



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
01.04.2015 Bulletin 2015/14

(51) Int Cl.:
C22C 21/00 (2006.01) **H01B 1/02** (2006.01)
H01B 1/22 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14186345.6**

(22) Date de dépôt: **25.09.2014**

(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

(72) Inventeur: **Comoret, Emilien**
59171 HORNAIG (FR)

(74) Mandataire: **Feray, Valérie et al**
Ipsilon Feray Lenne Conseil
Le Centralis
63 avenue du Général Leclerc
92340 Bourg-la-Reine (FR)

(30) Priorité: **27.09.2013 FR 1359367**

(71) Demandeur: **Nexans**
75008 Paris (FR)

(54) **Alliage d aluminium à conductivité électrique élevée**

(57) La présente invention concerne un câble électrique (100A, 100B, 100C) comprenant un élément électriquement conducteur (10A, 10B, 10C) allongé en alliage d'aluminium comprenant de l'aluminium (Al) et des

précipités d'erbium (Al_3Er), caractérisé en ce que ledit alliage d'aluminium comprend en outre un élément choisi parmi le fer (Fe), le cuivre (Cu) et leur mélange ; et des impuretés inévitables.

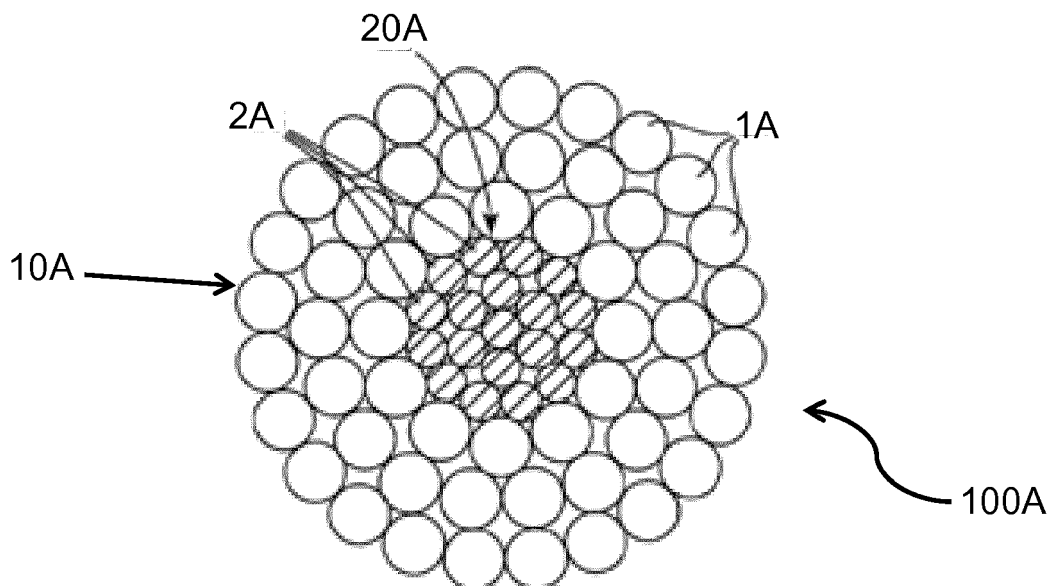


FIG.1

Description

[0001] La présente invention se rapporte à un câble électrique comprenant un élément électriquement conducteur allongé en alliage d'aluminium, ainsi qu'à un procédé de fabrication dudit alliage et à un procédé de fabrication dudit câble.

[0002] Elle s'applique typiquement, mais non exclusivement, aux câbles de transmission électrique à haute tension ou câbles aériens de transport d'énergie, bien connus sous l'anglicisme "*Overhead Lines (OHL) cable*".

[0003] Ces câbles se composent classiquement d'un élément central de renforcement, entouré par au moins une couche électriquement conductrice.

[0004] L'élément central de renforcement peut être un élément composite ou métallique. A titre d'exemple, on peut citer des brins d'acier ou des brins composites d'aluminium dans une matrice organique.

[0005] La couche électriquement conductrice peut quant à elle comprendre typiquement un assemblage de brins métalliques, de préférence torsadés autour de l'élément central. Les brins métalliques peuvent être des brins en aluminium, en cuivre, en alliage d'aluminium ou en alliage de cuivre. Ceci étant, la couche électriquement conductrice est généralement fabriquée à base d'aluminium ou d'un alliage d'aluminium, puisque ce matériau présente un poids assez faible par rapport à d'autres matériaux électriquement conducteurs.

[0006] Du document CN 101418401 est connu un alliage d'aluminium utilisé en tant que conducteur électrique dont la dureté est améliorée. Ledit alliage se compose de 0,01 à 0,40 % en poids d'erbium (Er), le reste de l'alliage étant uniquement de l'aluminium pur (Al). Cet alliage d'aluminium et d'erbium (i.e. alliage Al-Er) est obtenu par un procédé comprenant une étape de coulée de l'alliage Al-Er en fusion, puis une ou plusieurs étapes d'extrusion à chaud, puis une ou plusieurs étapes de recuit (étape bien connue sous l'anglicisme « *annealing step* ») à une température d'environ 420°C pendant 50 heures, et enfin une étape de tréfilage à froid, afin d'obtenir des fils d'alliage Al-Er de 4 mm de diamètre.

[0007] Toutefois, cet alliage Al-Er présente l'inconvénient d'avoir une conductivité électrique diminuée par rapport à de l'aluminium pur. Par ailleurs, le procédé de fabrication dudit alliage Al-Er, et notamment les étapes d'extrusion à chaud et de recuit, ne permettent pas, d'une part de contrôler la microstructure des précipités d'erbium (Al_3Er), et d'autre part de produire suffisamment de précipités d'erbium dans ledit alliage. De ce fait, ce procédé induit une diminution de la résistance à la rupture et de la conductivité électrique dudit alliage.

[0008] Le but de la présente invention est de pallier les inconvénients des techniques de l'art antérieur en proposant un alliage d'aluminium, notamment utilisé en tant qu'élément électriquement conducteur allongé dans un câble électrique, comprenant de l'aluminium et de l'erbium, facile à fabriquer, présentant des propriétés électriques améliorées, tout en garantissant de bonnes propriétés mécaniques.

[0009] La présente invention a pour objet un câble électrique, notamment de type OHL, comprenant un élément électriquement conducteur allongé en alliage d'aluminium comprenant de l'aluminium (Al) et des précipités d'erbium (Al_3Er), caractérisé en ce que ledit alliage d'aluminium comprend en outre un élément choisi parmi le fer (Fe), le cuivre (Cu) et leur mélange ; et des impuretés inévitables.

[0010] Grâce à la présence des précipités d'erbium (Al_3Er) et d'au moins un des éléments choisis parmi le cuivre, le fer et un mélange de fer et de cuivre, l'alliage d'aluminium du câble électrique de l'invention présente de bonnes propriétés mécaniques, notamment en termes de résistance au fluage à chaud et de résistance à la rupture, et de bonnes propriétés électriques, notamment en terme de conductivité. En effet, la présence du fer et/ou du cuivre favorise la précipitation de l'erbium, et ainsi l'augmentation de la conductivité électrique.

[0011] Selon un mode de réalisation particulier, les précipités d'erbium (Al_3Er) ont une taille moyenne strictement inférieure à 1 μm environ, et de préférence strictement inférieure à 0,5 μm environ.

[0012] Selon une forme de réalisation particulièrement préférée de l'invention, les précipités d'erbium (Al_3Er) ont une taille moyenne allant de 1 à 100 nm environ, et de préférence allant de 2 nm à 50 nm environ.

[0013] Selon un mode de réalisation particulier, les précipités d'erbium (Al_3Er) présents dans l'alliage d'aluminium sont sphériques.

[0014] Dans un mode de réalisation particulier, le câble électrique peut en outre comprendre un élément allongé de renforcement.

[0015] Dans la présente invention, la présence d'un élément allongé de renforcement permet notamment de former un câble aérien de transport d'énergie (i.e. câble OHL).

[0016] De préférence, l'élément allongé de renforcement est entouré par ledit élément électriquement conducteur, l'élément allongé de renforcement étant notamment un élément central.

[0017] Selon une forme de réalisation préférée de l'invention, l'alliage d'aluminium comprend du fer (Fe), et éventuellement du cuivre (Cu), et encore plus préférentiellement du fer (Fe) et du cuivre (Cu).

[0018] La quantité d'erbium dans l'alliage d'aluminium de l'invention peut être avantageusement d'au moins 100 ppm en poids. Lorsque la quantité d'erbium est inférieure à 100 ppm en poids, l'alliage d'aluminium peut ne pas comprendre assez de précipités d'erbium pour conserver une bonne conductivité électrique. Par ailleurs, la faible quantité d'erbium (i.e. inférieure à 100 ppm) peut être piégée par le fer, lorsque ce dernier est présent, induisant une dégradation des propriétés mécaniques et électriques dudit alliage.

[0019] La quantité d'erbium dans l'alliage d'aluminium de l'invention peut être avantageusement d'au plus 10000 ppm en poids. Au-delà de 10000 ppm en poids d'erbium, la conductivité électrique de l'alliage peut chuter de façon significative, notamment du fait de l'agglomération trop importante des précipités d'erbium dans ledit alliage.

[0020] De façon particulièrement avantageuse, l'alliage d'aluminium de l'invention peut comprendre de 250 ppm à 5000 ppm en poids d'erbium, et de préférence de 800 à 4000 ppm en poids d'erbium.

[0021] Dans la présente invention, l'abréviation « ppm » signifie « parties par million massiques ». En d'autres termes, la teneur en ppm d'un élément est exprimée par rapport au poids total de l'alliage.

[0022] La présence de fer dans l'alliage d'aluminium de l'invention permet d'améliorer les propriétés mécaniques par rapport à la résistance à la rupture, tout en maintenant une bonne conductivité électrique.

[0023] L'alliage d'aluminium de l'invention peut comprendre au moins 1000 ppm en poids de fer, de préférence de 1500 ppm à 4000 ppm en poids de fer, et de préférence encore de 2500 ppm à 3500 ppm en poids de fer.

[0024] La présence du cuivre dans l'alliage d'aluminium de l'invention permet d'améliorer les propriétés mécaniques par rapport à la résistance au fluage à chaud, tout en maintenant une bonne conductivité électrique. Un alliage possédant une bonne résistance au fluage à chaud résiste à la déformation sous des contraintes mécaniques de long terme à des températures élevées.

[0025] L'alliage d'aluminium de l'invention peut comprendre de 500 ppm à 3500 ppm en poids de cuivre, de préférence de 1200 ppm à 2200 ppm en poids de cuivre.

[0026] Selon un mode de réalisation préféré, l'alliage d'aluminium de l'invention peut comprendre de 1500 ppm à 4000 ppm en poids de fer et de 500 ppm à 3500 ppm en poids de cuivre, et de préférence de 2500 ppm à 3500 ppm en poids de fer et de 1200 ppm à 2200 ppm en poids de cuivre.

[0027] Grâce à la présente invention, l'alliage d'aluminium du câble électrique, présente à la fois de bonnes propriétés électriques et de bonnes propriétés mécaniques.

[0028] En effet, l'erbium présent dans l'alliage d'aluminium de l'invention se combine notamment au fer et/ou au cuivre et/ou aux impuretés inévitables, pour « purifier » l'alliage d'aluminium et ainsi, augmenter sa conductivité électrique jusqu'à 5% IACS, voire plus.

[0029] La conductivité électrique de l'alliage d'aluminium de l'invention peut être d'au moins 59% IACS (*International Annealed Copper Standard*), de préférence d'au moins 61% IACS, et de préférence d'au moins 62% IACS.

[0030] Il est préférable que l'alliage d'aluminium de l'invention ne comprenne uniquement que de l'aluminium ; de l'erbium ; un élément choisi parmi le fer, le cuivre et leur mélange ; et des impuretés inévitables. En effet, si on rajoute d'autres éléments dans l'alliage, la conductivité électrique peut fortement baisser. Pour les applications électriques, il est important de conserver l'alliage d'aluminium le plus pur possible.

[0031] La teneur en aluminium de l'alliage de l'invention peut être d'au moins 95,00% en poids, de préférence d'au moins 98,00% en poids, de préférence d'au moins 99,00% en poids, de préférence d'au moins 99,50% en poids, et de préférence d'au moins 99,70% en poids.

[0032] La teneur en impuretés inévitables dans l'alliage d'aluminium selon l'invention peut être d'au plus 1,50% en poids, de préférence d'au plus 1,10% en poids, de préférence d'au plus 0,60% en poids, de préférence d'au plus 0,30% en poids, et de préférence d'au plus 0,10% en poids.

[0033] Dans la présente invention, on entend par « impuretés inévitables » la somme des éléments métalliques ou non métalliques compris dans l'alliage, hors aluminium, erbium, fer, cuivre, et éventuellement oxygène, lors de la fabrication dudit alliage.

[0034] Ces impuretés inévitables peuvent être par exemple un ou plusieurs des éléments suivants : Ag, Cd, Cr, Mg, Mn, Pb, Si, Ti, V, Ni, S, et/ou Zn.

[0035] Ces impuretés inévitables peuvent également être Y (yttrium) ou Zr (zirconium).

[0036] Dans le cadre de l'invention, l'élément électriquement conducteur allongé peut être un ou plusieurs brin(s) métallique(s) en alliage d'aluminium de l'invention.

[0037] De façon particulièrement préférée, l'élément électriquement conducteur allongé peut comprendre un assemblage de brins métalliques en alliage d'aluminium. Cet assemblage peut notamment former au moins une couche du type enveloppe continue, par exemple de section transversale circulaire ou ovale ou encore carrée.

[0038] Lorsque le câble électrique de l'invention comprend un élément allongé de renforcement, ledit assemblage peut être positionné autour de l'élément allongé de renforcement.

[0039] Les brins métalliques peuvent être de section transversale ronde, trapézoïdale ou en forme de Z.

[0040] Lorsque les brins sont de section transversale ronde, ils peuvent avoir un diamètre pouvant aller de 2,25 mm à 4,75 mm. Lorsque les brins sont de section transversale non ronde, leur diamètre équivalent en section ronde peut également aller de 2,25 mm à 4,75 mm.

[0041] Bien entendu, il est préférable que tous les brins constitutifs d'un assemblage aient la même forme et les mêmes dimensions.

[0042] Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, l'élément allongé de renforcement est entouré par au moins une couche d'un assemblage de brins métalliques en alliage d'aluminium de l'invention.

[0043] De préférence, les brins métalliques constitutifs d'au moins une couche d'un assemblage de brins métalliques en alliage d'aluminium de l'invention, sont aptes à conférer à ladite couche une surface sensiblement régulière, chaque brin constitutif de la couche pouvant notamment présenter une section transversale de forme complémentaire au(x) brin(s) qui lui est/sont adjacent(s).

[0044] Selon l'invention, par « brins métalliques apte à conférer à ladite couche une surface sensiblement régulière, chaque brin constitutif de la couche pouvant notamment présenter une section transversale de forme complémentaire au(x) brin(s) qui lui est/sont adjacent(s) », on entend que : la juxtaposition ou l'emboîtement de l'ensemble des brins constitutifs de la couche, forme une enveloppe continue (sans irrégularités), par exemple de section circulaire ou ovale ou encore carrée.

[0045] Ainsi, les brins de section transversale en forme de Z ou en forme de trapèze permettent d'obtenir une enveloppe régulière contrairement aux brins de section transversale ronde. En particulier, des brins de section transversale en forme de Z sont préférés.

[0046] De manière encore plus préférée, ladite couche formée par l'assemblage des brins métalliques présente une section transversale en forme d'anneau.

[0047] L'élément allongé de renforcement peut être typiquement un élément composite ou métallique. A titre d'exemple, on peut citer des brins d'acier ou des brins composites d'aluminium dans une matrice organique.

[0048] L'élément électriquement conducteur allongé de l'invention peut être torsadé autour de l'élément allongé de renforcement, notamment lorsque ledit élément électriquement conducteur allongé est un assemblage de brins métalliques.

[0049] Un autre objet de l'invention est un procédé de fabrication d'un alliage d'aluminium comprenant de l'aluminium et des précipités d'erbium (Al_3Er), notamment pour son utilisation en tant qu'élément électriquement conducteur allongé pour un câble électrique, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

i. former un alliage d'aluminium en fusion, comprenant de l'aluminium (Al) ; de l'erbium (Er) (l'erbium n'étant pas sous forme de précipités) ; des impuretés inévitables ; et optionnellement un élément choisi parmi le fer, le cuivre et leur mélange ;

ii. couler l'alliage en fusion de l'étape i, pour obtenir un alliage brut de coulée ;

ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes suivantes :

iii. laminier l'alliage brut de coulée de l'étape ii, pour obtenir un alliage laminé ; et

iv. chauffer l'alliage laminé de l'étape iii, pour former des précipités d'erbium (Al_3Er).

[0050] Les inventeurs de la présente demande ont découvert de façon surprenante que la conductivité électrique de l'alliage obtenu à l'issue de l'étape de chauffage iv est augmentée. Ainsi, grâce au procédé de l'invention, et notamment grâce à l'étape de chauffage iv, il se forme suffisamment de précipités d'erbium pour permettre l'augmentation de la conductivité électrique par rapport à un alliage qui ne contiendrait pas d'erbium. En outre, l'ajout du fer et/ou du cuivre dans l'alliage, associé aux étapes de laminage iii et de chauffage iv du procédé de l'invention, conduisent à un alliage présentant à la fois des propriétés mécaniques améliorées, notamment en termes de résistance au fluage à chaud et de résistance à la rupture, et une meilleure conductivité électrique.

[0051] Les précipités d'erbium (Al_3Er) formés au cours de l'étape iv du procédé de l'invention sont des précipités dits « secondaires » qui doivent être différenciés des précipités d'erbium dits « primaires » pouvant éventuellement se former après une étape de coulée. Ces précipités primaires sont très grossiers (i.e. ils présentent une taille moyenne allant de 0,5 à 10 μm) et ne sont pas sphériques contrairement aux précipités secondaires. Les précipités primaires ne permettent pas de former un alliage présentant une bonne conductivité. Seule l'étape iv permet de former des précipités d'erbium secondaires, ces derniers ayant une taille et une forme adéquates pour pouvoir améliorer les propriétés électriques de l'alliage de l'invention.

[0052] L'étape i peut être classiquement réalisée en incorporant un alliage mère (i.e. « master alloy » en anglais) comprenant de l'aluminium ; de l'erbium ; du fer et/ou du cuivre ; dans un bain d'aluminium fondu, sensiblement pur.

[0053] L'étape ii permet notamment de former, par refroidissement du brut de coulée (i.e. solidification), un alliage d'aluminium brut de coulée, notamment sous forme de barreau. La section transversale du barreau peut aller par exemple de 500 mm^2 à 2500 mm^2 , voire plus.

[0054] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape ii de coulée est réalisée à une température allant de 670°C à 850°C environ, et de préférence de 710°C à 780°C environ.

[0055] A titre d'exemple, l'étape de coulée peut être effectuée en continue, notamment à l'aide d'une roue en rotation, dite « de coulée ».

[0056] Le refroidissement (i.e. solidification du brut de coulée) est de préférence effectué de façon brutale, notamment en passant d'une température de 670°C-850°C environ à une température de 150°C environ en quelques minutes, soit en 1 à 15 min environ, et de préférence en 1 à 5 min environ.

[0057] Grâce à ce refroidissement très rapide, la formation de précipités primaires est évitée ou limitée. Ainsi, suite

à l'étape ii, on obtient une phase aluminium avec de l'erbium sur les sites de l'aluminium sans formation ou avec une formation limitée de précipités d'erbium primaires.

[0058] L'étape iii permet de laminier ledit alliage d'aluminium brut de coulée pour obtenir un alliage laminé.

[0059] Les étapes de coulée ii et de laminage iii permettent de contrôler la microstructure des précipités d'erbium dans ledit alliage en évitant la formation de gros précipités d'erbium (i.e. précipités primaires), et ainsi garantissent l'obtention d'un alliage d'aluminium présentant de bonnes propriétés mécaniques, notamment en terme de résistance à la rupture.

[0060] Ledit alliage laminé a une section transversale de préférence, ronde. Le diamètre de la section transversale peut aller par exemple, de 7 mm à 26 mm environ.

[0061] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape iii de laminage peut être réalisée à chaud, notamment à une température allant de 300 à 450°C environ.

[0062] L'étape iv de chauffage de l'alliage laminé permet quant à elle, de contrôler la microstructure des précipités d'erbium dans ledit alliage (i.e. formation de précipités secondaires) et également de former suffisamment de précipités d'erbium.

[0063] Par ailleurs, au cours de ladite étape iv, l'erbium peut se combiner notamment au fer et/ou au cuivre et/ou aux impuretés inévitables, pour « purifier » l'alliage d'aluminium de l'invention et ainsi, augmenter sa conductivité électrique jusqu'à 5% IACS, voire plus.

[0064] Selon un mode de réalisation particulier, les précipités d'erbium (Al_3Er) obtenus à l'issue de l'étape iv ont une taille moyenne strictement inférieure à 1 μm environ, et de préférence strictement inférieure à 0,5 μm environ.

[0065] Selon une forme de réalisation particulièrement préférée de l'invention, les précipités d'erbium (Al_3Er) obtenus à l'issue de l'étape iv ont une taille moyenne allant de 1 à 100 nm environ, et de préférence allant de 2 nm à 50 nm environ.

[0066] Selon un mode de réalisation particulier, les précipités d'erbium (Al_3Er) présents dans l'alliage d'aluminium sont sphériques.

[0067] Dans un mode de réalisation particulier, cette étape iv permet d'obtenir au moins 80 parties en poids d'erbium sous forme de précipités pour 100 parties en poids d'erbium dans l'alliage d'aluminium fabriqué selon le procédé de l'invention, et de préférence au moins 90 parties en poids d'erbium sous forme de précipités pour 100 parties en poids d'erbium dans l'alliage d'aluminium fabriqué selon le procédé de l'invention.

[0068] Cette étape iv peut être de préférence une étape dite « de revenu », bien connue de l'homme du métier.

[0069] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape iv est effectuée à une température allant de 150 à 450°C environ, et de préférence de 300 à 400°C environ.

[0070] Dans un mode de réalisation préféré, la durée de l'étape iv de chauffage va de 10 minutes à 48 heures environ, et de préférence de 10 heures à 18 heures environ.

[0071] Dans un mode de réalisation encore plus préféré, le chauffage selon l'étape iv peut être réalisé à l'aide d'un four électrique et/ou d'un four à induction et/ou d'un four à gaz.

[0072] Selon un mode de réalisation particulier, le procédé de fabrication de l'alliage d'aluminium de l'invention peut comprendre après l'étape iv, l'étape suivante :

v. travailler à froid l'alliage chauffé de l'étape iv pour obtenir un alliage travaillé à froid.

[0073] L'étape v de travail à froid peut être de préférence une étape de tréfilage, et permet notamment d'obtenir des brins (ou fils) métalliques d'alliage d'aluminium, notamment de section transversale ronde ou trapézoïdale ou en forme de Z. Le diamètre de la section transversale peut aller de 0,2 mm à 5,0 mm.

[0074] Selon un mode de réalisation particulier, le procédé de fabrication de l'alliage d'aluminium de l'invention peut comprendre après l'étape v, l'étape suivante :

vi. chauffer l'alliage de l'étape v, pour augmenter l'allongement mécanique de l'alliage.

[0075] Cette étape vi peut être de préférence une étape dite « de recuit », bien connue sous l'anglicisme « *annealing step* ».

[0076] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape vi est réalisée à une température allant de 200°C à 400°C.

[0077] Dans un mode de réalisation particulier, la durée de l'étape vi de chauffage va de 30 minutes à 10 heures environ.

[0078] L'étape de chauffage vi a pour but d'assouplir l'alliage travaillé à froid de l'étape v, c'est-à-dire d'éliminer une partie de la déformation provoquée notamment par l'étape de tréfilage v, sans modifier la microstructure des précipités d'erbium obtenue à l'issue de l'étape iv.

[0079] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape vi peut conduire à un alliage d'aluminium présentant une elongation à la rupture d'au plus 30%, et de préférence d'au plus 5%.

[0080] Le procédé de fabrication de l'alliage d'aluminium de l'invention est un procédé facile à mettre en oeuvre. De plus, il permet d'obtenir un alliage possédant à la fois de bonnes propriétés électriques et de bonnes propriétés méca-

niques.

[0081] Par ailleurs, il évite une ou plusieurs étapes contraignantes d'extrusion et de recuit, qui peuvent induire une dégradation des propriétés mécaniques de l'alliage (i.e. dégradation de la résistance maximale à la traction ou de la résistance à la rupture).

[0082] L'alliage d'aluminium décrit dans le procédé ci-dessus peut être celui tel que décrit dans le câble électrique de l'invention.

[0083] Selon une forme de réalisation préférée de l'invention, l'alliage d'aluminium décrit dans le procédé ci-dessus comprend du fer (Fe), et éventuellement du cuivre (Cu), et encore plus préférentiellement du fer (Fe) et du cuivre (Cu).

[0084] Un autre objet de l'invention est un alliage d'aluminium obtenu selon le procédé de fabrication d'un alliage d'aluminium comprenant de l'aluminium et des précipités d'erbium tel que défini ci-dessus.

[0085] Ledit alliage d'aluminium, obtenu à partir du procédé de fabrication d'un alliage d'aluminium comprenant de l'aluminium et de l'erbium (l'erbium n'étant pas sous forme de précipités), peut comprendre au moins 80 parties en poids d'erbium sous forme de précipités pour 100 parties en poids d'erbium dans ledit alliage, et de préférence au moins 90 parties en poids d'erbium sous forme de précipités pour 100 parties en poids d'erbium dans ledit alliage. Grâce à sa teneur élevée en précipités d'erbium, l'alliage d'aluminium présente des propriétés électriques améliorées.

[0086] Un autre objet de l'invention est un procédé de fabrication du câble électrique tel que décrit dans l'invention, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

a. fabriquer un élément électriquement conducteur allongé en alliage d'aluminium selon ledit procédé de fabrication mentionné ci-avant, et

b. positionner ledit élément électriquement conducteur allongé en alliage d'aluminium obtenu à l'étape a, autour de l'élément allongé de renforcement, pour former le câble électrique.

[0087] Plus particulièrement, lorsque l'élément électriquement conducteur allongé est un assemblage de brins métalliques d'alliage en aluminium, l'étape a consiste à obtenir lesdits brins métalliques, et l'étape b consiste à positionner les brins métalliques autour de l'élément de renforcement, de sorte à former au moins une couche desdits brins métalliques autour dudit élément de renforcement. De préférence, les brins métalliques sont torsadés autour dudit élément de renforcement.

[0088] Dans un mode de réalisation particulier, dans la couche formée autour dudit élément de renforcement, chaque brin métallique présente une section transversale de forme complémentaire au(x) brin(s) qui lui est adjacent, et étant apte à conférer à ladite couche une surface sensiblement régulière.

[0089] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lumière des exemples qui vont suivre en référence aux figures annotées, lesdits exemples et figures étant donnés à titre illustratif et nullement limitatif.

La figure 1 représente de manière schématique une structure, en coupe transversale, d'une première variante d'un câble électrique selon l'invention.

La figure 2 représente de manière schématique une structure, en coupe transversale, d'une seconde variante d'un câble électrique selon l'invention.

La figure 3 représente de manière schématique une structure, en coupe transversale, d'une troisième variante d'un câble électrique selon l'invention.

La figure 4 représente une vue par microscope électronique à balayage (MEB) d'un alliage ne faisant pas partie de l'invention comprenant de l'aluminium, de l'erbium, du cuivre et du fer.

La figure 5 représente une vue par microscope électronique à balayage (MEB) de l'alliage de l'invention comprenant de l'aluminium, de l'erbium, du cuivre et du fer.

[0090] Pour des raisons de clarté, les mêmes éléments ont été désignés par des références identiques. De même, seuls les éléments essentiels pour la compréhension de l'invention ont été représentés de manière schématique, et ceci sans respect de l'échelle.

[0091] La figure 1 représente une première variante d'un câble électrique de transmission électrique à haute tension du type OHL 100A selon l'invention, vue en coupe transversale, comprenant un élément électriquement conducteur allongé 10A composé de trois couches d'un assemblage de brins métalliques 1A d'alliage de l'invention. Ces trois couches entourent un élément central 20A allongé de renforcement. Les brins métalliques 1A constitutifs desdites couches ont une section transversale de forme ronde.

[0092] La figure 2 représente une seconde variante d'un câble électrique de transmission électrique à haute tension du type OHL 100B selon l'invention, vue en coupe transversale, comprenant un élément électriquement conducteur allongé 10B composé de deux couches d'un assemblage de brins métalliques 1B d'alliage de l'invention. Ces deux couches entourent un élément central 20B allongé de renforcement. Les brins métalliques 1B constitutifs desdites

couches ont une section transversale de forme trapézoïdale.

[0093] La figure 3 représente une troisième variante d'un câble électrique de transmission électrique à haute tension du type OHL 100C selon l'invention, vue en coupe transversale, comprenant un élément électriquement conducteur allongé 10C composé de deux couches d'un assemblage de brins métalliques 1C d'alliage de l'invention. Ces deux couches entourent un élément central 20C allongé de renforcement. Les brins métalliques 1C constitutifs desdites couches ont une section transversale en forme de Z (ou en de forme « S » selon l'orientation du Z). La géométrie des brins en forme de « Z » permet d'obtenir une surface quasiment dépourvue d'interstices pouvant générer des accumulations d'humidité et donc des pôles de corrosion.

[0094] L'élément central 20A, 20B, 20C allongé de renforcement représenté dans les figures 1, 2 et 3 peut être par exemple des brins d'acier 2A, 2B, 2C ou des brins composites 2A, 2B, 2C d'aluminium dans une matrice organique.

[0095] Dans des variantes de modes de réalisation représentés sur les figures 1 à 3, il est possible de modifier le nombre de brins 1A, 1B, 1C de chaque couche, leur forme, le nombre de couches ou encore le nombre de brins d'acier ou brins composites 2A, 2B, 2C, ainsi que la nature de l'aluminium.

[0096] Des essais comparatifs ont été réalisés pour montrer les propriétés électriques de l'alliage selon l'invention.

EXEMPLE 1

[0097] Pour ce faire, deux alliages A1 et A2 de l'invention ont été préparés selon le procédé de l'invention de la façon suivante.

[0098] Après avoir incorporé un alliage maître d'aluminium, d'erbium (l'erbium n'étant pas sous forme de précipités), de cuivre et de fer, dans un bain fondu d'aluminium pur à plus de 98,9% en poids, on mélange le tout pour homogénéiser l'aluminium pur et l'alliage maître, et ainsi former un alliage en fusion (étape i).

[0099] On coule ensuite l'alliage en fusion dans une filière cylindrique pour former un barreau d'un alliage dit « brut de coulée », que l'on solidifie par refroidissement en passant d'une température de 670°C-850°C à une température de 150°C en 1 min : le barreau cylindrique formé à un diamètre de 30 mm (étape ii).

[0100] On lamine à chaud le barreau cylindrique, directement formé à l'étape précédente, pour obtenir un barreau de plus petit diamètre, à savoir un barreau d'un diamètre de 9,5 mm (étape iii),

[0101] On chauffe le barreau de l'étape précédente à 350°C pendant 15h pour former des précipités d'erbium (étape iv).

[0102] On tréfile enfin à froid le barreau chauffé de l'étape précédente pour obtenir des fils d'alliage de l'invention (i.e. brins métalliques d'alliage de l'invention) de 3 mm de diamètre (étape v).

[0103] Chacun des alliages de l'invention comprend au plus 1,1% en poids d'impuretés inévitables.

[0104] Le tableau 1 ci-dessous rassemble les teneurs en erbium, cuivre et fer, de chacun des alliages d'aluminium A1 et A2 conformes à l'invention, ainsi que la conductivité électrique des fils d'alliage obtenus.

[0105] Le tableau 1 comprend également quatre alliages comparatifs A01, A02, A03 et A04 ne faisant pas partie de l'invention puisque A01 ne comprend pas d'erbium, A02 ne comprend pas de cuivre et de fer, et A03 et A04 n'ont pas subi d'étape de chauffage conformément à l'étape iv du procédé de l'invention.

[0106] L'alliage A01 est commercialisé sous la référence Al1120 par la société Nexans.

[0107] L'alliage A02 est obtenu selon le procédé décrit dans CN 101418401 (procédé ne comprenant pas les étapes iii et iv).

TABLEAU 1

Alliage	Teneur en erbium (en ppm)	Teneur en cuivre (en ppm)	Teneur en fer (en ppm)	Conditions chauffage de l'étape iv	Conductivité électrique (%IACS)
A1	1000	1700	3000	350°C, 15h	61,1
A2	3000	1700	3000	350°C, 15h	62,0
A01	-	1700	3000	-	59,1
A02	2000/4000	-	-	-	60,9/60,8
A03	1000	1700	3000	-	58,7
A04	3000	1700	3000	-	59,7

[0108] Ainsi, la présence d'erbium dans l'alliage de l'invention améliore sa conductivité électrique, notamment grâce à l'étape de chauffage iv du procédé de l'invention qui permet de former suffisamment de précipités d'erbium ayant une microstructure contrôlée.

[0109] Par ailleurs, l'ajout de fer et de cuivre permet de maintenir de bonnes propriétés de conductivité électrique, voire de les améliorer, tout en obtenant de meilleures propriétés mécaniques, notamment en termes de résistance au fluage à chaud et de résistance à la rupture.

[0110] Un alliage A05 non conforme à l'invention a été préparé selon le procédé tel que décrit ci-dessus, excepté qu'il n'a pas subi d'étape de chauffage et qu'il comprenait 3000 ppm en poids d'erbium, 1500 ppm en poids de cuivre et 2500 ppm en poids de fer. L'alliage A05 ne fait pas partie de l'invention puisqu'il n'a pas subi d'étape de chauffage conformément à l'étape iv du procédé de l'invention.

[0111] La figure 4 annexée montre une vue par MEB dudit alliage A05 (i.e. après l'étape ii de coulée/solidification). Sur cette figure 4, on peut voir d'une part, des précipités d'erbium avec des impuretés inévitables (11% d'erbium) et d'autre part, des précipités d'erbium avec du fer (1,3% de fer et 0,9% d'erbium).

[0112] Ces précipités sont des précipités primaires qui peuvent se former au cours de la solidification. Ils sont peu nombreux, très grossiers (i.e. ils présentent une taille moyenne allant de 0,5 à 10 μm), et ne sont pas sphériques contrairement aux précipités secondaires qui se formeraient si l'alliage A05 subissait une étape de chauffage conformément à l'étape iv du procédé de l'invention.

[0113] Un alliage A3 de l'invention a été préparé selon le procédé tel que décrit ci-dessus sauf en ce qui concerne l'étape de chauffage qui a été réalisée à 350°C pendant 2 heures, ledit alliage A3 comprenant 3000 ppm en poids d'erbium, 1700 ppm en poids de cuivre et 3000 ppm en poids de fer.

[0114] La figure 5 annexée montre une vue par MEB dudit alliage A3 après l'étape iv de chauffage. Les précipités d'erbium obtenus sont de taille moyenne de l'ordre de 22 nm (i.e. formation de précipités secondaires) et sont sous forme sphérique.

EXEMPLE 2

[0115] Deux autres alliages A4 et A5 de l'invention ont été préparés selon le procédé de l'invention et tel que décrit dans l'exemple 1.

[0116] Le tableau 2 ci-dessous rassemble les teneurs en erbium, cuivre et fer, de chacun des alliages d'aluminium A4 et A5 conformes à l'invention, ainsi que la conductivité électrique des fils d'alliage obtenus.

[0117] Le tableau 2 comprend également deux alliages comparatifs A06 et A07 ne faisant pas partie de l'invention puisque A06 ne comprend pas d'erbium et A07 n'a pas subi d'étape de chauffage conformément à l'étape iv du procédé de l'invention.

[0118] L'alliage A06 est commercialisé sous la référence Al1350 par la société Nexans.

TABLEAU 2

Alliage	Teneur en erbium (en ppm)	Teneur en cuivre (en ppm)	Teneur en fer (en ppm)	Conditions chauffage de l'étape iv	Conductivité électrique (%IACS)
A4	1000	-	1000	350°C, 2h	62,9
A5	1000	-	1000	350°C, 15h	63,0
A06	-	-	1000	-	62,5
A07	1000	-	1000	-	61,2

[0119] Ainsi, les résultats du tableau 2 montrent que l'étape iv de chauffage est nécessaire pour permettre de maintenir une bonne conductivité électrique d'un alliage comprenant de l'erbium et du fer.

Revendications

- Câble électrique (100A, 100B, 100C) comprenant un élément électriquement conducteur (10A, 10B, 10C) allongé en alliage d'aluminium comprenant de l'aluminium (Al) et des précipités d'erbium (Al_3Er), **caractérisé en ce que** ledit alliage d'aluminium comprend en outre un élément choisi parmi le fer (Fe), le cuivre (Cu) et leur mélange ; et des impuretés inévitables.
- Câble électrique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'alliage d'aluminium comprend au moins 100 ppm en poids d'erbium.

3. Câble électrique selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'alliage d'aluminium comprend au plus 10000 ppm en poids d'erbium.
- 5 4. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les précipités d'erbium (Al_3Er) ont une taille moyenne strictement inférieure à 1 μm .
5. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les précipités d'erbium (Al_3Er) ont une taille moyenne allant de 1 à 100 nm.
- 10 6. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'alliage d'aluminium comprend de 1500 ppm à 4000 ppm en poids de fer.
7. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'alliage d'aluminium comprend de 500 ppm à 3500 ppm en poids de cuivre.
- 15 8. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'alliage d'aluminium comprend au moins 98,00% en poids d'aluminium.
- 20 9. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'élément électriquement conducteur comprend un assemblage de brins métalliques (1A, 1B, 1C).
10. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre un élément (20A, 20B, 20C) allongé de renforcement.
- 25 11. Câble électrique selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** l'élément (20A, 20B, 20C) allongé de renforcement est entouré par ledit élément électriquement conducteur (10A, 10B, 10C) allongé en alliage d'aluminium.
12. Câble électrique selon la revendication 10 ou 11, **caractérisé en ce que** l'élément électriquement conducteur (10A, 10B, 10C) allongé en alliage d'aluminium est torsadé autour de l'élément (20A, 20B, 20C) allongé de renforcement.
- 30 13. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** est un câble aérien de transport d'énergie (câble OHL).
- 35 14. Procédé de fabrication d'un alliage d'aluminium comprenant de l'aluminium (Al) et des précipités d'erbium (Al_3Er), ledit procédé comprenant les étapes suivantes :
 - i. former un alliage d'aluminium en fusion comprenant de l'aluminium ; de l'erbium ; des impuretés inévitables ; et optionnellement un élément choisi parmi le fer (Fe), le cuivre (Cu) et leur mélange ;
 - 40 ii. couler l'alliage en fusion de l'étape i, pour obtenir un alliage brut de coulée ; ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre les étapes suivantes :
 - iii. laminier l'alliage brut de coulée de l'étape ii, pour obtenir un alliage laminé ; et
 - iv. chauffer l'alliage laminé de l'étape iii, pour former des précipités d'erbium.
- 45 15. Procédé selon la revendication 14, **caractérisé en ce qu'il** comprend après l'étape iv, l'étape suivante :
 - v. travailler à froid l'alliage chauffé de l'étape iv, pour obtenir un alliage travaillé à froid.
16. Procédé selon la revendication 15, **caractérisé en ce qu'il** comprend après l'étape v, l'étape suivante :
 - 50 vi. chauffer l'alliage de l'étape v, pour augmenter l'allongement mécanique de l'alliage.
17. Procédé de fabrication d'un câble électrique selon l'une des revendications 10 à 13, **caractérisé en ce qu'il** comprend les étapes suivantes :
 - 55 a. fabriquer un alliage d'aluminium selon le procédé de fabrication tel que défini dans l'une quelconque des revendications 14 à 16, pour obtenir ledit élément électriquement conducteur (10A, 10B, 10C) allongé en alliage d'aluminium, et
 - b. positionner ledit élément électriquement conducteur (10A, 10B, 10C) allongé obtenu à l'étape a, autour de

EP 2 853 613 A1

l'élément (20A, 20B, 20C) allongé de renforcement, pour former le câble électrique (100A, 100B, 100C).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

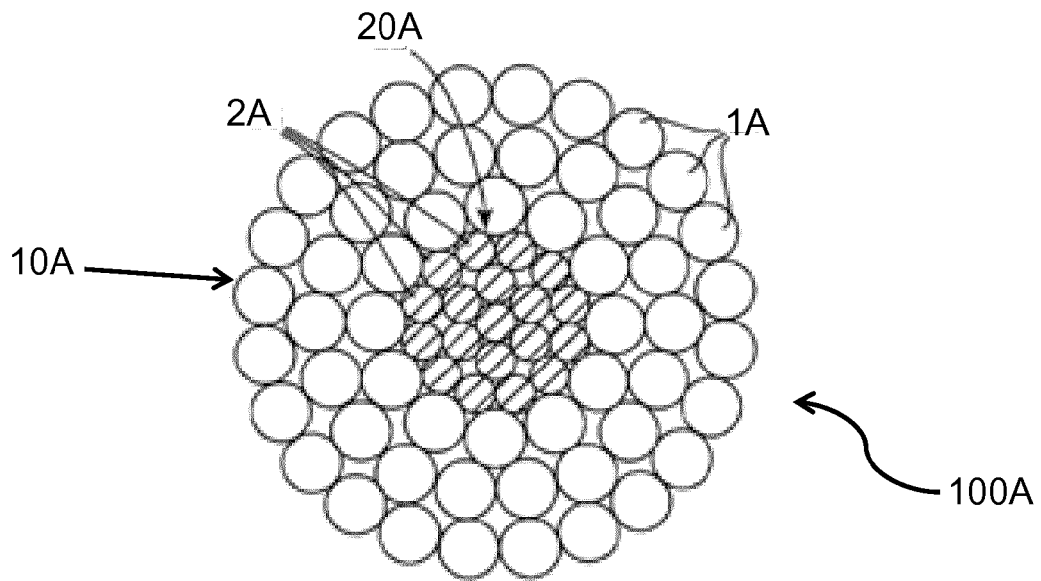


FIG. 1

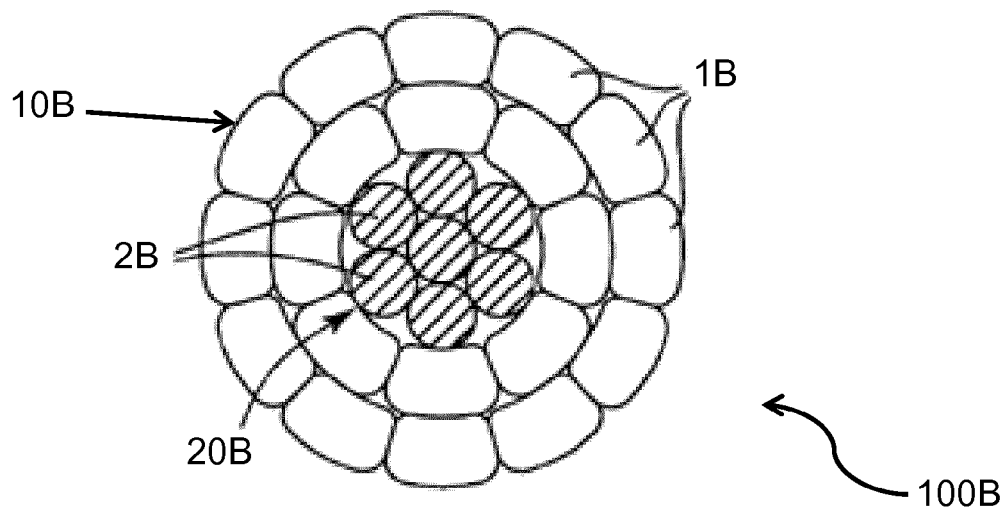


FIG. 2

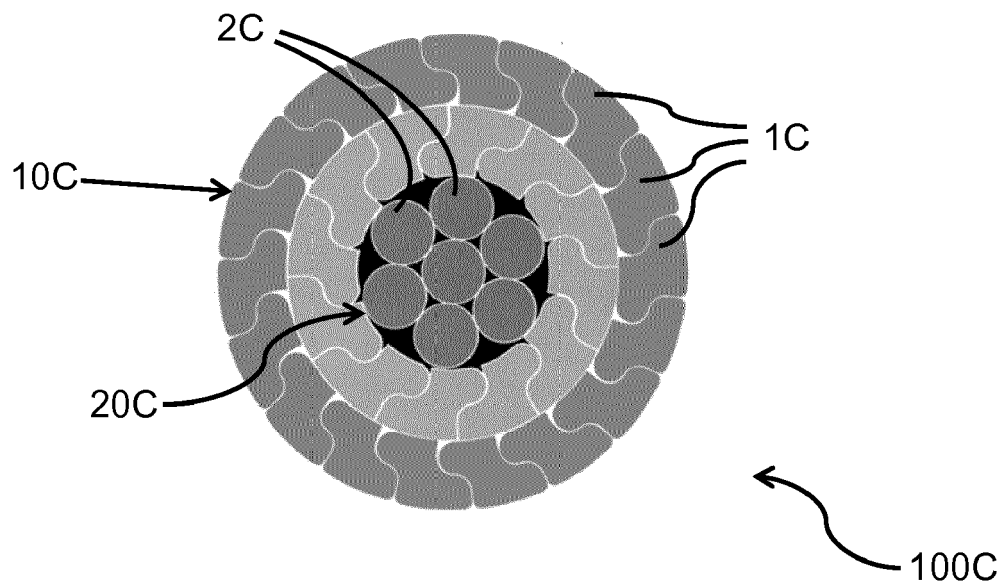


FIG.3

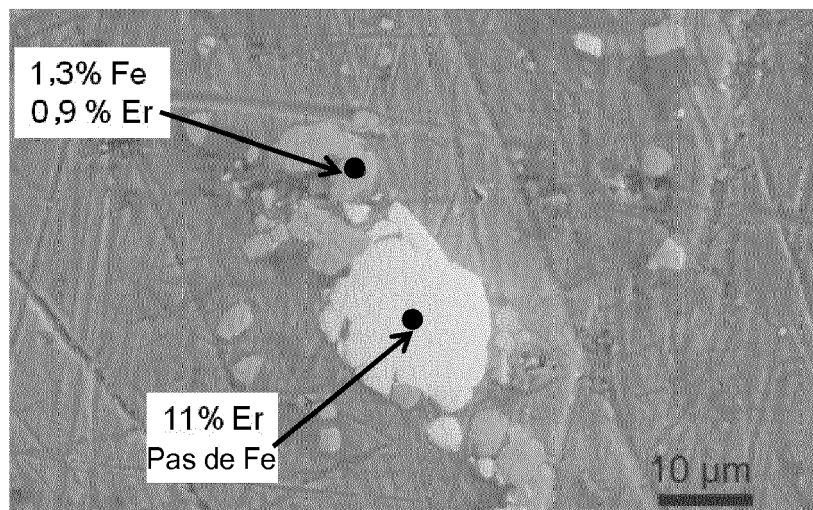


FIG.4

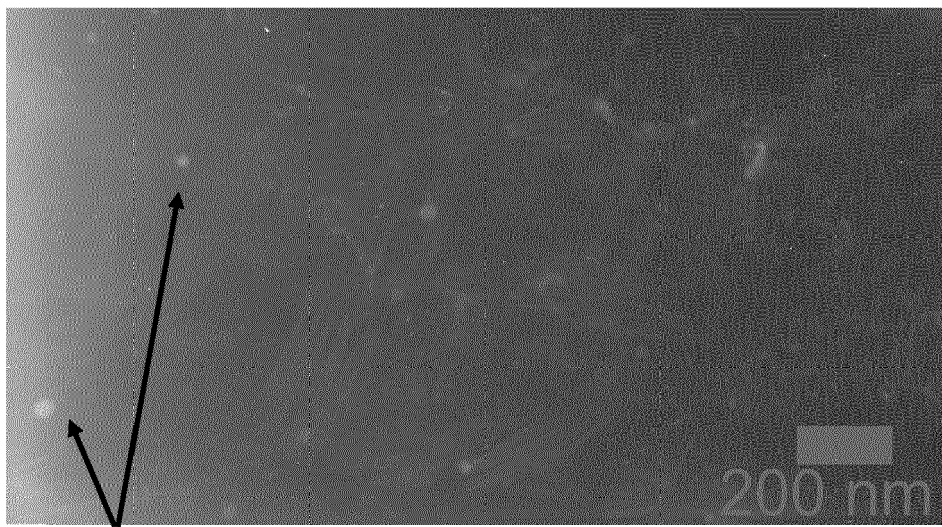


FIG.5



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 14 18 6345

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	CN 102 363 849 A (UNIV NORTH CHINA ELEC POWER) 29 février 2012 (2012-02-29)	1-13	INV. C22C21/00 H01B1/02 H01B1/22
Y	* le document en entier *	17	
A		14-16	

X	CN 102 230 113 A (UNIV CENTRAL SOUTH) 2 novembre 2011 (2011-11-02)	1-13	
Y	* revendications 1,2,4; figure 1; exemples 1-3 *	17	
A		14-16	

X	CN 102 816 960 A (UNIV NORTH CHINA ELEC POWER) 12 décembre 2012 (2012-12-12)	1-13	
Y	* le document en entier *	17	
A		14-16	

X	CN 101 770 828 B (UNIV NORTH CHINA ELEC POWER) 8 juin 2011 (2011-06-08)	1-13	
Y	* revendication 1 *	17	
A		14-16	

A	K.A. Gschneider, Jr., F.W.Calderwood: "Al-Er (Aluminum-Erbium)" In: T. B. Massalski: "Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd Edition", 1 janvier 1990 (1990-01-01), ASM International, USA, XP002723011, ISBN: 0871704048 vol. 1, page 146, * page 146 *	1-3	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			C22C H01B
X,D	CN 101 418 401 B (UNIV BEIJING TECHNOLOGY [CN] UNIV BEIJING TECHNOLOGY) 8 septembre 2010 (2010-09-08)	14-16	
Y	* le document en entier *	17	
A		1-13	

	-/--		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		27 janvier 2015	Nikolaou, Ioannis
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 14 18 6345

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)
Y	US 3 813 772 A (ADAMS H) 4 juin 1974 (1974-06-04)	17	
A	* le document en entier * -----	1-16	
Y	US 5 243 137 A (GENTRY BOBBY C [US]) 7 septembre 1993 (1993-09-07)	17	
A	* le document en entier * -----	1-16	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		27 janvier 2015	Nikolaou, Ioannis
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 14 18 6345

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.

27-01-2015

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 102363849 A	29-02-2012	AUCUN	
CN 102230113 A	02-11-2011	AUCUN	
CN 102816960 A	12-12-2012	AUCUN	
CN 101770828 B	08-06-2011	AUCUN	
CN 101418401 B	08-09-2010	AUCUN	
US 3813772 A	04-06-1974	AUCUN	
US 5243137 A	07-09-1993	CA 2099164 A1	26-12-1993
		DE 576275 T1	26-05-1994
		DE 69301963 D1	02-05-1996
		DE 69301963 T2	05-09-1996
		EP 0576275 A1	29-12-1993
		JP H0652734 A	25-02-1994
		US 5243137 A	07-09-1993
		US 5374783 A	20-12-1994
		US 5554826 A	10-09-1996

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- CN 101418401 [0006] [0107]