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

(11) **EP 4 323 565 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
13.11.2024 Bulletin 2024/46

(21) Numéro de dépôt: **22722293.2**

(22) Date de dépôt: **11.04.2022**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
C25D 3/46 *(2006.01)* ***C25D 5/18*** *(2006.01)*
C25D 7/06 *(2006.01)* ***H01B 7/28*** *(2006.01)*

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
C25D 3/46; C25D 5/18; C25D 7/0607; H01B 7/2806

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2022/050678

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2022/219276 (20.10.2022 Gazette 2022/42)

(54) FILS ET CABLES ELECTRIQUES POUR APPLICATIONS SPATIALES

ELEKTRISCHE DRÄHTE UND KABEL FÜR RAUMANWENDUNGEN

ELECTRIC WIRES AND CABLES FOR SPACE APPLICATIONS

(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

(30) Priorité: **13.04.2021 FR 2103805**

(43) Date de publication de la demande:
21.02.2024 Bulletin 2024/08

(73) Titulaire: **AXON CABLE**
51210 Montmirail (FR)

(72) Inventeurs:
- **YU, Ning**
  51210 MONTMIRAIL (FR)
- **DE JESUS, Aurélie M**
  51210 MONTMIRAIL (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)

(56) Documents cités:
CN-A- 102 286 762 **CN-A- 103 436 931**
CN-A- 109 295 445 **CN-A- 112 323 106**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 4 323 565 B1

Description

Domaine Technique

[0001] La présente invention concerne des fils et câbles électriques contenant un conducteur en cuivre ou en alliage de cuivre revêtu d'une couche d'argent et ayant une tenue renforcée à l'oxydation et à la corrosion. En particulier, ces fils et câbles peuvent être utilisés pour les applications spatiales.

Technique antérieure

[0002] La norme ESCC (European Space Components Coordination) N°3901 (mai 2013) définit une famille de fils et câbles électriques pour applications spatiales.

[0003] Etant composés de conducteurs en cuivre ou en alliage de cuivre revêtus d'une couche d'argent, ci-après conducteurs SPC (Silver Plated Copper), soit en âme centrale, soit en blindage électromagnétique, ces fils et câbles sont appelés ci-après fils SPC et câbles SPC respectivement. Le document CN109295445 décrit un procédé de fabrication d'un fil d'ébauche en cuivre argenté.

[0004] Afin de classer les conducteurs électriques suivant leur section, un protocole de standardisation AWG (American Wire Gauge) est établi dans la norme ASTM B258 (avril 2002). Cette norme définit explicitement la façon de construire un conducteur en termes de nombre de brins. Les conducteurs SPC présentés dans la présente invention sont régis également par ladite norme.

[0005] Ladite norme ESCC-3901 stipule également une épaisseur du revêtement d'argent minimale de 2 μm sur tous les conducteurs SPC, à la différence de la majorité des applications où les conducteurs SPC sont revêtus de 1 μm d'argent minimal suivant la norme ASTM B298 (décembre 2017). La raison de ce redoublement de l'épaisseur d'argent est liée aux exigences de l'application spatiale où la protection de systèmes électriques et électroniques contre la corrosion est d'extrême importance.

[0006] C'est la raison pour laquelle ladite norme ESCC-3901 impose un test de contrôle dit Antony & Brown, ci-après test A&B, sur les conducteurs SPC contenus dans les fils et câbles SPC afin de garantir la qualité du revêtement d'argent. Faisant l'objet de la norme ECSS-Q-ST-70-20C (Juillet 2008), ce test A&B est au fond un test de corrosion permettant de déterminer le niveau de la résistance de conducteurs SPC à la corrosion dite « peste rouge », ou « red plague » en anglais, qu'on peut interpréter comme l'oxydation du cuivre. Comme décrit en détail dans ladite norme, dans ce test un échantillon de conducteur SPC dénudé d'isolant de 20 mm est placé dans un récipient dans lequel règne une atmosphère riche en oxygène à l'aide d'un flux d'oxygène continu. L'ensemble est soumis à une température de 58°C pendant 240 heures soit 10 jours entiers. Après cette épreuve on procède à une inspection microscopique avec agrandissement x20 et on détermine l'état de l'oxydation de l'échantillon en attribuant un code qui s'échelonne à 6 niveaux, comme expliqués dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1

Code	Etat de surface	Niveau de l'oxydation
0	Aucun défaut	
1	Défaut mineur	Un point sur 1-2 deux brins adjacents
2	Défaut mineur	Corrosion faible sur 2-8 brins adjacents à un endroit sur la longueur de l'échantillon.
3	Défaut mineur	Corrosion faible sur 2-8 brins adjacents à peu d'endroits sur la longueur de l'échantillon.
4	Défaut majeur	Corrosion modérée sur 2-10 brins adjacents à plusieurs endroits sur la longueur de l'échantillon.
5	Défaut majeur	Corrosion sévère affectant plus de 50% de brins sur la longueur de l'échantillon.

[0007] Ladite norme sanctionne strictement tout échantillon des codes 4 et 5, c'est-à-dire présentant un défaut majeur de corrosion par oxydation du cuivre ou alliage de cuivre.

[0008] Compte tenu de la durée du test A&B, dans la pratique pour pouvoir effectuer le contrôle de qualité pendant la fabrication de conducteurs SPC on utilise un autre test dit Polysulfure qui est plus court en temps. Faisant l'objet de la norme ISO 10308 (janvier 2006), le test Polysulfure consiste à immerger un conducteur SPC dans une solution de polysulfure de sodium pendant 30 secondes, puis à le rincer et le sécher. On procède ensuite à un examen binoculaire avec agrandissement de x10. On considère que le test est bon quand aucun point de corrosion sur le conducteur n'est observé (résistance à l'oxydation).

[0009] La fabrication de fils et câbles SPC comprend plusieurs étapes en général. La première étape consiste à réaliser une électrodéposition (ou déposition électrolytique) d'argent, plus souvent appelée argenture, sur des fils ronds dits ébauches en cuivre ou en alliage de cuivre. L'opération est en continu, appelée parfois « reel to reel » (« bobine-bobine »). Plus précisément, plusieurs fils en tant que cathode défilent dans un bain électrolytique d'argenture dans lequel est installée une anode en argent pur. Lors de l'opération un générateur électrique délivre un courant continu entre la cathode et l'anode. Ce courant génère une électrolyse permettant de façon simultanée de dissoudre d'une part l'anode d'argent et de déposer d'autre part un revêtement d'argent sur les fils défilants.

[0010] La seconde étape est dite tréfilage qui consiste à réduire par force mécanique et à froid le diamètre d'un fil ébauche argenté. On utilise une machine dite tréfileuse contenant un jeu de 5 à 30 filières suivant le besoin, dont les diamètres diminuent progressivement. Les fils argentés après le tréfilage sont appelés brins SPC, qui seront utilisés pour constituer soit un toron conducteur SPC soit un blindage électromagnétique SPC (tressé ou hélicoïdal).

[0011] La troisième étape dite toronnage est la mise en oeuvre d'un conducteur SPC proprement dit. En utilisant une machine dite « strander » on assemble un nombre précis de brins SPC suivant un des modes de construction défini dans la norme ASTM B258.

[0012] La quatrième étape dite isolation consiste à mettre une couche de diélectrique autour d'une âme conductrice SPC pour obtenir un fil électrique SPC. Les matériaux diélectriques utilisés ici sont en général à la base des polytétrafluoroéthylène (PTFE), éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE) et polyimide, tous qualifiés par la norme ESCC3901. L'opération se réalise soit par extrusion pour les PTFE et ETFE, soit par rubanage pour les PTFE et polyimide en forme de ruban. Dans certains cas, ces fils SPC sont revêtus d'une fine couche de finition, appelée parfois coating, à base de polyimide afin de les doter de fonctions complémentaires, par exemple la coloration. La mise en oeuvre de cette couche de finition solide se réalise en général à partir d'un liquide polyimide à l'aide d'un ou plusieurs passages dans un four de 250°C à 500°C suivant le besoin.

[0013] La cinquième étape dite assemblage met en paquet torsadé plusieurs (de 2 à 4) fils électriques par toronnage afin d'obtenir un sous-ensemble de fils électriques SPC.

[0014] La sixième étape dite tressage ou guipage consiste à mettre en oeuvre une couche de brins SPC autour d'un sous-ensemble de fils électriques. Cette couche de tresse ou guipage, souvent appelée de blindage, forme un écran de protection contre des perturbations électromagnétiques.

[0015] La septième étape dite gainage permet de finaliser la fabrication de câble SPC en mettant autour d'un sous-ensemble de fils blindé une gaine de protection. Les matériaux de gaine sont des PTFE, ETFE, perfluoroalkoxy (PFA) et polyimide, tous qualifiés de la norme ESCC3901. L'opération se réalise soit par extrusion pour les PTFE, PFA et ETFE, soit par rubanage pour les PTFE et Polyimide en forme de ruban.

[0016] L'ensemble des étapes de fabrication peut être récapitulé ci-dessous :

- E1 : Argenture sur fils ébauches en cuivre ou en alliage de cuivre => fils ébauches argentés.
- E2 : Tréfilage de fil argenté => brin SPC.
- E3 : Assemblage de brins SPC => conducteur SPC.
- E4 : Rubanage ou extrusion de diélectrique (ETFE, PTFE, polyimide, ...) sur conducteur SPC => fil électrique SPC.
- E5 : Assemblage de plusieurs fils électriques => sous-ensemble.
- E6 : Tressage ou guipage de brins SPC sur sous-ensemble => sous-ensemble blindé
- E7 : Gainage de sous-ensemble blindé => câble SPC.

[0017] On sait que ces étapes de fabrication impliquant des contraintes thermiques et mécaniques peuvent avoir un impact sur la performance du revêtement d'argent en test A&B, notamment quand il s'agit dans ces étapes de fabrication des actions de traction, torsion, échauffement et autres. Plus importantes sont les amplitudes de ces paramètres opératoires (temps, force, pression, température,...), plus avancée est la détérioration de la performance du revêtement d'argent sur le conducteur SPC.

[0018] Les inventeurs ont découvert de façon surprenante qu'il est possible de remédier à ces dégradations en modifiant l'étape E1 de ce procédé, c'est à dire en utilisant un dépôt électrolytique d'argent par un courant pulsé avec inversion (CPI) au lieu d'un courant continu (CC). En effet à la différence de la déposition électrolytique sous CC où un courant électrolytique constant est délivré par un générateur électrique tout au long de l'argenture, celle sous CPI utilise un courant électrolytique discontinu et modulé sous forme d'une série d'impulsions cathodiques à une certaine fréquence donnée, chaque impulsion cathodique étant suivie d'une impulsion anodique. Les inventeurs se sont ainsi aperçus que l'électrodéposition sous CPI, lorsqu'elle est bien maîtrisée et donc dans des conditions précises, permettait d'optimiser au mieux la nucléation et la croissance du dépôt électrolytique et par conséquent d'améliorer la performance de conducteur SPC au test A&B. Il est ainsi même possible de diminuer l'épaisseur de la couche d'argent déposée sur le conducteur SPC à seulement 1 μm grâce au procédé selon l'invention tout en permettant audit conducteur SPC d'avoir une meilleure tenue au test A&B que les conducteur SPC standard (dont la couche d'argent est obtenue par dépôt électrolytique CC) dont l'épaisseur de la couche d'argent déposée est de 2 μm. En effet les inventeurs se sont aperçus

que le revêtement d'argent réalisé sous CPI présente un meilleur état de cristallisation, plus homogène et plus dense.

Exposé de l'invention

[0019] La présente invention concerne donc un procédé de fabrication d'un fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté dont l'épaisseur de la couche d'argent est comprise entre 1,5 μm et 15 μm, avantageusement entre 2 μm et 10 μm, comprenant l'étape de déposition électrolytique d'argent (électrodéposition) sur le fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre, ladite déposition électrolytique ayant lieu sous courant pulsé avec inversion (CPI) dans un bain d'argenture comprenant de 40 à 70 g/l, en particulier de 40 à 65 g/l, plus particulièrement de 45 à 60 g/l, de cyanure d'argent (AgCN) et de 90g/l à 150 g/l, en particulier de 90 à 140 g/l, plus particulièrement de 100 à 130 g/l, de cyanure de potassium (KCN), les conditions électrolytiques étant les suivantes :

- densité de courant moyenne Jm comprise entre 1,5 A/dm^2 et 15 A/dm^2, avantageusement entre 1,78 A/dm^2 et 10 A/dm^2, en particulier entre 1,78 A/dm^2 et 5 A/dm^2;
- fréquence d'impulsion f comprise entre 0,8 Hz et 1,6 Hz, avantageusement entre 0,8 Hz et 1,4 Hz, en particulier de 1 Hz ;
  rapport cyclique Q comprise entre 50 et 80%, avantageusement entre 55% et 65% ;
- densité de courant du pic cathodique Jc comprise entre 3 A/dm^2 et 11 A/dm^2, avantageusement entre 5 A/dm^2 et 10 A/dm^2, plus particulièrement entre 3 A/dm^2 et 8 A/dm^2, avantageusement entre 5 A/dm^2 et 7 A/dm^2, ;
- densité de courant du pic anodique Ja comprise entre 1 A/dm^2 et 5 A/dm^2, avantageusement entre 1,28 A/dm^2 et 4,2 A/dm^2, plus particulièrement entre 1,28 et 3,1 A/dm^2 encore plus particulièrement entre 1,28 et 2,16 A/dm^2;
- temps de maintien de l'impulsion cathodique Tc comprise entre 0,2 s et 0,8 s, avantageusement entre 0,55 s et 0,65 s et
- temps de maintien de l'impulsion anodique Ta comprise entre 0,06 s et 0,5 s, avantageusement entre 0,35 s et 0,45 s.

[0020] Au sens de la présente invention les termes « compris entre... et ... » ou « comprenant de ... à .... » incluent les valeurs des bornes.

[0021] Au sens de la présente invention, on entend par « fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté » tout fil rond, non utilisable directement dans un conducteur, en cuivre ou alliage de cuivre, revêtu d'une couche d'argent. En particulier le diamètre du fil d'ébauche est compris entre 0,1 et 1,5 mm en particulier entre 1mm et 0,2 mm. L'alliage de cuivre du fil d'ébauche selon l'invention peut être tout alliage utilisable de cuivre dans les fils d'ébauche tels qu'un alliage Cu-Be-Ni, dont la composition en % massique est par exemple Be : 0,2-0,6%, Ni : 1,4-2,2%, Cu : le solde ou un alliage Cu-Cr-Zr, dont la composition en % massique est par exemple Cr : 0,10-1,05%, Zr : 0,01-0,105%, Cu : le solde.

[0022] Au sens de la présente invention, on entend par « déposition électrolytique d'argent sous courant pulsé avec inversion » ou « déposition électrolytique d'argent sous CPI » toute déposition électrolytique d'argent ou électrodéposition d'argent ou argenture dans laquelle est utilisé un courant électrolytique discontinu et modulé sous forme d'une série d'impulsions cathodiques à une certaine fréquence donnée, chaque impulsion cathodique étant suivie d'une impulsion anodique, précédé ou non et/ou suivie ou non d'une période de repos, avantageusement ne présentant pas de période de repos. Ce mode de CPI est schématiquement présenté sur la figure 1 (densité de courant J en A/dm^2 en fonction du temps en s) dans laquelle T représente la période (en s), Tc représente le temps de maintien de l'impulsion cathodique (en s), Ta représente le temps de maintien de l'impulsion anodique (en s), Tr représente le temps de repos (en s), Jc représente la densité de courant du pic cathodique (en A/dm^2), Ja représente la densité de courant du pic anodique (en A/dm^2), Jm représente la densité de courant moyenne sur la période T (en A/dm^2).

[0023] La relation entre les ces différents paramètres répond à la formule suivante : $$Jm = \frac{(Jc\,Tc) - (Ja\,Ta)}{2Tr + Tc + Ta}$$.

[0024] Par ailleurs on définit comme rapport cyclique Q (en %) le ratio de la portion du temps de l'impulsion cathodique Tc sur la période T, selon la formule suivante : $$Q = \frac{Tc}{2Tr + Tc + Ta}$$

et la fréquence des impulsions f en Hz, selon la formule suivante : $$f = \frac{1}{T}$$

[0025] Le procédé selon l'invention permet donc de recouvrir le fil d'ébauche d'une couche d'argent continue d'une épaisseur comprise entre 1,5 μm et 15 μm, avantageusement entre 2 μm et 10 μm.

[0026] Dans un mode de réalisation avantageux, le procédé est un procédé continu. Ainsi, plusieurs fils d'ébauche, en particulier au moins 3 fils d'ébauche, plus avantageusement 5 fils d'ébauche, en tant que cathode, défilent dans le

bain électrolytique d'argenture dans lequel est installée une anode en argent pur. Lors de l'opération le générateur électrique, par exemple du type Harlor PE86CB-20-10-50S, délivre un courant discontinu entre la cathode et l'anode et modulé sous forme d'une série d'impulsions cathodiques à une certaine fréquence donnée, chaque impulsion cathodique étant suivie d'une impulsion anodique. Ce courant génère une électrolyse permettant de façon simultanée de dissoudre d'une part l'anode d'argent et de déposer d'autre part un revêtement d'argent sur les fils d'ébauche défilants.

[0027] De façon avantageuse, le bain électrolytique d'argenture est un bain électrolytique aqueux comprenant le cyanure d'argent et le cyanure de potassium. Il peut aussi comprendre des additifs tels qu'un additif de brillanteur, avantageusement en une concentration comprise entre 10 ml/l et 50 ml/l, en particulier de 19 ml/l. Le bain électrolytique peut être un bain de grande vitesse, avantageusement fonctionnant à partir de 3 A/dm^2.

[0028] La vitesse de défilement des fils peut être de 4,0 m/min.

[0029] La présente invention concerne en outre un fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté dont l'épaisseur de la couche d'argent est comprise entre 1,5 μm et 15 μm, avantageusement entre 2 μm et 10 μm, susceptible d'être obtenu par le procédé selon l'invention. Il est possible de distinguer ce fil d'ébauche argenté d'un fil d'ébauche argenté standard (obtenu par déposition électrolytique d'argent sous courant continu) en utilisant des moyens d'analyse très avancés tels que la microscopie électronique en transmission TEM (transmission electron microscopy) combinée avec la diffraction des rayons X en incidence rasante. En effet le revêtement d'argent réalisé sous CPI présente un meilleur état de cristallisation, est plus homogène et plus dense. Le fil d'ébauche est en particulier tel que décrit ci-dessus.

[0030] Avantageusement le fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté selon l'invention ne présente pas de défaut ou uniquement des défauts mineurs au test de A&B selon la norme ECSS-Q-ST-70-20C (Juillet 2008), en particulier il a le code 0, 1, 2 ou 3, plus particulièrement le code 0, 1 ou 2, encore plus particulièrement le code 0 ou 1, encore plus particulièrement le code 0, au test de A&B selon norme ECSS-Q-ST-70-20C.

[0031] Avantageusement le fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté selon l'invention ne présente pas de défaut au test polysulfure selon la norme ISO 10308 (janvier 2006), en particulier au test polysulfure plus sévère dans lequel le temps de trempe du fil dans la solution de polysulfure de sodium a été allongé à 20 minutes.

[0032] Avantageusement le fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté selon l'invention présente une bonne adhérence au test d'adhérence qui consiste à enrouler le fil autour de lui-même de 5 à 6 fois et ensuite à l'examiner sous observation binoculaire à un grandissement x10. On considère que l'adhérence n'est bonne que si aucune fissure ni aucun décollement sur le revêtement d'argent n'est décelé.

[0033] En particulier le diamètre du fil d'ébauche argenté selon l'invention est compris entre 0,1 mm et 1,5 mm.

[0034] La présente invention concerne de plus un procédé de fabrication d'un brin en cuivre ou en alliage de cuivre argenté dont l'épaisseur de la couche d'argent est comprise entre 1 μm et 1,5 μm comprenant l'étape de tréfilage du fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté selon l'invention.

[0035] L'étape de tréfilage selon l'invention permet de diminuer le diamètre du fil d'ébauche argenté selon l'invention. Avantageusement cette étape est réalisée à froid, avantageusement à température ambiante, en particulier par force mécanique, par exemple à l'aide d'une machine dite tréfileuse pouvant contenir un jeu de 5 à 30 filières suivant le besoin, avantageusement en diminuant le diamètre du fil d'ébauche d'au moins 6,6% (ratio entre le diamètre final du brin et le diamètre du fil d'ébauche), de façon avantageuse de façon à obtenir un brin de diamètre compris entre 0,063 mm et 0,254 mm.

[0036] La présente invention concerne de plus un brin en cuivre ou en alliage de cuivre argenté dont l'épaisseur de la couche d'argent est comprise entre 1 μm et 1,5 μm, en particulier entre 1 μm et 1,4 μm, plus particulièrement entre 1,1 μm et 1,3 μm. Avantageusement le brin argenté selon l'invention a un diamètre compris entre 0,063 mm et 0,254 mm, en particulier entre 0,079 mm et 0,2mm, plus particulièrement entre 0,1 mm et 0,2 mm.

[0037] Il est possible de distinguer ce brin argenté (ou brin SPC) d'un brin standard argenté (dont la couche d'argent a été obtenue par déposition électrolytique d'argent sous courant continu) en utilisant des moyens d'analyse très avancés tels que la microscopie électronique en transmission TEM (transmission electron microscopy) combinée avec la diffraction des rayons X en incidence rasante. En effet le revêtement d'argent réalisé sous CPI présente un meilleur état de cristallisation, est plus homogène et plus dense.

[0038] Avantageusement le brin argenté selon l'invention ne présente pas de défaut ou uniquement des défauts mineurs au test de A&B selon la norme ECSS-Q-ST-70-20C (Juillet 2008), en particulier il a le code 0, 1, 2 ou 3, plus particulièrement le code 0, 1 ou 2, encore plus particulièrement le code 0 ou 1, encore plus particulièrement le code 0, au test de A&B selon norme ECSS-Q-ST-70-20C.

[0039] Avantageusement le brin argenté selon l'invention ne présente pas de défaut au test polysulfure selon la norme ISO 10308 (janvier 2006), en particulier au test polysulfure plus sévère dans lequel le temps de trempe du brin dans la solution de polysulfure de sodium a été allongé à 20 minutes.

[0040] Avantageusement le brin argenté selon l'invention présente une bonne adhérence au test d'adhérence qui consiste à enrouler le brin autour de lui-même de 5 à 6 fois et ensuite à l'examiner sous observation binoculaire à un grandissement x10. On considère que l'adhérence n'est bonne que si aucune fissure ni aucun décollement sur le revêtement d'argent n'est décelé.

[0041] La présente invention concerne de plus un conducteur argenté (ou conducteur SPC) comprenant au moins un brin argenté selon l'invention, avantageusement dont tous les brins sont selon l'invention. Il s'agit en particulier d'un conducteur électrique.

[0042] De façon avantageuse, le conducteur selon l'invention est un conducteur monobrin ou multibrin, avantageusement un conducteur multibrin.

[0043] Dans un mode de réalisation particulier, le conducteur est multibrin. Il peut par exemple contenir 7, 19, 27, 37, 45, et 61 brins argentés selon l'invention et 7*7 brins argentés selon l'invention. Avantageusement le conducteur selon la présente invention contient 19 ou 37 brins argentés selon l'invention, encore plus avantageusement 19 brins argentés selon l'invention. Suivant le nombre de brins argentés selon l'invention, les assemblages suivant la norme ASTM B258 (avril 2002) peuvent être utilisés tels que par exemple tordons, concentriques (en particulier 19, 61 ou 37 brins argentés selon l'invention), Equilay, semi-concentriques, Unilay (en particulier 19 brins argentés selon l'invention) ou Ropelay (en particulier pour 7 * 7 brins argentés selon l'invention). Avantageusement le conducteur électrique contient 19 brins argentés selon l'invention assemblés en concentriques.

[0044] De façon avantageuse, le conducteur selon l'invention est obtenu par toronnage (ou assemblage) des brins argentés selon l'invention. Avantageusement le conducteur argenté (ou conducteur SPC) selon l'invention ne présente pas de défaut ou uniquement des défauts mineurs au test de A&B selon la norme ECSS-Q-ST-70-20C (Juillet 2008), en particulier il a le code 0, 1, 2 ou 3, plus particulièrement le code 1 ou 2, encore plus particulièrement le code 1, au test de A&B selon norme ECSS-Q-ST-70-20C.

[0045] Avantageusement le conducteur argenté selon l'invention ne présente pas de défaut au test polysulfure selon la norme ISO 10308 (janvier 2006), en particulier au test polysulfure plus sévère dans lequel le temps de trempe du conducteur dans la solution de polysulfure de sodium a été allongé à 20 minutes.

[0046] Avantageusement le conducteur argenté selon l'invention présente une bonne adhérence au test d'adhérence qui consiste à enrouler le conducteur autour de lui-même de 5 à 6 fois et ensuite à l'examiner sous observation binoculaire à un grandissement x10. On considère que l'adhérence n'est bonne que si aucune fissure ni aucun décollement sur le revêtement d'argent n'est décelé.

[0047] La présente invention concerne de plus une couche de blindage électromagnétique (tressée ou hélicoïdale) comprenant au moins un brin argenté selon l'invention, avantageusement dont tous les brins sont selon l'invention, en particulier destinée à un câble électrique.

[0048] De façon avantageuse, la couche de blindage selon l'invention est obtenue par assemblage hélicoïdal (ou guipage), des brins argentés selon l'invention.

[0049] La présente invention concerne de plus un fil électrique (ou fil électrique SPC) comprenant un conducteur argenté selon l'invention. Le fil électrique comprend en outre une couche d'isolation. Le matériau isolant utilisé pour la fabrication de la couche d'isolation est un matériau diélectrique c'est-à-dire qui ne conduit pas l'électricité. La fonction principale du diélectrique est de maintenir les performances d'isolation électrique entre le conducteur principal d'un câble et les éléments conducteurs (au potentiel de terre) pendant une durée de temps définie et dans un environnement défini.

[0050] Avantageusement les matériaux de la couche d'isolation sont tous qualifiés par la norme ESCC3901 (mai 2013). Avantageusement la couche d'isolation du fil électrique selon l'invention comprend du polytétrafluoroéthylène (PTFE), de l'éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE) et/ou du polyimide, en particulier du polyimide et/ou du PTFE, ladite couche étant avantageusement réalisée par extrusion ou par rubanage, tel que par extrusion pour PTFE et ETFE ou par rubanage pour PTFE et polyimide en forme de ruban. Le PTFE peut être en outre fritté afin de lui donner des propriétés mécaniques, thermiques et diélectriques optimisées, par exemple par passage au four à une température comprise entre 380°C et 475°C. La couche d'isolation est avantageusement obtenue par rubanage et peut par exemple consister en un ou plusieurs rubans, en particulier :

- 1 ruban en polyimide réalisée par exemple à 150 °C ou ;
- 2 rubans en polyimide, réalisée par exemple à 150 °C avec un recouvrement minimum de 51% ou ;
- 3 rubans, tel qu'un premier ruban en PTFE en particulier de 56 μm d'épaisseur, suivi d'un second ruban en polyimide en particulier de 25 μm d'épaisseur, puis d'un troisième ruban en PTFE en particulier de 50 μm d'épaisseur, tous avec par exemple un recouvrement de 50%.

[0051] De façon avantageuse le fil électrique selon l'invention comprend en outre une couche de finition sur la couche d'isolation, à base de polyimide, en particulier afin de doter les fils de fonctions complémentaires, par exemple la coloration. La mise en oeuvre de cette couche de finition se réalise en général à partir d'un polyimide liquide à l'aide d'un ou plusieurs passages, en particulier 3, dans un four de 250°C à 500°C suivant le besoin.

[0052] Des fils électriques selon l'invention sont par exemple illustrés dans les figures 2, 3 et 4.

[0053] Ainsi dans la figure 2 un conducteur selon l'invention (1), du type SPC 26-19x0.102C, où 26 désigne le AWG26, 19x0.102C la construction de 19 brins SPC selon l'invention de diamètre de 0,102 mm en concentrique, est recouvert

par deux rubans en polyimide (2,3) successifs réalisés à une température à 150°C et avec recouvrement de 51% minimum. Une couche de finition (4, 5, 6) en polyimide est appliquée en faisant passer 3 fois le fil rubané dans un liquide à base de polyimide et puis dans un four à 250°C. Le fil ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 0,80 mm et une masse linéaire de 2,00 g/m.

[0054] Dans la figure 3 un conducteur selon l'invention (1), du type SPC 22-19x0.160C, où 22 désigne le AWG22, 19x0.160C la construction de 19 brins SPC selon l'invention de diamètre de 0,160 mm en concentrique, est recouvert par un ruban en polyimide (2) réalisé à une température à 150°C. Une couche de finition (3, 4, 5) en polyimide est appliquée en faisant passer 3 fois le fil rubané dans un liquide à base de polyimide et puis dans un four à 250°C. Le fil ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 1 mm et une masse linéaire de 4,15 g/m.

[0055] Dans la figure 4 un conducteur selon l'invention (1), du type SPC 22-19x0.160C, où 22 désigne le AWG22, 19x0.160C la construction de 19 brins SPC selon l'invention de diamètre de 0,160 mm en concentrique, est recouvert successivement par 3 rubans (2,3,4), à savoir un premier ruban (2) en PTFE de 56 μm d'épaisseur, suivi d'un second ruban (3) en polyimide de 25 μm d'épaisseur, puis d'un troisième ruban (4) en PTFE de 50 μm d'épaisseur, tous avec recouvrement de 50%. Dans la pratique, afin de bien fritter le PTFE on procède en deux opérations de rubanage distinctes suivies chacune d'un passage dans un four de 475°C. Le fil ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 1,21 mm et une masse linéaire de 5,45 g/m.

[0056] Avantageusement le conducteur du fil électrique (ou fil électrique SPC) selon l'invention ne présente pas de défaut ou uniquement des défauts mineurs au test de A&B selon la norme ECSS-Q-ST-70-20C (Juillet 2008), en particulier il a le code 0, 1, 2 ou 3, plus particulièrement le code 1 ou 2, encore plus particulièrement le code 1, au test de A&B selon norme ECSS-Q-ST-70-20C.

[0057] Avantageusement le conducteur du fil électrique selon l'invention ne présente pas de défaut au test polysulfure selon la norme ISO 10308 (janvier 2006), en particulier au test polysulfure plus sévère dans lequel le temps de trempe du conducteur dénudé d'isolant dans la solution de polysulfure de sodium a été allongé à 20 minutes.

[0058] Le fil électrique selon l'invention peut avoir un diamètre compris entre 0,4 mm et 3,0 mm, avantageusement entre 0,5 et 1,5mm.

[0059] Le fil électrique selon l'invention est donc avantageusement obtenu par rubanage ou extrusion de diélectrique sur le conducteur argenté selon l'invention suivi d'une éventuelle application d'une couche de finition.

[0060] Ainsi, le procédé de fabrication du fil électrique selon l'invention peut comprendre les étapes successives suivantes :

a- déposition électrolytique d'argent sur un fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre, ladite déposition électrolytique ayant lieu sous courant pulsé avec inversion dans un bain d'argenture comprenant de 40 à 70 g/l de cyanure d'argent et de 90g/l à 150 g/l de cyanure de potassium, les conditions électrolytiques étant telles que décrites ci-dessus ;

b- tréfilage du fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté obtenu à l'étape a) ;

c- toronnage (ou assemblage) des brins argentés obtenus à l'étape b) ;

d- rubanage ou extrusion de diélectrique sur le conducteur obtenu à l'étape c), suivi d'une éventuelle application d'une couche de finition.

[0061] La présente invention concerne en outre un câble électrique (ou câble électrique SPC) comprenant au moins un fil électrique selon l'invention, avantageusement dont tous les fils électriques sont selon l'invention.

[0062] En particulier le câble électrique selon l'invention comprend une couche de blindage, en particulier métallique, et une gaine.

[0063] La couche de blindage permet de traiter les problèmes causés par les interférences électromagnétiques. Il existe une grande variété de modèles et configurations de la couche de blindage. Cette couche peut en particulier être tressée, enroulée sous forme de feuilles, une combinaison de feuilles et de tressage ou sous forme hélicoïdale.

[0064] Avantageusement, la couche de blindage du câble électrique selon l'invention est constituée par l'assemblage de brins de blindage selon l'invention, en particulier sous forme hélicoïdale ou tressée. Il s'agit donc avantageusement de la couche de blindage selon l'invention.

[0065] Avantageusement, la gaine comprend du polytétrafluoroéthylène, de l'éthylène tétrafluoroéthylène, du perfluoroalkoxy et/ou du polyimide, en particulier du perfluoroalkoxy, du polyimide et/ou du PTFE, ladite gaine étant avantageusement réalisée par extrusion ou par rubanage, tel que par extrusion pour perfluoroalkoxy, PTFE et ETFE ou par rubanage pour PTFE et polyimide en forme de ruban. Le PTFE peut être en outre fritté afin de lui donner des propriétés mécaniques, thermiques et diélectriques optimisées, par exemple par passage au four à une température comprise entre 380°C et 475°C. La gaine est avantageusement obtenue par rubanage et peut par exemple consister en un ou plusieurs rubans, en particulier 2 rubans, tel qu'un premier ruban en polyimide puis un deuxième ruban en PTFE, tous avec par exemple un recouvrement de 25%. Elle peut également être avantageusement obtenue par extrusion de PFA.

[0066] Un câble électrique selon l'invention est par exemple illustré dans les figures 5 et 6.

[0067] Ainsi dans la figure 5, un sous ensemble de 4 fils électriques selon l'invention, chacun d'entre eux constitué par un conducteur selon l'invention (1) du type SPC 22-19x0.160C et un ruban en polyimide (2, 3), est recouvert par une couche de blindage hélicoïdale de brins argentés selon l'invention du type SPC36-01x0.127 (5), elle-même recouverte par un ruban en polyimide (6) avec recouvrement de 25% et un ruban en PTFE (7) avec recouvrement également de 25%, suivi d'un passage dans un four à 380°C afin de fritter le ruban en PTFE. Le câble ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 3,10 mm et une masse linéaire de 26,0 g/m.

[0068] Ainsi dans la figure 6, un sous ensemble de 2 fils électriques selon l'invention (1), chacun d'entre eux constitué par un conducteur selon l'invention du type SPC 22-19x0.160C isolé successivement par 3 rubans, à savoir un premier ruban en PTFE de 56 μm d'épaisseur, suivi d'un second ruban en polyimide de 25 μm d'épaisseur, puis d'un troisième ruban en PTFE de 50 μm d'épaisseur, tous avec recouvrement de 50%, est recouvert par une couche de blindage électromagnétique (2) obtenue par tressage de brins argentés selon l'invention du type SPC40-01x0.079, elle-même recouverte par une gaine (3) en PFA obtenue par extrusion. Le câble ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 3,27 mm et une masse linéaire de 21,1 g/m.

[0069] Avantageusement le conducteur du câble électrique (ou câble électrique SPC) selon l'invention ne présente pas de défaut ou uniquement des défauts mineurs au test de A&B selon la norme ECSS-Q-ST-70-20C (Juillet 2008), en particulier il a le code 0, 1, 2 ou 3, plus particulièrement le code 2 ou 3, au test de A&B selon la norme ECSS-Q-ST-70-20C.

[0070] Avantageusement le conducteur du câble électrique selon l'invention ne présente pas de défaut au test polysulfure selon la norme ISO 10308 (janvier 2006), en particulier au test polysulfure plus sévère dans lequel le temps de trempe du conducteur dénudé d'isolant dans la solution de polysulfure de sodium a été allongé à 20 minutes.

[0071] Le câble électrique selon l'invention peut avoir un diamètre compris entre 1,00 mm et 10,0 mm, avantageusement entre 2,0 mm et 5,0 mm, plus avantageusement entre 0,5 mm et 4 mm, en particulier entre 0,5 mm et 1,5 mm.

[0072] Le câble électrique (ou câble électrique SPC) selon l'invention est donc avantageusement obtenu par un procédé comprenant les étapes successives suivantes :

- assemblage de plusieurs fils électriques selon l'invention de façon à obtenir un sous-ensemble ;
- assemblage de brins argentés selon l'invention sur le sous-ensemble de façon à obtenir un sous-ensemble blindé (en particulier une couche de blindage sur le sous-ensemble)
- gainage du sous-ensemble blindé.

[0073] Ainsi, le procédé de fabrication du câble électrique selon l'invention peut comprendre les étapes successives suivantes :

a- déposition électrolytique d'argent sur un fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre, ladite déposition électrolytique ayant lieu sous courant pulsé avec inversion dans un bain d'argenture comprenant de 40 à 70 g/l de cyanure d'argent et de 90g/l à 150 g/l de cyanure de potassium, les conditions électrolytiques étant telles que décrites ci-dessus ;
b- tréfilage du fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté obtenu à l'étape a) ;
c- toronnage (ou assemblage) des brins argentés obtenus à l'étape b) ;
d- rubanage ou extrusion de diélectrique sur le conducteur obtenu à l'étape c), suivi d'une éventuelle application d'une couche de finition ;
e- assemblage de plusieurs fils électriques obtenus à l'étape d) ;
f- assemblage de brins argentés obtenus à l'étape b) sur le sous-ensemble obtenu à l'étape e) ;
g- gainage du sous-ensemble blindé obtenu à l'étape f).

[0074] La présente invention concerne enfin l'utilisation du fil électrique selon l'invention ou du câble électrique selon l'invention dans le domaine de l'aérospatiale.

[0075] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description des figures et des exemples qui suivent qui sont donnés à titre indicatif non limitatif.

Brève description des dessins

[0076]

La figure 1 représente schématiquement le mode CPI (électrodéposition sous CPI) selon l'invention
La figure 2 représente un exemple de schéma de construction de fil électrique selon l'invention suivant la norme ESCC3901-001-24 (mai 2013) comprenant un conducteur selon l'invention (1) du type SPC 26-19x0.102C, deux rubans en polyimide (2,3) et une couche de finition (4,5,6).

La figure 3 représente un exemple de schéma de construction de fil électrique selon l'invention suivant la norme ESCC3901-001-24 (mai 2013) comprenant un conducteur selon l'invention (1) du type SPC 22-19x0.160C, un ruban en polyimide (2) et une couche de finition (3,4,5).

La figure 4 représente un exemple de schéma de construction de fil électrique selon l'invention suivant la norme ESCC3901-018-06 (mai 2013) comprenant un conducteur selon l'invention (1) du type SPC 22-19x0.16C, deux rubans en PTFE (2,4) et un ruban en polyimide (3).

La figure 5 représente un exemple de schéma de construction de câble électrique selon l'invention suivant la norme ESCC3901-002-70 (mai 2013) comprenant un sous ensemble de 4 fils électriques selon l'invention chacun d'entre eux constitué par un conducteur selon l'invention (1) du type SPC 22-19x0.160C et un ruban en polyimide (2, 3), le sous-ensemble étant recouvert par une couche de blindage hélicoïdale de brins argentés selon l'invention du type SPC36-01x0.127 (5), elle-même recouverte par un ruban en polyimide (6) et un ruban en PTFE (7).

La figure 6 représente un exemple de schéma de construction de câble électrique selon l'invention suivant la norme ESCC3901-018-53 (mai 2013) comprenant un sous ensemble de 2 fils électriques selon l'invention (1) chacun d'entre eux constitué par un conducteur selon l'invention du type SPC 22-19x0.160C isolé successivement par 3 rubans, à savoir un premier ruban en PTFE de 56 μm d'épaisseur, suivi d'un second ruban en polyimide de 25 μm d'épaisseur, puis d'un troisième ruban en PTFE de 50 μm d'épaisseur, tous avec recouvrement de 50%, le sous-ensemble étant recouvert par une couche de blindage électromagnétique (2) obtenue par tressage de brins argentés selon l'invention du type SPC40-01x0.079, elle-même recouverte par une gaine (3) en PFA obtenue par extrusion.

Exemples

Exemples 1 et 2 : Conducteurs SPC selon l'invention

[0077] L'argenture sous CPI a été réalisée dans un bain électrolytique aqueux dont la composition est de cyanure de potassium KCN à 100g/l, de cyanure d'argent AgCN à 45g/l et de l'additif brillanteur de 10 à 30 ml/l en utilisant un générateur Harlor PE86CB-20-10-50S capable de moduler les impulsions électriques dans une large gamme de paramètres opératoire. Un fil en cuivre de diamètre de 1,2 mm est pris en tant que substrat dans les essais (fil d'ébauche).

[0078] Un test polysulfure plus sévère que celui suivant la norme ISO 10308 a été mis en oeuvre sur le conducteur SPC obtenu : le conducteur dont la surface est revêtue d'une couche métallique a été mis à tremper dans une solution de polysulfure de sodium pendant 20 minutes, puis il a été rincé et séché. On procède ensuite à un examen binoculaire avec agrandissement de x10. On considère que le test est OK quand aucun point de corrosion sur le conducteur n'est observé.

[0079] Un test d'adhérence comme critère d'évaluation a également été mis en oeuvre sur le fil d'ébauche argenté obtenu. Ce dernier consiste à enrouler le fil en cuivre argenté autour de lui-même de 5 à 6 fois et ensuite à l'examiner sous observation binoculaire à un grandissement x10. On considère que l'adhérence n'est bonne que si aucune fissure ni aucun décollement sur le revêtement n'est décelé.

[0080] La performance du conducteur SPC obtenue au test A&B selon la norme ESCC 3901 a également été évaluée.

[0081] Un examen optique est également effectué. Ainsi, sous binoculaire (Motic SMZ-171) à grossissement x50, on observe l'aspect du conducteur : brillance, homogénéité, absence de gros grains. Il est dans ce cas indiqué comme OK.

[0082] L'épaisseur d'argent sur le conducteur SPC obtenu est mesurée par la méthode fluorescence X sur un appareil type Fischerscope XULM.

[0083] Les conditions du dépôt électrolytique et les résultats des tests sont rassemblés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2

Exemples		**1**	**2**
Jm	A/dm^2	1,78	1,78
f	Hz	1,54	0,8
Q	%	50	62
Tc	ms	325	738
Ta	ms	325	462
Jc	A/dm^2	5	5
Ja	A/dm^2	1,44	3,36
T	s	0,7	1,2

(suite)

Exemples		1	2
Adhérence		OK	OK
Epaisseur Ag	µm	1,14	1,2
Examen	Optique	OK	OK
polysulfure	20 min	OK	OK
A&B	Code	1	2
Nb d'échantillons	nombre	3	2

[0084] Les résultats obtenus ici, ont permis d'estimer que pour un bain d'argenture et les plages des paramètres CPI tel que décrit ci-dessus, on obtient une performance de dépôt d'argent relativement satisfaisante au test Polysulfure et au test A&B.

Exemples 3 et 4: Conducteurs SPC selon l'invention avec bain d'argenture de grande vitesse.

[0085] Sur la base des travaux des 2 exemples précédents et afin d'adopter un procédé d'argenture à l'échelle industrielle, en prenant une densité moyenne Jm à 1,78 A/dm^2, on effectue des essais d'argenture sous CPI dans un bain d'argenture dit de grande vitesse dont la composition est de cyanure de potassium KCN à 130g/l, de cyanure d'argent AgCN à 60 g/l et des traces d'additifs (un additif brillanteur de 10 à 30 ml/l).

[0086] Les mêmes tests qu'à l'exemple précédent, réalisés dans les mêmes conditions, ont été mis en oeuvre. Les conditions du dépôt électrolytique et les résultats des tests sont rassemblés dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3

Exemples		3	4
Jm	A/dm^2	1,78	1,78
F	Hz	1	1
Q	%	60	55
Tc	ms	600	550
Ta	ms	400	450
Jc	A/dm^2	5	5
Ja	A/dm^2	3,05	2,16
T	s	1	1
Adhérence		OK	OK
Epaisseur Ag	µm	1,20	1,15
Examen	Optique	OK	OK
polysulfure	20 min	OK	OK
A&B	Code	2	1
Nb d'échantillons	nombre	2	2

[0087] Les résultats confirment bien la faisabilité de l'argenture sous CPI dans un bain d'argenture plus rapide.

Exemple 5 : fil électrique selon l'invention.

[0088] Un essai d'argenture sous CPI à l'échelle industrielle en utilisant une ligne d'argenture type reel to reel (bobines/bobines) a été mis en oeuvre. Dans ce cas 5 fils en cuivre de diamètre de 0,254 mm sont argentés simultanément dans un bain d'argenture à grande vitesse similaire à celui des exemples 3 et 4 ci-dessus avec les paramètres opératoires

en CPI qui sont donnés dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4

Exemples		**5**
Jm	A/dm^2	5
f	Hz	1
Q	%	65
Tc	ms	650
Ta	ms	350
Jc	A/dm^2	7
Ja	A/dm^2	1,28
T	ms	1000

[0089] Il est à noter que les conditions d'argenture réelles ici ne sont pas tout à fait identiques à celles en laboratoire dans les exemples 3 et 4 précédents, car la ligne d'argenture utilisée en tant qu'équipement industriel présente de nombreux avantages : acceptant notamment une densité électrolytique plus importante et donnant lieu à un revêtement plus homogène en général.

[0090] Ces fils en cuivre argenté sont ensuite utilisés pour faire un conducteur SPC22-19x0.16C. Plus précisément, ils sont d'abord réduits en diamètre par une étape de tréfilage b) selon l'invention (tréfilage de 0,254 mm à 0,16 mm soit un taux de réduction de 63%, en utilisant 7 filières de tréfilage), puis assemblés par une étape de toronnage c) selon l'invention (19 brins de 0,16 mm en concentrique de AWG 22). A chaque étape on effectue le test d'adhérence, l'examen d'aspect et le test polysulfure avec des résultats concluants.

[0091] A partir de ce conducteur, un fil électrique SPC suivant la norme ESCC3901-018-06 (mai 2013), dont la construction est schématiquement présentée dans la figure 4 ci-dessous, est fabriqué.

[0092] Selon cette norme ESCC3901-018-06, le conducteur doit être isolé successivement par 3 rubans, à savoir un premier ruban en PTFE de 56 μm d'épaisseur, suivi d'un second ruban en polyimide de 25 μm d'épaisseur, puis d'un troisième ruban en PTFE de 50 μm d'épaisseur, tous avec recouvrement de 50%. Dans la pratique, afin de bien fritter le PTFE on procède en deux opérations de rubanage distinctes (rubanage I pour le premier ruban de PTFE et rubanage II pour le ruban de polyimide suivi du deuxième ruban de PTFE) suivies chacune d'un passage dans un four de 475°C. Le frittage du PTFE ici est indispensable, permettant de donner au PTFE les propriétés mécaniques, thermiques et diélectriques optimisées pour que le fil électrique soit conforme à ladite norme.

[0093] Comme évoqué précédemment, l'impact thermique est en général considéré comme la principale cause de la dégradation de la performance au test A&B d'un fil électrique SPC. Le choix d'un fil ESCC3901-018-06 semble pertinent afin d'évaluer l'amélioration pouvant être apportée par l'argenture en CPI, car la fabrication de celui-ci, impliquant une des températures les plus élevées de frittage, est la plus critique parmi tous les fils électriques SPC de la norme ESCC3901.

[0094] Un ensemble de données concernant la fabrication du conducteur SPC22-19x0.160C et du fil ESCC3901-018-06, ainsi que les épaisseurs d'argent et les codes du test A&B mesurés à chaque étape de fabrication, est donné dans le tableau 5 ci-après. Le fil électrique obtenu présente un diamètre de 1,21 mm et une masse linéaire de 5,45 g/m.

Tableau 5

Etape fabrication	**Réf conducteur/fil**	**Epaisseur argent en μm**	**Code test A&B**
a-Argenture	SPC30-01x0.254	1,67	0
b-Tréfilage	SPC34-01x0.160	1,28	0
c-Toronnage	SPC22-19x0.160C	1,28	1
d-Rubanage I		1,28	1
d-Rubanage II	ESCC3901-018-06	1,28	1

[0095] Les résultats obtenus au test A&B sur ce fil électrique selon l'invention fait d'un conducteur SPC dont l'argenture

est réalisée en CPI sont particulièrement bons, alors que l'épaisseur d'argent ici n'est que de la moitié de celle d'un fil fait traditionnellement en CC.

Exemple 6 : Câble électrique selon l'invention

[0096] Dans cet exemple on choisit un des câbles électriques les plus élaborés permettant une meilleure protection contre l'interférence électromagnétique. C'est aussi le cas le plus sévère par rapport au test A&B au vu du nombre d'étapes de fabrication impliquées.

[0097] En fait, par câble électrique on entend ici une ligne de transmission qui comprend un ou plusieurs fils électriques torsadés et puis recouverts d'une couche de blindage électromagnétique et puis encore d'une gaine isolante, comme montré dans l'exemple comparatif 4 ci-dessous. Ladite couche de blindage est faite par tressage d'un certain nombre de brins SPC, et ladite gaine par extrusion de PFA (perfluoroalkoxy). Plus précisément, on réalise un câble suivant la norme ESCC3901-018-53 (mai 2013) et on procède aux étapes de fabrication suivantes :

A. Argenture sur fil ébauche

[0098] On réalise d'abord un fil SPC de 0,254 mm en diamètre sur une ligne d'argenture autre que celle utilisée dans l'exemple 5 dite TS4 et dont le bain d'argenture a la composition de celui des exemples 3 et 4. La réalisation est faite à une vitesse de défilement de 4,0 m/min et dans les conditions d'argenture sous CPI indiquées dans le tableau 6 suivant.

Tableau 6

Jm	f	Q	Jc	Ja	Tc	Ta
9,6 A/dm^2	1,0 Hz	65%	10 A/dm^2	3,1 A/dm^2	0,65 s	0,35 s

[0099] L'épaisseur de la couche d'argent sur le fil est en moyenne de 3,66 μm.

B. Tréfilage du fil argenté

[0100] On réduit par tréfilage le fil SPC obtenu pour passer du diamètre de 0,254 mm au diamètre de 0,079 mm soit un taux de réduction de 31%, l'épaisseur d'argent étant diminuée en moyenne à 1,14 μm. Le brin SPC ainsi obtenu est destiné à constituer un blindage électromagnétique.

C. Assemblage des 2 fils électriques

[0101] On reprend 2 fils électriques réalisés dans l'Exemple 5 correspondant à la norme ESCC3901-018-06 (mai 2013) qu'on assemble en les torsadant pour former une paire qui correspond à la norme ESCC3901-018-15 (mai 2013).

D. Blindage par tressage

[0102] La paire formée subit ensuite un blindage électromagnétique par tressage.

E. gainage par extrusion de la paire blindée

[0103] On réalise un gainage de PFA par extrusion sur la paire blindée et obtient un câble électrique SPC conforme à la norme ESCC3901-018-53 (mai 2013), schématisé sur la figure 6.

[0104] On procède au test A&B à chaque étape de l'opération aussi bien sur le conducteur central des fils électriques que sur la tresse de blindage du câble électrique. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux 7 et 8 ci-dessous.

Tableau 7 : Récapitulatif des résultats A&B sur les 2 conducteurs centraux

Etape fabrication	Réf. fil/câble	Epaisseur argent en μm	Code test A&B
Fil SPC - Exemple 5	ESCC3901-18-06	1,28	1
Etape C - Assemblage	ESCC3901-18-15	1,28	1
Etape D - Blindage	ESCC3901-18-53	1,28	1
Etape E - Gainage	ESCC3901-18-53	1,28	1

Tableau 8 : Récapitulatif des résultats A&B sur les blindages électromagnétiques

Etape fabrication	Réf conducteur/fil/câble	Epaisseur argent en μm	Code test A&B
Etape A - Argenture	SPC30-01x0.254	3,66	0
Etape B - Tréfilage	SPC40-01x0.079	1,14	0
Etape D - Blindage	ESCC3901-18-53	1,14	1
Etape E - Gainage	ESCC3901-18-53	1,14	1

[0105] Le présent exemple démontre bien qu'un des câbles électriques les plus élaborés suivant la norme ESCC3901, en occurrence ESCC3901-018-53, fabriqué suivant le procédé décrit ici, notamment en utilisant la technique de l'argenture CPI selon l'invention, satisfait les exigences techniques de la norme ESCC3901, en particulier du test A&B, en ayant comme l'épaisseur d'argent 1,0 μm minimal au lieu de 2,0 μm.

Exemple comparatif 1 : fil électrique dont l'argenture est réalisée en courant continu (CC) avec une épaisseur d'argent < 2 μm.

[0106] On choisit comme base de comparaison un fil électrique, fait suivant la norme ESCC3901-001-24, qui est couramment utilisé en câblage spatial. Le conducteur SPC correspondant est donc du type SPC 26-19x0.102C, où 26 désigne le AWG26, 19x0.102C la construction de 19 brins SPC de diamètre de 0,102 mm en concentrique, chaque brin étant revêtu d'une épaisseur d'argent moyenne de 1,35 μm mesurée par la méthode fluorescence X sur un appareil type Fischerscope XULM.

[0107] L'argenture sous CC a été réalisée sous une densité de courant électrolytique de 1 A/dm^2 dans un bain électrolytique aqueux dont la composition est de cyanure de potassium KCN à 100g/l, de l'additif brillanteur de 10 à 30 ml/l et de cyanure d'argent AgCN à 45g/l.

[0108] Un tel conducteur est utilisé pour réaliser par rubanage selon l'étape de fabrication E4 un fil électrique SPC suivant la norme ESCC3901-001-24.

[0109] Plus précisément, l'étape de fabrication E4 comprend ici 2 sous-étapes. La première est le rubanage de deux rubans de polyimide successifs réalisé à une température à 150°C et avec recouvrement de 51% minimum. La deuxième consiste à déposer une couche de finition en polyimide en faisant passer 3 fois le fil rubané dans un liquide à base de polyimide et puis dans un four à 250°C. Le fil ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 0,80 mm et une masse linéaire de 2,00 g/m.

[0110] La construction du fil SPC peut être schématiquement présentée par la figure 2. Le conducteur SPC et le fil électrique SPC sont testés au test A&B respectivement en fin de l'étape E3 (toronnage) et de l'étape E4 (rubanage), et reçoivent respectivement comme résultat les codes de 1 et 4, comme indiqué dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9

Etape fabrication	**Construction**	**Epaisseur argent**	**Code test A&B**
E3-Toronnage (conducteur)	SPC26-19x0.102C	1,35 μm	1
E4-Rubanage (fil)	ESCC3901-001-24	1,35 μm	4

[0111] On peut en conclure que bien que le conducteur SPC obtenu présente une bonne performance en test A&B, le fil électrique SPC ne peut être considéré comme acceptable selon la norme ESCC3901. La dégradation en tenue au test A&B est certainement liée à l'étape de fabrication E4 qui implique une combinaison de contraintes mécaniques venant de l'opération de rubanage et de celles thermiques dues aux passages successifs dans des fours.

Exemples comparatifs 2-4 : fils électriques et câbles dont l'argenture est réalisée en courant continu (CC) avec une épaisseur d'argent minimale de 2 μm.

[0112] On fabrique des conducteurs SPC22-19x0.160 et un brin SPC36-01x0.127 en utilisant la même argenture sous CC que dans l'exemple comparatif 1 mais avec un revêtement d'argent d'épaisseur minimale de 2 μm conformément à la norme ESCC3901. L'argenture sous CC, ainsi que la mesure d'épaisseur d'argent, sont réalisées dans les mêmes conditions que celles de l'exemple comparatif I. Les conducteurs SPC22-19x0.160C, à savoir d'AWG22 et constitués de 19 brins SPC de 0,16 mm en diamètre, sont utilisés pour réaliser des fils électriques suivant les normes

ESCC3901-001-26 (ex comparatif 2), ESCC3901-002-58 (ex comparatif 3) et un câble ESCC3901-002-70 (ex comparatif 4), alors que le brin SPC36-01x0.127 d'AWG36 et de diamètre 0.127 mm permet de former un blindage hélicoïdal pour le câble suivant ESCC3901-002-70.

[0113] La réalisation du fil ESCC3901-001-26 (ex comparatif 2) telle qu'elle est illustrée dans la figure 2, est obtenue par rubanage d'un ruban polyimide suivi d'un dépôt de couche de finition en polyimide. Le fil électrique SPC ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 1,10 mm et une masse linéaire 4,20 g/m.

[0114] La réalisation du fil électrique SPC ESCC3901-002-58 (ex comparatif 3) telle qu'elle est illustrée dans la figure 3, est obtenue en rubanant un seul ruban polyimide à 150°C, suivi du dépôt de couche de finition en polyimide, puis du passage dans un four à 250°C en 2 ou 3 passages. Le fil ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 1,00 mm et une masse linéaire de 4,15 g/m.

[0115] La réalisation du câble électrique SPC ESCC3901-002-70 (ex comparatif 4) telle qu'elle est illustrée dans la figure 5, comprend 3 opérations. La première consiste à former par toronnage un sous-ensemble de 4 fils électriques ESCC9301-002-58, la seconde à recouvrir le sous-ensemble d'une couche de blindage hélicoïdale de brins SPC36-01x0.127, et la troisième à rubaner au-dessus du sous-ensemble blindé un ruban en polyimide avec recouvrement de 25% et un autre en PTFE avec recouvrement également 25%, suivi d'un passage dans un four à 380°C afin de fritter le ruban en PTFE. Le câble ainsi fabriqué présente, en moyenne, un diamètre de 3,10 mm et une masse linéaire de 26,0 g/m.

[0116] Le test A&B est ensuite effectué en fin de toronnage et en fin de rubanage sur le conducteur du fil de l'exemple comparatif 2, en fin de tréfilage, de toronnage et de rubanage sur le conducteur du fil de l'exemple comparatif 3, en fin de tréfilage E2 et en fin de gainage E7 du câble de l'exemple comparatif 4. Les codes du test, ainsi que les épaisseurs d'argent du conducteur, sont résumés dans le tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10

Exemples comparatifs	Etape fabrication	Construction	Epaisseur argent	Code test A&B
2	E3-Toronnage	SPC22-19x0.160	2,45 μm	0
2	E4-Rubanage	ESCC3901-001-26	2,45 μm	3
3	E2-Tréfilage	SPC3401x0.16	2,45 μm	1
3	E3-Toronnage	SPC2219x0.16C	2,45 μm	1
3	E4-Rubanage	ESCC3901-002-58	2,45 μm	2
4	E2-Tréfilage	SPC36-01x0.127	2,58 μm	1
4	E7-Gainage	ESCC3901-002-70	2,58 μm	4

[0117] On constate qu'effectivement, une épaisseur d'argent de plus de 2 μm permet d'améliorer la tenue au test A&B aussi bien en fin de fabrication du conducteur qu'en fin de fabrication du fil électrique.

[0118] Les résultats semblent montrer en outre que malgré une épaisseur d'argent au-delà de 2 μm sur les brins SPC36-01x0.127, une fois le guipage fait, la tenue au test A&B est fortement dégradée. En d'autres termes, les opérations de guipage, rubanage et frittage impactent fortement sur la tenue au test A&B du revêtement d'argent, justifiant donc l'épaisseur d'argent minimale de 2 μm imposée par la norme ESCC3901.

Exemples comparatifs 5-11 : conducteurs dont l'argenture est réalisée en CPI mais avec des conditions électrolytiques différentes.

[0119] Des conducteurs ont été fabriqués dans les mêmes conditions que celles des exemples 1 et 2 à l'exception des conditions électrolytiques qui sont rassemblées dans le tableau 8 ci-dessous.

[0120] Les mêmes tests que ceux indiqués aux exemples 1 et 2 ont été mis en oeuvre sur les conducteurs argentés obtenus et les résultats sont indiqués dans le tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11

Exemples comparatifs		5	6	7	8	9	10	11
Jm	A/dm^2	1,78	1,78	3	3	3	1,78	1,78
f	Hz	1,54	0,83	2,5	2,5	1,43	0,8	1,5
Q	%	25	90	50	62	62	70	45

(suite)

Exemples comparatifs		5	6	7	8	9	10	11
Tc	ms	163	1080	200	246	430	840	293
Ta	ms	488	120	200	154	270	360	357
Jc	A/dm^2	8,0	3,0	8,0	5,0	5,0	5	8
Ja	A/dm^2	0,34	9,20	2,00	0,20	0,19	5,73	3,26
T	s	0,7	1,2	0,4	0,4	0,7	1,2	0,7
Adhérence		OK	OK	OK	NOK	NOK	OK	OK
Epaisseur Ag	µm	1,20	0,92	0,94	1,4	1,54	1,05	1,04
Examen	Optique	NOK	OK	NOK	NOK	NOK	OK	NOK
polysulfure	20 min	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	moyen	moyen
A&B	Code						3	
Nb	nombre	2	2	3	2	3	1	1
d'échantillons								

[0121] Les résultats obtenus démontrent que les conditions électrolytiques sont importantes pour obtenir un conducteur argenté conforme aux normes.

Exemples comparatifs 12-13 : **conducteurs dont l'argenture est réalisée en CPI avec bain d'argenture de grande vitesse, mais avec des conditions électrolvtiaues différentes.**

[0122] Des conducteurs ont été fabriqués dans les mêmes conditions que celles des exemples 3 et 4 à l'exception des conditions électrolytiques qui sont rassemblées dans le tableau 9 ci-dessous.

[0123] Les mêmes tests que ceux indiqués aux exemples 3 et 4 ont été mis en oeuvre sur les conducteurs argentés obtenus et les résultats sont indiqués dans le tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12

Exemples comparatifs		12	13
Jm	A/dm^2	1,78	1,78
f	Hz	1	2
Q	%	70	50
Tc	ms	700	250
Ta	ms	300	250
Jc	A/dm^2	5	8
Ja	A/dm^2	3,05	0,88
T	s	1	0,5
Adhérence		OK	OK
Epaisseur Ag	µm	0,99	1,49
Examen	Optique	OK	
polysulfure	20 min	moyen	moyen
A&B	Code	4	
Nb d'échantillons	nombre	2	1

[0124] Les résultats obtenus démontrent que les conditions électrolytiques sont importantes pour obtenir un conducteur argenté conforme aux normes.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un fil d'ébauche en cuivre, ou en alliage de cuivre, argenté dont l'épaisseur de la couche d'argent est comprise entre 1,5 μm et 15 μm comprenant l'étape de déposition électrolytique d'argent sur le fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre, ladite déposition électrolytique ayant lieu sous courant pulsé avec inversion dans un bain d'argenture comprenant de 40 à 70 g/l de cyanure d'argent et de 90g/l à 150 g/l de cyanure de potassium, les conditions électrolytiques étant les suivantes :

   - densité de courant moyenne Jm comprise entre 1,5 A/dm^2 et 15 A/dm^2, avantageusement entre 1,78 A/dm^2 et 5 A/dm^2;
   - fréquence d'impulsion f comprise entre 0,8 Hz et 1,6 Hz, avantageusement entre 0,8 Hz et 1,4 Hz, en particulier de 1 Hz ;
   - rapport cyclique Q comprise entre 50 et 80%, avantageusement entre 55% et 65% ;
   - densité de courant du pic cathodique Jc comprise entre 3 A/dm^2 et 11 A/dm^2, avantageusement entre 5 A/dm^2 et 10 A/dm^2 ;
   - densité de courant du pic anodique Ja comprise entre 1 A/dm^2 et 5 A/dm^2, avantageusement entre 1,28 A/dm^2 et 4,2 A/dm^2 ;
   - temps de maintien de l'impulsion cathodique Tc comprise entre 0,2 s et 0,8 s, avantageusement entre 0,55 s et 0,65 s et
   - temps de maintien de l'impulsion anodique Ta comprise entre 0,06 s et 0,5 s, avantageusement entre 0,35 s et 0,45 s.

2. Fil d'ébauche en cuivre, ou en alliage de cuivre, argenté dont l'épaisseur de la couche d'argent est comprise entre 1,5 μm et 15 μm susceptible d'être obtenu par le procédé selon la revendication 1.

3. Procédé de fabrication d'un brin en cuivre, ou en alliage de cuivre, argenté dont l'épaisseur de la couche d'argent est comprise entre 1 μm et 1,5 μm comprenant l'étape de tréfilage du fil d'ébauche en cuivre ou en alliage de cuivre argenté selon la revendication 2.

4. Brin en cuivre, ou en alliage de cuivre, argenté dont l'épaisseur de la couche d'argent est comprise entre 1 μm et 1,5 μm susceptible d'être obtenu par le procédé selon la revendication 3.

5. Conducteur argenté comprenant au moins un brin argenté selon la revendication 4, avantageusement dont tous les brins sont selon la revendication 4.

6. Couche de blindage électromagnétique comprenant au moins un brin argenté selon la revendication 4, avantageusement dont tous les brins sont selon la revendication 4.

7. Fil électrique comprenant un conducteur argenté selon la revendication 5.

8. Fil électrique selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** sa couche d'isolation comprend du polytétrafluoroéthylène, de l'éthylène tétrafluoroéthylène et/ou du polyimide, ladite couche étant avantageusement réalisée par extrusion ou par rubanage.

9. Câble électrique comprenant au moins un fil électrique selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, avantageusement dont tous les fils électriques sont selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8.

10. Câble électrique selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** sa couche de blindage est selon la revendication 6.

11. Câble électrique selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10, **caractérisé en ce que** sa gaine comprend du polytétrafluoroéthylène, de l'éthylène tétrafluoroéthylène, du perfluoroalkoxy et/ou du polyimide, ladite gaine étant avantageusement réalisée par extrusion ou par rubanage.

12. Utilisation du fil électrique selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8 dans le domaine de l'aérospatiale.

13. Utilisation du câble électrique selon l'une quelconque des revendications 9 à 11 dans le domaine de l'aérospatiale.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines versilberten Drahtrohlings aus Kupfer oder aus Kupferlegierung, wobei die Dicke der Silberschicht zwischen 1,5 μm und 15 μm liegt, umfassend den Schritt der elektrolytischen Abscheidung von Silber auf dem Drahtrohling aus Kupfer oder aus Kupferlegierung, wobei die elektrolytische Abscheidung unter gepulstem Strom mit Eintauchen in ein Versilberungsbad stattfindet, das 40 bis 70 g/l Silberzyanid und 90 g/l bis 150 g/l Kaliumzyanid umfasst, wobei die elektrolytischen Bedingungen die folgenden sind:

   - mittlere Stromdichte Jm zwischen 1,5 A/dm^2 und 15 A/dm^2, vorteilhafterweise zwischen 1,78 A/dm^2 und 5 A/dm^2
   - Impulsfrequenz f zwischen 0,8 Hz und 1,6 Hz, vorteilhafterweise zwischen 0,8 Hz und 1,4 Hz, insbesondere 1 Hz,
   - Tastverhältnis Q zwischen 50 und 80 %, vorteilhafterweise zwischen 55 % und 65 %,
   - Stromdichte der Kathodenspitze Jc zwischen 3 A/dm^2 und 11 A/dm^2, vorteilhafterweise zwischen 5 A/dm^2 und 10 A/dm^2
   - Stromdichte der Anodenspitze Ja zwischen 1 A/dm^2 und 5 A/dm^2 vorteilhafterweise zwischen 1,28 A/dm^2 und 4,2 A/dm^2
   - Haltezeit des Kathodenimpulses Tc zwischen 0,2 s und 0,8 s, vorteilhafterweise zwischen 0,55 s und 0,65 s und
   - Haltezeit des Anodenimpulses Ta zwischen 0,06 s und 0,5 s, vorteilhafterweise zwischen 0,35 s und 0,45 s.

2. Versilberter Drahtrohling aus Kupfer oder aus Kupferlegierung, wobei die Dicke der Silberschicht zwischen 1,5 μm und 15 μm liegt, der durch das Verfahren nach Anspruch 1 erhältlich ist.

3. Verfahren zur Herstellung eines versilberten Strangs aus Kupfer oder aus Kupferlegierung, wobei die Dicke der Silberschicht zwischen 1 μm und 1,5 μm liegt, umfassend den Schritt des Ziehens des versilberten Drahtrohlings aus Kupfer oder aus Kupferlegierung nach Anspruch 2.

4. Versilberter Strang aus Kupfer oder aus Kupferlegierung, wobei die Dicke der Silberschicht zwischen 1 μm und 1,5 μm liegt, der durch das Verfahren nach Anspruch 3 erhältlich ist.

5. Versilberter Leiter, umfassend mindestens einen versilberten Strang nach Anspruch 4, wobei vorteilhafterweise alle Stränge nach Anspruch 4 sind.

6. Schicht zur elektromagnetischen Abschirmung, umfassend mindestens einen versilberten Strang nach Anspruch 4, wobei vorteilhafterweise alle Stränge nach Anspruch 4 sind.

7. Elektrischer Draht, umfassend einen versilberten Leiter nach Anspruch 5.

8. Elektrischer Draht nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Isolierschicht Polytetrafluorethylen, Ethylen-Tetrafluorethylen und/oder Polyimid umfasst, wobei die Schicht vorteilhafterweise durch Extrusion oder durch Umwickeln umgesetzt ist.

9. Elektrisches Kabel, umfassend mindestens einen elektrischen Draht nach einem der Ansprüche 7 oder 8, wobei vorteilhafter alle elektrischen Drähte nach einem der Ansprüche 7 oder 8 sind.

10. Elektrisches Kabel nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Abschirmungsschicht nach Anspruch 6 ist.

11. Elektrisches Kabel nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Hülle Polytetrafluorethylen, Ethylen-Tetrafluorethylen, Perfluoralkoxy und/oder Polyimid umfasst, wobei die Hülle vorteilhafterweise durch Extrusion oder durch Umwickeln umgesetzt ist.

12. Verwendung des elektrischen Drahtes nach einem der Ansprüche 7 oder 8 auf dem Gebiet der Raumfahrt.

13. Verwendung des elektrischen Kabels nach einem der Ansprüche 9 bis 11 auf dem Gebiet der Raumfahrt.

Claims

1. A process for manufacturing a silver-plated copper or copper alloy blank wire, having a silver layer thickness of 1.5 μm to 15 μm, comprising the step of electrolytically depositing silver on the copper or copper alloy blank wire, said electrolytic deposition being performed at a pulsating current with reversal in a silver-plating bath comprising from 40 to 70 g/l of silver cyanide and from 90 g/l to 150 g/l of potassium cyanide, the electrolytic conditions being as follows:

   - average current density Jm comprised between 1.5 A/dm^2 and 15 A/dm^2, advantageously between 1.78 A/dm^2 and 5 A/dm^2;
   - pulse frequency f comprised between 0.8 Hz and 1.6 Hz, advantageously between 0.8 Hz and 1.4 Hz, in particular 1 Hz;
   - duty cycle Q comprised between 50 and 80%, advantageously between 55% and 65%;
   - current density of the cathode peak Jc comprised between 3 A/dm^2 and 11 A/dm^2, advantageously between 5 A/dm^2 and 10 A/dm^2;
   - current density of the anode peak Ja comprised between 1 A/dm^2 and 5 A/dm^2, advantageously between 1.28 A/dm^2 and 4.2 A/dm^2;
   - time of maintaining the cathodic pulse Tc comprised between 0.2 s and 0.8 s, advantageously between 0.55 s and 0.65 s and
   - time of maintaining the anode pulse Ta comprised between 0.06 s and 0.5 s, advantageously between 0.35 s and 0.45 s.

2. A silver-plated copper, or copper alloy blank wire, having a silver layer thickness of 1.5 μm to 15 μm, obtainable by the process according to claim 1.

3. A process for manufacturing a silver-plated copper, or copper alloy strand, having a silver layer thickness of 1 μm to 1.5 μm, comprising the step of drawing the silver-plated copper or copper alloy blank wire according to claim 2.

4. A silver-plated copper or copper alloy strand, having a silver layer thickness of 1 μm to 1.5 μm, obtainable by the process according to claim 3.

5. A silver-plated conductor comprising at least one silver-plated strand according to claim 4, advantageously all the strands of which are according to claim 4.

6. An electromagnetic shielding layer comprising at least one silver-plated strand according to claim 4, advantageously all the strands of which are according to claim 4.

7. An electric wire comprising a silver-plated conductor according to claim 5.

8. The electric wire according to claim 7, **characterized in that** its insulating layer comprises polytetrafluoroethylene, ethylene tetrafluoroethylene and/or polyimide, said layer being advantageously produced by extrusion or by taping.

9. An electric cable comprising at least one electric wire according to any one of claims 7 or 8, advantageously all the electric wires of which are according to any one of claims 7 or 8.

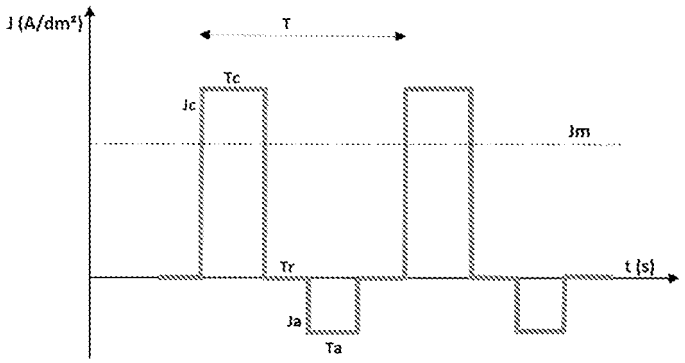
10. The electric cable according to claim 9, **characterized in that** its shielding layer is according to claim 6.

11. The electric cable according to any one of claims 9 or 10, **characterized in that** its sheath comprises polytetrafluoroethylene, ethylene tetrafluoroethylene, perfluoroalkoxy and/or polyimide, said sheath being advantageously produced by extrusion or by taping.

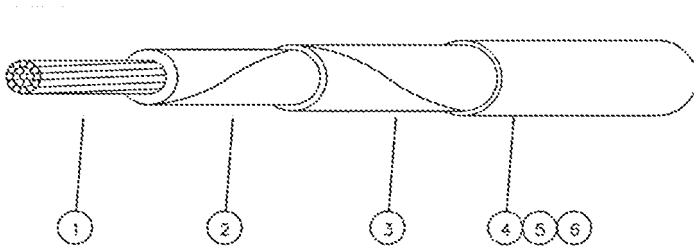
12. A use of the electric wire according to any one of claims 7 or 8 in the field of aerospace.

13. A use of the electric cable according to any one of claims 9 to 11 in the field of aerospace.

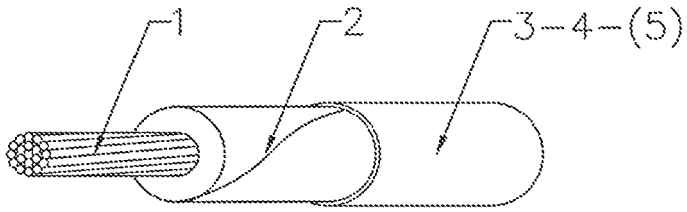
[Fig. 1]



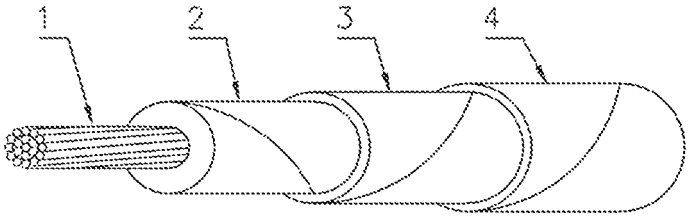
[Fig. 2]



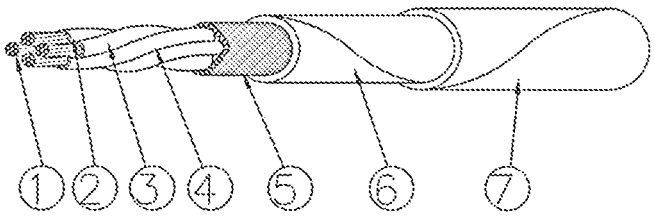
[Fig. 3]



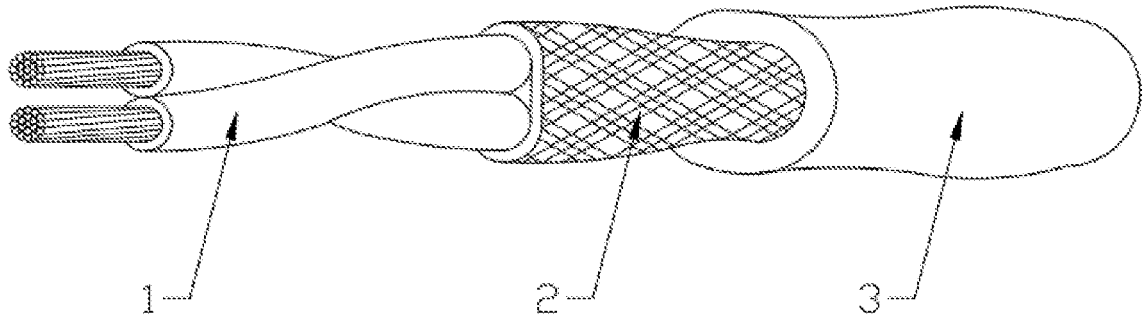
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



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 109295445 **[0003]**