur allongé peut comprendre :

- uniquement une fibre de carbone métallisée, et/ou
- un unique ensemble ou plusieurs ensembles de fibres de carbone métallisées, notamment au plus 10 ensembles de fibres de carbone métallisées.

[0020] Dans un mode de réalisation particulier, l'élément électriquement conducteur allongé de l'invention peut en outre comprendre au moins un conducteur métallique.

[0021] Lorsque l'élément électriquement conducteur allongé comprend plusieurs ensembles de fibres de carbone métallisées, chaque ensemble peut comprendre un nombre différent de fibres de carbone métallisées et/ou un métal différent constitutif de la couche métallique entourant les fibres de carbone.

[0022] Dans la présente invention, l'élément électriquement conducteur allongé peut être avantageusement l'élément le plus au centre du câble.

[0023] Plus particulièrement, l'élément électriquement conducteur allongé n'entoure de préférence pas de matériau isolant ou polymérique, notamment du type couche isolante ou polymérique.

[0024] L'élément électriquement conducteur allongé peut comprendre également des éléments additionnels comme par exemple une ou plusieurs fibre(s) de carbone non métallisée(s).

[0025] Dans la présente invention, la ou les couche(s) métallique(s) du ou des fibres de carbone métallisée(s) peu(ven)t comprendre au moins un métal choisi parmi le cuivre, le zinc, l'étain, l'argent, l'aluminium, et un de leurs alliages. Par « alliage », on entend la combinaison ou mélange d'au moins deux métaux, notamment choisis parmi ceux listés ci-dessus.

[0026] De préférence, la couche métallique peut comprendre uniquement du cuivre ou uniquement un alliage de cuivre.

[0027] Lorsque la fibre de carbone métallisée ou les fibres de carbone métallisées d'un ensemble de fibres de carbone métallisées sont entourées par plusieurs couches métallique(s), au moins une des couches métalliques peut comprendre du cuivre ou un alliage de cuivre, la ou les autres couches métallique(s) pouvant comprendre un métal différent, notamment choisi parmi le zinc, le nickel, l'étain, l'argent, l'aluminium, et un de leurs mélanges.

[0028] La couche métallique peut être directement en contact physique avec la fibre de carbone de la fibre de carbone métallisée ou avec chaque fibre de carbone dudit ensemble de fibres de carbone métallisées.

[0029] La couche métallique peut être liée par interactions physiques et/ou chimiques, de préférence par liaison covalente, à la fibre de carbone pour permettre une bonne adhésion de la couche métallique à la fibre de carbone.

[0030] Une couche intermédiaire dite « d'adhésion » peut être placée entre la fibre de carbone et la couche métallique de la fibre de carbone métallisée, afin d'améliorer l'adhésion de la couche métallique autour de la fibre de carbone. La couche intermédiaire peut être une couche métallique, pouvant comprendre un ou plusieurs métaux choisi(s) parmi l'étain, le nickel, le cuivre, l'aluminium, l'argent, et un de leurs mélanges.

[0031] Dans l'invention, la couche métallique peut avoir une épaisseur moyenne d'au moins 100 nm, de préférence d'au moins 500 nm, et plus préférentiellement d'au moins 1 µm. Dans un mode de réalisation particulier, l'épaisseur moyenne de la couche métallique peut être d'au plus 5 µm.

[0032] Plus particulièrement, l'épaisseur moyenne de la couche métallique est l'épaisseur moyenne en nombre entre au moins deux épaisseurs mesurées respectivement à deux points différents le long de la ou des fibre(s) de carbone. Si l'épaisseur de la couche métallique est sensiblement constante le long du ou des fibre(s) de carbone, l'épaisseur moyenne de la couche métallique est égale à l'épaisseur de la couche métallique en tout point de la / des fibre(s) de carbone.

[0033] L'épaisseur moyenne de la couche métallique peut être facilement déterminée par des techniques bien connues

de l'homme du métier.

[0034] De préférence, la couche métallique peut avoir une épaisseur constante sur toute la longueur de la fibre de carbone ou des fibre(s) de carbone d'un ensemble de fibres de carbone métallisées. Une épaisseur constante signifie que l'épaisseur de la couche métallique peut varier d'au plus $\pm 30\%$ par rapport à l'épaisseur moyenne de la couche métallique, de préférence d'au plus $\pm 20\%$ par rapport à l'épaisseur moyenne de la couche métallique, et plus préférentiellement d'au plus $\pm 10\%$ par rapport à l'épaisseur moyenne de la couche métallique.

[0035] Dans l'invention, l'épaisseur de la couche métallique peut être adaptée selon la nature du métal ou des métaux qu'elle comprend et selon la conductivité souhaitée. En particulier, une couche métallique comprenant un métal ayant une conductivité faible peut être plus épaisse qu'une couche métallique comprenant un métal ayant une conductivité plus élevée.

[0036] La métallisation de la fibre de carbone ou des fibre(s) de carbone d'un ensemble de fibres de carbone peut être réalisée par un procédé choisi parmi l'électrodéposition, l'électroplacage (connu sous l'anglicisme « *electroplating* »), l'électroplacage sans courant électrique (connu sous l'anglicisme « *electroless plating* »), l'évaporation thermique sous vide (« *heated evaporation* »), l'évaporation par faisceau d'électrons (« *electron beam evaporation* »), la pulvérisation cathodique (« *sputtering* »), la déposition assistée par faisceau ionique (« *ion assisted deposition* »). Selon un mode de réalisation préféré, la métallisation de la ou des fibre(s) de carbone peut être réalisée par électrodéposition.

[0037] Dans l'invention, la ou les fibre(s) de carbone métallisée(s) peu(ven)t avoir une longueur allant de 100 m à 200 km, de préférence allant de 100 m à 10 km, et plus préférentiellement allant de 100 m à 3 km. Grâce à l'utilisation d'une fibre de carbone métallisée ou d'un ensemble de fibres de carbone métallisées, une bonne conductivité spécifique et de bonnes propriétés mécaniques sont maintenues sur toute la longueur du câble électrique.

[0038] La fibre de carbone (non métallisée) d'une fibre de carbone métallisée ou les fibres de carbone (non métallisées) constitutives de l'ensemble de fibres de carbone métallisées peu(ven)t avoir un diamètre allant de 0,5 μm à 100 μm , de préférence allant de 1 μm à 50 μm , et plus préférentiellement allant de 5 μm à 10 μm . Ces valeurs sont données pour la fibre de carbone sans tenir compte de l'éventuelle ou des éventuelles couche(s) métallique(s) la recouvrant.

[0039] La fibre de carbone métallisée ou l'ensemble de fibres de carbone métallisées peut avoir une section allant de 0,2 μm^2 à 1000 μm^2 , de préférence allant de 1 μm^2 à 500 μm^2 , et plus préférentiellement allant de 10 μm^2 à 100 μm^2 .

[0040] Selon l'invention, l'élément électriquement conducteur allongé peut avoir une conductivité électrique en courant continu d'au moins 3% IACS, de préférence d'au moins 5% IACS, et plus préférentiellement d'au moins 10% IACS. Selon l'invention, l'élément électriquement conducteur allongé peut avoir une conductivité électrique en courant continu d'au plus 50% IACS

[0041] La conductivité électrique d'un matériau s'exprime en siemens par mètre (S/m).

[0042] La conductivité électrique d'un matériau, exprimée en % IACS (IACS correspondant à l'anglicisme « *International Annealed Copper Standard* »), est déterminée par rapport à la conductivité électrique à 20°C du cuivre pur recuit qui est de $5,8001 \times 10^7$ S/m.

Couche polymérique

[0043] Dans l'invention, l'élément électriquement conducteur allongé est entouré par au moins une couche polymérique. De préférence, la couche polymérique est une couche électriquement isolante. On entend par « couche électriquement isolante » une couche dont la conductivité électrique peut être d'au plus $1 \cdot 10^{-9}$ S/m (siemens par mètre) (à 25°C).

[0044] Selon une première variante possible, l'élément électriquement conducteur allongé peut comprendre une unique fibre de carbone métallisée entourée par au moins une couche polymérique.

[0045] Selon une deuxième variante possible, l'élément électriquement conducteur allongé peut comprendre plusieurs fibres de carbone métallisées, l'ensemble desdites fibres métallisées étant entouré par au moins une couche polymérique.

[0046] On entend par couche polymérique une couche comprenant au moins un polymère, le terme « polymère » en tant que tel signifiant de façon générale homopolymère ou copolymère (e.g. copolymère séquencé, copolymère statistique, terpolymère, ...etc).

[0047] Dans l'invention, le polymère peut être avantageusement un polymère d'oléfine (polyoléfine) ou, en d'autres termes, un homo- ou co-polymère d'oléfine, et peut être notamment un polymère thermoplastique ou réticulé.

[0048] De préférence, le polymère d'oléfine est un polymère d'éthylène ou de propylène.

[0049] La couche polymérique de l'invention peut comprendre au moins un polymère choisi parmi un polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE), un polyéthylène très basse densité (VLDPE), un polyéthylène basse densité (LDPE), un polyéthylène moyenne densité (MDPE), un polyéthylène haute densité (HDPE), un copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle (EVA), un copolymère d'éthylène et d'acrylate de butyle (EBA), d'acrylate de méthyle (EMA), de 2-hexyléthyl acrylate (2HEA), un copolymère d'éthylène et d'alpha-oléfines, un copolymère d'éthylène et de propylène (EPR), un polyuréthane, un polymère fluoré, un polymère chloré tel qu'un polychlorure de vinyle (PVC), un polyoxyde de phénylène (PPO), un polymère technique, et un leurs mélanges.

[0050] Comme exemple de copolymère d'éthylène et d'alpha-oléfine, on peut citer par exemple les polyéthylène-

octène (PEO).

[0051] Comme exemple de copolymères d'éthylène et de propylène (EPR), on peut citer les terpolymères d'éthylène propylène diène (EPDM).

[0052] On entend par « polymère technique » un polymère ayant des propriétés améliorées, pouvant être notamment choisi parmi un polyphényléthylène éther, un polyamide, le polyétheréthercétone (PEEK), un polyimide, un copolymère d'éthylène fluoré (FEP), un polyéthylène furanoate (PEF), et un de leurs mélanges.

[0053] La couche polymérique peut en outre comprendre au moins un additif choisi parmi les antioxydants, les stabilisants, des agents de réticulation, des retardateurs de grillage, des co-agents de réticulation, des agents favorisant la mise en oeuvre tels que des lubrifiants ou des cires, des agents compatibilisants, des agents de couplage, des stabilisants des charges, et un de leurs mélanges.

[0054] De préférence, la couche polymérique est une couche dite « HFFR » pour l'anglicisme « *Halogen-Free Flame Retardant* » selon la norme IEC 60754 Parties 1 et 2 (2011).

[0055] La couche polymérique peut en outre comprendre au moins une charge. La charge de l'invention peut être une charge minérale ou organique. Elle peut être choisie parmi une charge ignifugeante, une charge inerte, et un de leurs mélanges.

[0056] A titre d'exemple, la charge ignifugeante peut être une charge hydratée, choisie notamment parmi les hydroxydes métalliques tels que par exemple le dihydroxyde de magnésium (MDH) ou le trihydroxyde d'aluminium (ATH). Ces charges ignifugeantes agissent principalement par voie physique en se décomposant de manière endothermique (e.g. libération d'eau), ce qui a pour conséquence d'abaisser la température de la couche polymérique et de limiter la propagation des flammes le long du dispositif électrique. On parle notamment de propriétés de retard à la flamme, bien connues sous l'anglicisme « *flame retardant* ».

[0057] La charge inerte peut être, quant à elle, de la craie, du talc, de l'argile (e.g. le kaolin), du noir de carbone, ou des nanotubes de carbone.

[0058] La couche polymérique peut de préférence être extrudée.

[0059] La couche polymérique peut être réticulée ou non réticulée. La réticulation peut s'effectuer par les techniques classiques de réticulation bien connues de l'homme du métier telles que par exemple la réticulation peroxyde et/ou l'hydrosilylation sous l'action de la chaleur ; la réticulation silane en présence d'un agent de réticulation ; la réticulation par faisceaux d'électron, rayons gamma, rayons X, ou microondes ; la réticulation par voie photochimique telle que l'irradiation sous rayonnement bêta, ou l'irradiation sous rayonnement ultraviolet en présence d'un photo-amorceur. La réticulation est de préférence effectuée selon la technique de réticulation silane.

[0060] La couche polymérique peut avoir une épaisseur allant de 10 μm à 2 mm, de préférence de 100 μm à 1 mm, et plus préférentiellement de 100 μm à 700 μm .

Gaine

[0061] Le câble électrique de l'invention peut comprendre en outre une gaine, notamment une gaine de protection, entourant la ou les couche(s) polymérique(s).

[0062] De préférence, la gaine peut être la couche la plus à l'extérieure du câble électrique de l'invention.

[0063] La gaine est notamment une couche continue et uniforme autour d'au moins ladite couche polymérique. Elle permet d'assurer la protection du ou des élément(s) électriquement conducteur(s) allongé(s) isolé(s), notamment contre l'humidité, les détériorations d'origine mécanique et/ou les détériorations d'origine chimique. Elle peut aussi protéger contre les dommages mécaniques. Cette gaine peut être réalisée classiquement à partir de matériaux thermoplastiques appropriés tels que des HDPE (polyéthylène haute densité), des MDPE (polyéthylène moyenne densité) ou des LLDPE (polyéthylène à basse densité linéaire) ; ou encore des matériaux retardant la propagation de la flamme ou résistant à la propagation de la flamme.

[0064] Les polymères cités pour la couche polymérique de l'invention peuvent également être utilisés pour la gaine.

[0065] De préférence, la gaine extérieure de protection est une gaine électriquement isolante.

[0066] La gaine peut avoir une épaisseur allant de 100 μm à 2 mm, de préférence de 100 μm à 1,5 mm, et plus préférentiellement allant de 100 μm à 1 mm.

Câble électrique

[0067] Le câble électrique de l'invention peut s'appliquer typiquement, mais non exclusivement, aux domaines des câbles d'énergie à basse tension (notamment inférieure à 6 kV), à moyenne tension (notamment de 6 à 45-60 kV) ou à haute tension (notamment supérieure à 60 kV, et pouvant aller jusqu'à 800 kV), qu'ils soient à courant continu ou alternatif.

[0068] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lumière de la description d'exemples non limitatifs de câbles électriques selon l'invention, faits en référence à la figure 1.

[0069] La figure 1 représente une vue en coupe transversale d'un câble électrique selon un mode de réalisation de

l'invention.

[0070] Pour des raisons de clarté, seuls les éléments essentiels pour la compréhension de l'invention ont été représentés de manière schématique, et ceci sans respect de l'échelle.

[0071] La figure 1 représente une vue en coupe transversale d'un câble électrique 1 selon un mode de réalisation particulier de l'invention.

[0072] Le câble électrique 1 comprend un élément électriquement conducteur allongé 2 central comprenant un ensemble de 12 000 fibres de carbone métallisées 3, chaque fibre de carbone dudit ensemble étant entourée par une couche métallique de cuivre.

[0073] L'élément électriquement conducteur allongé 2 est entouré par une couche polymérique 4.

[0074] Une gaine électriquement isolante 5 est placée autour de la couche polymérique 4.

[0075] Dans cet exemple particulier, la couche polymérique 4 est directement en contact physique avec l'élément électriquement conducteur allongé 2 et la gaine électriquement isolante 5 est directement en contact physique avec la couche polymérique 4.

Exemples

[0076] Afin de montrer les effets techniques de la présente invention, des essais ont été réalisés à partir de fibres de carbone métallisées selon l'invention et des fibres de carbone dites « comparatives ».

Formation de l'élément électriquement conducteur allongé

Exemple 1 (exemple comparatif)

[0077] L'exemple 1 consiste à préparer un élément électriquement conducteur allongé comprenant 12000 fibres de carbone non métallisées commercialisées par la société Toray sous la référence TORAYCA T300. Le diamètre de chaque fibre de carbone est de 7 μm . Leur longueur est de 200 mètres ou plus.

[0078] La masse volumique de l'élément électriquement conducteur allongé est déterminée par mesure densimétrique selon la norme ASTM D792-08, et est de 1,76 g/cm³.

Exemple 2 (exemple comparatif)

[0079] L'exemple 2 consiste à préparer un élément électriquement conducteur allongé comprenant 12000 fibres de carbone nickelées commercialisées par la société Teijin sous la référence TOHO TENAX HTS40. Le diamètre de chaque fibre de carbone seule (sans la couche de nickel) est de 7 μm , et la couche de nickel a une épaisseur de 1 μm autour de chaque fibre de carbone. La longueur des fibres de carbone nickelées est de 200 mètres ou plus.

[0080] La masse volumique de l'élément électriquement conducteur allongé est déterminée par mesure densimétrique selon la norme ASTM D792-08, et est de 2,7 g/cm³.

Exemple 3 (exemple selon l'invention)

[0081] L'exemple 3 consiste à préparer un élément électriquement conducteur allongé comprenant 12000 fibres de carbone cuivrées.

[0082] La métallisation des fibres de carbone par du cuivre est réalisée par électrodéposition, avec du cuivre métallique (Cu⁰) commercialisé par la société SIFCO sous la référence CUIVRE ALCALIN DEPOT EPAIS CODE 5280, autour respectivement de 12000 fibres de carbone non métallisées commercialisées par la société Toray sous la référence TORAYCA T300. Le diamètre de chaque fibre de carbone non métallisée est de 7 μm et leur longueur est de 200 mètres ou plus.

[0083] L'électrodéposition s'effectue avec un appareil du type générateur de courant de la marque TTI sous la référence QPX600DP, pendant environ 5 min, pour obtenir une couche cuivrée d'environ 1 μm d'épaisseur autour des fibres de carbone.

[0084] Un élément électriquement conducteur allongé est formé à partir des fibres de carbone cuivrées avec 12000 desdites fibres.

[0085] La masse volumique de l'élément électriquement conducteur allongé est déterminée par mesure densimétrique selon la norme ASTM D792-08, et est de 4,4 g/cm³.

Mesure de la conductivité spécifique des éléments électriquement conducteurs allongés des exemples 1 à 3

[0086] La mesure de la conductivité spécifique (%) des éléments électriquement conducteurs allongés des exemples

EP 3 422 366 A1

1, 2 et 3 est réalisée en mesurant 4 points selon la norme ASTM B193 et ISO 3915.

[0087] Le calcul de la conductivité spécifique est ensuite déterminé à partir de la valeur de la conductivité électrique et de la masse volumique de l'élément électriquement conducteur allongé.

[0088] Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

	Conductivité spécifique (%)
Exemple 1 : 12000 fibres de carbone non métallisées	0,6
Exemple 2 : 12000 fibres de carbone nickelées	7,4
Exemple 3 : 12000 fibres de carbone cuivrées	39,9

[0089] Ainsi, l'élément électriquement conducteur de l'invention, tel qu'exemplifié dans l'exemple 3, présente une conductivité spécifique bien supérieure à celle de l'exemple 1 et de l'exemple 2.

[0090] L'élément électriquement conducteur de l'invention dans un câble électrique permet de limiter de façon significative, voire d'éviter, l'utilisation de conducteurs métalliques massifs, tout en ayant de très bonnes propriétés mécaniques et physico-chimiques.

Revendications

- Câble électrique (1) comprenant au moins un élément électriquement conducteur allongé (2) entouré par au moins une couche polymérique (4), ledit élément électriquement conducteur allongé (2) comprenant une fibre de carbone métallisée ou au moins un ensemble de fibres de carbone métallisées (3), **caractérisé en ce que** la fibre de carbone métallisée ou ledit ensemble (3) de fibres de carbone métallisées a une conductivité spécifique d'au moins 8%, et **en ce que** la fibre de carbone métallisée ou l'ensemble de fibres de carbone métallisées comprend respectivement une ou des fibres de carbone entourée(s) par au moins une couche métallique, la couche métallique ayant une épaisseur moyenne d'au moins 100 nm.
- Câble électrique (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit élément électriquement conducteur allongé (2) a une conductivité spécifique d'au moins 15%, de préférence d'au moins 25%, et plus préférentiellement d'au moins 35%.
- Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit ensemble de fibres de carbone métallisées (3) comprend au moins 1000 fibres de carbone métallisées, de préférence au moins 6000 fibres de carbone métallisées, et plus préférentiellement au moins 12000 fibres de carbone métallisées.
- Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite couche métallique comprend du cuivre ou un alliage de cuivre.
- Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallique est directement en contact physique avec la fibre de carbone de ladite fibre de carbone métallisée ou avec chaque fibre de carbone dudit ensemble de fibres de carbone métallisées.
- Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche métallique a une épaisseur moyenne d'au moins 500 nm, et plus préférentiellement d'au moins 1 μm .
- Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une gaine (5) entourant la couche polymérique (4).
- Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la ou les fibres de carbone métallisée(s) ont une longueur allant de 100 m à 200 km, de préférence allant de 100 m à 10 km, et plus préférentiellement allant de 100 m à 3 km.
- Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la fibre de carbone de la fibre de carbone métallisée ou les fibres de carbone constitutives de l'ensemble de fibres de carbone métallisées a/ont un diamètre allant de 0,5 μm à 100 μm , de préférence allant de 1 μm à 50 μm , et plus préféren-

tiellement allant de 5 μm à 10 μm .

5 10. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit élément électriquement conducteur allongé (2) a une conductivité électrique en courant continu d'au moins 3% IACS, de préférence d'au moins 5% IACS, et plus préférentiellement d'au moins 10% IACS.

11. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'élément électriquement conducteur allongé (2) est l'élément le plus au centre du câble.

10 12. Câble électrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'élément électriquement conducteur allongé (2) n'entoure pas de matériau isolant ou polymérique.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

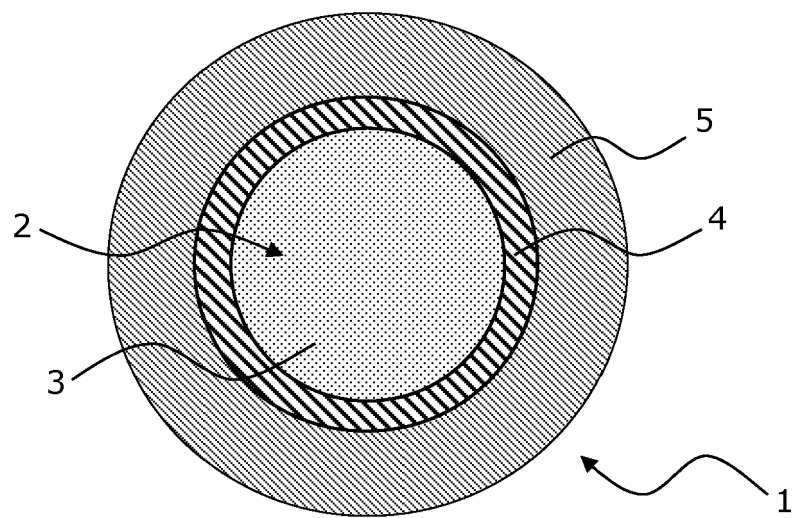


FIG.1



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 18 17 9221

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2011/209894 A1 (WILLIAMS MARTHA K [US] ET AL) 1 septembre 2011 (2011-09-01) * revendication 22; exemples 2,5,1 * -----	1-8, 10-12	INV. H01B1/04
X	WO 2013/016445 A1 (TYCO ELECTRONICS CORP [US]; ZHENG MIN [US]; HEMOND JESSICA HENDERSON B) 31 janvier 2013 (2013-01-31) * alinéa [0028]; revendications 1,3,9; figures 1,2 * -----	1-3	
X	US 2009/194313 A1 (JIANG KAI-LI [CN] ET AL) 6 août 2009 (2009-08-06) * revendications 1-4,23,8 * -----	1,2,7,9	
A	US 2014/057127 A1 (KROENER FRIEDRICH [AT]) 27 février 2014 (2014-02-27) * revendication 22; figure * * -----	1-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		5 novembre 2018	Vanier, Cécile
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 18 17 9221

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

05-11-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2011209894 A1	01-09-2011	US 2011209894 A1	01-09-2011
		US 2011210749 A1	01-09-2011
		US 2011210750 A1	01-09-2011
WO 2013016445 A1	31-01-2013	CN 103748634 A	23-04-2014
		EP 2737495 A1	04-06-2014
		US 2013025907 A1	31-01-2013
		WO 2013016445 A1	31-01-2013
US 2009194313 A1	06-08-2009	CN 101499331 A	05-08-2009
		CN 105244071 A	13-01-2016
		JP 4424690 B2	03-03-2010
		JP 2009187943 A	20-08-2009
		US 2009194313 A1	06-08-2009
US 2014057127 A1	27-02-2014	CN 103628308 A	12-03-2014
		DE 102013108869 A1	27-02-2014
		US 2014057127 A1	27-02-2014

EPO FORM P0460

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