

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 155 243

②1 N° d'enregistrement national : 23 12402

⑤1 Int Cl⁸ : C 25 C 3/00 (2024.01)

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 13.11.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 16.05.25 Bulletin 25/20.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : Aluminium Dunkerque Société par
actions simplifiée — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Lambert Gaël et Besnier Olivier.

⑦3 Titulaire(s) : Aluminium Dunkerque Société par
actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : Novagraaf Technologies.

⑤4 PROCÉDE DE REPARATION DE BARRE CONDUCTRICE.

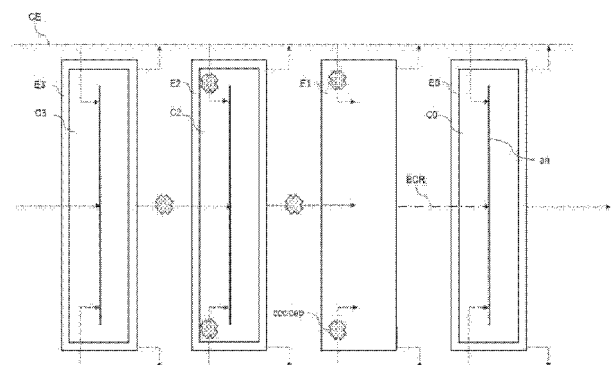
⑤7 La présente invention se rapporte au domaine de la
maintenance mécanique industrielle, et plus précisément à
un procédé de réparation de barres conductrices dans un
système de cuves d'électrolyse disposées en série.

L'invention se rapporte à un procédé de réparation de
barres conductrices comprenant :

- une étape d'isolement électrique de deux des cuves
(C1, C2) du circuit électrique (CE),
- une étape de réduction de l'intensité du courant élec-
trique parcourant ledit circuit électrique (CE) et l'ensemble
des cuves de façon à réduire le champ magnétique au ni-
veau de la barre conductrice à réparer (BCR) à une densité
de flux inférieure ou égale à 0,01 T tout en poursuivant
l'électrolyse dans les autres cuves d'électrolyse que la pre-
mière et seconde cuves d'électrolyse, et
- une étape de réparation de la barre conductrice à répa-
rer (BCR) par soudure.

La présente invention est utile, par exemple, pour la ré-
paration de barres conductrices d'un circuit électrique ali-
mentant en série des cuves d'électrolyse successives, par
exemple des cuves de synthèse de métaux, par exemple
d'aluminium.

Figure abrégé : [Fig. 2]



FR 3 155 243 - A1



Description

Titre de l'invention : PROCÉDE DE REPARATION DE BARRE CONDUCTRICE

Domaine technique de l'invention

- [0001] La présente invention se rapporte au domaine de la maintenance mécanique industrielle, et plus précisément à un procédé de réparation de barres conductrices dans un système de cuves d'électrolyse disposées en série.
- [0002] La présente invention est utile, par exemple, pour la réparation de barres conductrices d'un circuit électrique alimentant en série des cuves d'électrolyse successives, par exemple des cuves de synthèse de métaux, par exemple d'aluminium.

Art antérieur

- [0003] L'électrolyse est un procédé usuellement utilisé dans le cadre de la production de métaux.
- [0004] Pour des raisons économiques, la mise en œuvre d'un tel procédé à l'échelle industrielle peut impliquer l'utilisation de plusieurs cuves d'électrolyse reliées entre elle par un circuit électrique parcouru par un courant continu de forte intensité. Pour cela, le circuit électrique est relié à une sous-station électrique qui transforme le courant alternatif en courant continu afin que les cuves d'électrolyse soient fonctionnelles. Un même circuit électrique alimente donc généralement plusieurs cuves d'électrolyse.
- [0005] Lors de la mise en œuvre d'un procédé d'électrolyse, il peut arriver que l'une des cuves d'électrolyse se met à fuir, projetant ainsi un liquide, par exemple un métal sous forme liquide, à haute température sur l'une des barres conductrices du circuit électrique. A la suite d'un tel incident, la barre conductrice peut être touchée par le liquide à haute température, ce qui peut entraîner une dégradation de la barre conductrice, voire une rupture, ce qui a pour effet de perturber la circulation du courant dans l'ensemble du circuit électrique et donc dans les cuves d'électrolyse.
- [0006] La soudure est généralement la technique utilisée pour réparer des barres métalliques, en particulier des barres conductrices. Cependant, la réparation d'une barre conductrice défectueuse est source de nombreuses difficultés dont les deux principales restent la présence de courant électrique dans le circuit électrique et du champ magnétique généré par ce courant.
- [0007] En effet, bien que le courant puisse être perturbé, voir ne pas traverser une barre conductrice comprenant une dégradation ou une rupture, l'intervention d'un réparateur peut-être très dangereuse car le courant peut à nouveau traverser la barre conductrice au cours de la réparation si la circulation du courant n'est pas interrompue. De plus, une réparation par soudure reste extrêmement difficile à cause du champ magnétique

induit par le passage du courant.

- [0008] Afin d'éviter les dangers et la très peu probable réussite de la soudure pour le réparateur, la réparation d'une barre conductrice comprise dans un circuit électrique parcouru par un courant nécessite l'arrêt du courant électrique dans le circuit, notamment par l'arrêt complet de la sous-station électrique alimentant le circuit électrique, ce qui provoque donc l'arrêt de l'ensemble des cuves d'électrolyse en série. Cet arrêt a un impact économique et industriel très négatif, par exemple sur la production de métal. Les opérations d'entretien et de remise en route des cuves d'électrolyse sont en effet longues et laborieuses et l'arrêt de l'électrolyse dans l'ensemble des cuves conduit à des pertes de production importantes. Par ailleurs, l'arrêt complet de de la sous-station électrique pour procéder à la réparation d'une ou plusieurs barre(s) conductrice(s) présente en outre un risque important d'explosion associé à l'arrêt et la remise en marche de transformateurs de la sous-station électrique générant un courant continu de forte intensité dans un tel système.
- [0009] Il a été envisagé dans l'art antérieur d'arrêter uniquement la cuve d'électrolyse au niveau de laquelle la barre conductrice doit être réparée. Malheureusement, cela ne permet pas pour autant de mettre en œuvre un quelconque procédé de réparation sur le circuit électrique qui alimente l'ensemble de cuves d'électrolyse en série. En effet, les cuves adjacentes toujours parcourus par un courant génèrent un champ magnétique qui perturbe les opérations de réparation de la barre conductrice et qui conduit à une mauvaise qualité la réparation, en particulier lorsqu'il s'agit d'une réparation par soudure.
- [0010] Il existe actuellement une autre voie permettant de procéder à la réparation de barres conductrices en présence d'un champ magnétique, c'est à dire sans avoir à arrêter la sous-station électrique, il s'agit de la soudure laser. Cette technique permet une qualité forte de la soudure même dans d'importants champs magnétiques, et une réduction de la chute de tension maximale évaluée à 10mV par cellule d'électrolyse, soit un gain énergétique d'environ 350k€/an. En revanche, le temps de mise en œuvre par rapport à une soudure normale est multiplié par trois, soit environ huit heures de plus par rapport à la présente invention exposée ci-dessous. De plus, les coûts de mise en œuvre sont supérieurs à 600k€ juste en cout directs, coûts indirects à prévoir de 40k€, coûts opérationnels liés au temps pour la mise en place de l'équipement et son utilisation +2k€/cellule, soit environ 100k€/an.
- [0011] Ainsi, à ce jour, aucun procédé de réparation d'une barre conductrice d'un circuit électrique de cuve d'électrolyse en série satisfaisant en termes de coûts ou de sécurité pour la réparation n'a été proposé. Il existe donc un réel besoin de trouver un procédé à la fois sécurisé pour le réparateur et ne présentant pas les inconvénients de l'art antérieur.

Exposé de l'invention

[0012] La présente invention a précisément pour but de résoudre les problèmes et inconvénients de l'art antérieur en fournissant un procédé de réparation d'une barre conductrice, d'un circuit électrique alimentant par un courant électrique continu en série des cuves d'électrolyse successives. Le procédé de l'invention permet avantageusement de sécuriser l'intervention du réparateur, ne pas procéder à l'arrêt de la sous-station électrique, de réduire le temps de réparation de la ou les barre(s) conductrice(s) tout en permettant la poursuite de l'électrolyse dans la majorité des autres cuves d'électrolyse. Le procédé selon l'invention permet en outre une remise en service rapide des cuves adjacentes à ladite barre conductrice à réparer. Le procédé selon l'invention est de plus très facile à mettre en œuvre et très intéressant économiquement.

[0013] Un premier objet de la présente invention est un procédé de réparation d'une barre conductrice à réparer d'un circuit électrique alimentant par un courant électrique continu en série des cuves d'électrolyse successives via des barres conductrices, lesdites barres conductrices se trouvant à l'extérieur desdites cuves et en contact avec celles-ci, ledit courant électrique générant un champ magnétique notamment au niveau des cuves et des barres conductrices, dans lequel chaque cuve d'électrolyse est installée dans un emplacement de cuve et chaque cuve comprenant :

- un bain d'électrolyse,
- une anode reliées au circuit électrique et immergée partiellement dans le bain d'électrolyse,
- une cathode en contact avec l'aluminium liquide
- une barre cathodiques en contact d'une part avec la cathode et d'autre part avec une barre conductrice,

procédé dans lequel la barre conductrice à réparer en contact avec une première cuve est adjacente à une seconde cuve qui précède la première cuve dans le circuit électrique, la première et la seconde cuve étant elles-mêmes adjacentes, ledit procédé comprenant :

- une étape d'isolement électrique de la première et seconde cuves du circuit électrique,
- une étape de réduction de l'intensité du courant électrique parcourant ledit circuit électrique et l'ensemble des cuves de façon à réduire le champ magnétique au niveau de la barre conductrice à réparer à une densité de flux inférieure ou égale à 0,01 T tout en poursuivant l'électrolyse dans les autres cuves d'électrolyse que la première et la seconde cuves d'électrolyse, et
- une étape de réparation de la barre conductrice à réparer par soudure.

- [0014] Par « un circuit électrique alimentant [...] en série des cuves », on entend un circuit électrique alimentant plusieurs cuves positionnées successivement et parcourues par un même courant.
- [0015] Par « champ magnétique », on entend une région de l'espace soumise à l'action d'une force provenant d'aimants, d'un courant électrique, ainsi que la variation temporelle d'un champ électrique par induction électromagnétique. En présence d'un tel champ, divers phénomènes sont observables sur les matériaux, tels que le paramagnétisme ; le diamagnétisme et/ou le ferromagnétisme.
- [0016] Par « étape d'isolement électrique », on entend la rupture de la connexion électrique entre le circuit électrique et l'élément isolé du circuit électrique, par exemple la première et seconde cuve d'électrolyse. Par exemple, il peut s'agir de l'ajout et/ou du retrait de cales de court-circuitage ou équipotentiellles en aluminium entre les barres conductrices du circuit électrique. Ces cales permettent de dévier le courant afin qu'il ne traverse plus la première et seconde cuves. Ainsi, le courant est dévié jusqu'à la cuve qui succède la seconde cuve d'électrolyse.
- [0017] Par « soudure », on entend une opération consistant à assembler au moins deux éléments de manière permanente, tout en assurant la continuité fonctionnelle entre ces éléments. L'assemblage peut être réalisé par chauffage entraînant la fusion de ces deux éléments, par pression ou la combinaison de ces derniers. L'assemblage peut être réalisé avec ou sans un produit d'apport, par exemple un matériau dont la température de fusion est du même ordre de grandeur que celle du matériau de la barre conductrice à réparer. Il peut s'agir par exemple d'un fil d'aluminium ou équivalent.
- [0018] Avantageusement, la soudure peut être réalisée par tout moyen connu de l'homme du métier, en fonction notamment de la composition chimique de la barre conductrice à réparer. Il peut s'agir par exemple d'une méthode choisi parmi soudure oxyacétylénique, soudure aluminothermique, soudure électrique par résistance, soudure à l'arc électrique avec électrodes enrobées, soudure à l'arc sous flux, soudure à l'arc avec électrodes non fusibles, soudure à l'arc avec fil électrodes fusibles, soudure semi-automatique, soudure orbital, soudure laser, soudure plasma, soudure par faisceau d'électrons, soudure par friction, soudure par friction malaxage, soudure thixotropique, soudure hybride, soudure électro-gaz, soudure par diffusion, soudure par explosion, soudure par impulsion magnétique, soudure par ultrasons et soudure « à l'eau déminéralisée ». De préférence, la soudure peut être réalisée par une méthode de soudure semi-automatique, de manière encore préféré par soudure semi-automatique métal sous gaz inerte (MIG pour « Metal Inert Gaz »).
- [0019] Avantageusement, l'étape de réparation par soudure peut être réalisée avec une plaquette de soudure d'un matériau compatible avec la barre conductrice à réparer. Avantageusement, la plaquette de soudure peut comprendre au moins un métal choisi

parmi de l'acier, du cuivre, du chrome, du nickel, de l'aluminium, du titane, du magnésium, du zirconium et un alliage quelconque de ceux-ci. De préférence, la plaquette de soudure peut comprendre un alliage d'aluminium.

- [0020] Avantageusement, la plaquette de soudure peut comprendre un alliage d'aluminium présentant un coefficient de dilatation linéique compris de 20.10^{-6} à $25.10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$, de préférence de $23.5.10^{-6}$ à $24.10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$. Il peut s'agir d'un aluminium commercialisé par la société Clauser basée à Loon Plage en France.
- [0021] Avantageusement, l'étape de réparation par soudure peut être réalisée en une durée inférieure ou égale à 50 minutes, de préférence inférieure à 45 minutes, de manière encore préféré inférieure à 30 minutes.
- [0022] Avantageusement, lors de l'étape de réparation, le champ magnétique au niveau de la barre conductrice à réparer peut présenter une densité de flux inférieure ou égale à 0,01 T.
- [0023] Avantageusement, l'étape d'isolement de la première et seconde cuve du circuit électrique peut être réalisée par l'ajout et/ou le retrait d'une ou plusieurs cales de court-circuitage et/ou d'une ou plusieurs cales équipotentielles dans le circuit électrique.
- [0024] Par « cale de court-circuitage », on entend une cale permettant une déviation du courant électrique. Lorsqu'une telle cale est ajoutée ou retirée dans un circuit électrique comprenant des barres conductrices, il est possible de dévier le courant afin qu'il ne circule pas à travers l'une de ces barres conductrices, par exemple, en ajoutant ou retirant des cales de court-circuitage.
- [0025] Par « cale équipotentielle », on entend une cale permettant une répartition du courant dans un circuit électrique. Lorsqu'une telle cale est ajoutée dans un circuit électrique comprenant des barres conductrices, il est possible d'influer et donc de répartir la densité de flux du champ magnétique en un point du circuit électrique. Une telle cale permet aussi d'éviter une instabilité des dispositifs, par exemple des cuves d'électrolyse, alimentés en courant par le circuit électrique comprenant ladite cale.
- [0026] L'ajout et/ou le retrait sélectif d'une ou plusieurs cales permet d'isoler électriquement la barre conductrice à réparer et de diriger le courant électrique vers des sections du circuit électrique permettant d'alimenter les autres cuves d'électrolyse. Ainsi, il est possible de réaliser un ou plusieurs soudures de meilleure qualité puisque le champ magnétique au niveau de la barre conductrice à réparer présente une faible densité de flux et il a donc moins d'influence sur le comportement du métal liquide lors de la réalisation de la soudure.
- [0027] Avantageusement, l'ajout d'une ou plusieurs cales peut être réalisé en plusieurs sous étape. Par exemple, un tel ajout peut comprendre l'ajout d'une première série d'une ou plusieurs cales et l'ajout d'une seconde série d'une ou plusieurs cales. La seconde série ayant pu être ajoutée par suite des modifications imposées sur la circulation du courant

dans le circuit électrique par l'ajout de la première série. Un tel ajout peut être suivi du retrait de la première série d'une ou plusieurs cales.

- [0028] Avantagement, l'étape de réduction de l'intensité du courant électrique peut comprendre une diminution progressive de l'intensité du courant jusqu'à une valeur inférieure ou égale à 270 kA, de préférence inférieure ou égale à 250 kA.
- [0029] Par « progressive », on entend une diminution contrôlée de l'intensité du courant, par exemple, pour une décente la plus rapide possible, par exemple, en 5 à 10 minutes pour atteindre une valeur inférieure ou égale à 270 kA. Par exemple, une diminution plus lente peut être réalisée en 30 à 45 min pour atteindre une valeur inférieure ou égale à 270 kA.
- [0030] Avantagement, les cuves d'électrolyse peuvent être des cuves d'électrolyse de synthèse d'aluminium et les bains d'électrolyse peuvent être des bains d'électrolyse de synthèse d'aluminium. Il peut s'agir, par exemple, de cuves d'électrolyse commercialisées par la société Aluminium Pechiney sous la référence commerciale AD41.
- [0031] Avantagement, les bains d'électrolyse peuvent comprendre de la cryolithe, un excès de fluorure d'aluminium (AlF_3) et du fluorure de calcium (CaF_2). Il peut s'agir, par exemple, de bains d'électrolyse décrits dans le livre "*Understanding the Hall-Heroult Process for Production of Aluminium*", édité par Kai Grjotheim et Halvor Kvande, publié par Aluminium-Verlag, Dusseldorf en 1986 (Référence 1).
- [0032] Avantagement, le procédé de réparation selon l'invention peut comprendre en outre, entre les étapes d'isolement de la première et seconde cuves et de réduction de l'intensité du courant électrique, dans l'ordre les étapes suivantes :
- une étape de retrait du bain d'électrolyse de la première cuve d'électrolyse ;
 - une étape de retrait de la première cuve d'électrolyse de l'emplacement de cuve ;
 - une étape d'immersion complète de l'anode de la seconde cuve dans le bain d'électrolyse afin qu'elle entre en contact avec le métal synthétisé présent au niveau de la cathode dans ladite seconde cuve d'électrolyse ce qui provoque un court-circuit isolant la seconde cuve du circuit électrique.
- [0033] Avantagement, l'étape de retrait du bain d'électrolyse de la première cuve d'électrolyse est mise en œuvre pour une cuve d'électrolyse dite « percée ». Par exemple, il peut s'agir d'une cuve pour laquelle un écoulement d'aluminium est constaté sur l'une des parois de ladite cuve.
- [0034] Avantagement, le procédé de réparation selon l'invention peut en outre comprendre, après l'étape de réparation de la barre conductrice à réparer par soudure, dans l'ordre les étapes suivantes :
- une étape d'augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à une intensité nominale des cuves d'électrolyse,
 - une étape d'émersion partielle de l'anode de la seconde cuve d'électrolyse du bain

d'électrolyse,

- une étape de mise en place d'une première cuve d'électrolyse dans l'emplacement de cuve,

- une étape de retrait de la ou les cales de court-circuitage et/ou de la ou les cales équipotentielles du circuit électrique, et

- une étape de réintroduction du bain d'électrolyse à l'intérieur de la première cuve d'électrolyse.

[0035] L'étape de retrait de la ou les cales peut être réalisée, selon l'invention, en plusieurs sous étape. Par exemple, un tel ajout peut comprendre l'ajout d'une nouvelle série d'une ou plusieurs cales et le retrait de la ou les cales ajoutées lors de l'étape d'isolement de la première et seconde cuve. La nouvelle série pouvant être ajoutée pour modifier la circulation du courant dans le circuit électrique et permettre le retrait de la ou des cales ajoutées lors de l'étape d'isolement de la première et seconde cuve. Un tel retrait peut être suivi du retrait de la nouvelle série d'une ou plusieurs cales.

[0036] Par « intensité nominale », on entend une intensité de courant maximale pouvant être supportée par les cuves d'électrolyse en fonctionnement normal, sans que ses composants internes ne subissent de dommage. En particulier, l'intensité nominale est, de préférence, une intensité à laquelle l'électrolyse fonctionne, pendant une période donnée. Cela peut être également au-dessus ou en dessous de cette intensité, dans des proportions raisonnables, afin que les composants internes de la cuve ne subissent de dommage.

[0037] Avantageusement, le procédé de réparation selon l'invention peut en outre comprendre, entre les étapes d'émersion partielle de l'anode de la seconde cuve d'électrolyse et de mise en place d'une première cuve d'électrolyse, une étape de retrait de la ou les cales de court-circuitage et/ou de la ou les cales équipotentielles du circuit électrique, de sorte que la seconde cuve d'électrolyse ne soit plus isolée du circuit électrique et que la première cuve d'électrolyse reste isolée du circuit électrique.

[0038] Avantageusement, le procédé de réparation selon l'invention peut en outre comprendre, avant l'étape d'immersion complète de l'anode de la seconde cuve dans le bain d'électrolyse, une étape préliminaire de retrait d'une partie ou de la totalité du bain d'électrolyse de la seconde cuve d'électrolyse.

[0039] Par « une partie du bain d'électrolyse », on entend une quantité suffisante de bain d'électrolyse pour éviter un débordement du bain d'électrolyse hors de la seconde cuve par suite de l'immersion complète de l'anode de la seconde cuve dans le bain d'électrolyse.

[0040] Avantageusement, le procédé de réparation selon l'invention peut en outre comprendre, après l'étape d'émersion partielle de l'anode de la seconde cuve d'électrolyse du bain d'électrolyse, une étape ultérieure de réintroduction du bain

d'électrolyse à l'intérieur de la seconde cuve d'électrolyse.

[0041] Avantageusement, l'ensemble des étapes allant de l'étape de trait du bain d'électrolyse de la première cuve d'électrolyse à l'étape de réintroduction du bain d'électrolyse à l'intérieur de la première cuve d'électrolyse peut être réalisé en une durée inférieure ou égale à 120 minutes, de préférence 90 minutes.

[0042] Avantageusement, l'ensemble des étapes allant de l'étape de réduction de l'intensité du courant électrique parcourant ledit circuit électrique à l'étape d'augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à une intensité nominale des cuves d'électrolyse peut être réalisé en une durée inférieure ou égale à 90 minutes, de préférence 80 minutes.

Brève description des figures

[0043] La [Fig.1] représente schématiquement une vue en coupe d'une cuve d'électrolyse (C) comprenant de l'aluminium (Al).

[0044] La [Fig.2] représente schématiquement circuit électrique (CE) comprenant une barre conductrice à réparer (BCR) et alimentant un système de quatre emplacements de cuves (E0, E1, E2, E3) en série comprenant les cuves d'électrolyses C0, C2 et C3, la cuve C1 ayant été retirée. Ledit circuit comprenant six cales de court-circuitage/équipotentiellles (ccc/cep) pour isoler électriquement les parties du circuit électrique (CE) en contact avec les emplacements de cuves E1 et E2.

EXEMPLES

[0045] D'autres avantages, buts et caractéristiques particulières de la présente invention ressortiront des exemples qui suivent, faits dans un but illustratif et non limitatif.

[0046] Dans les exemples qui suivent, les différents paramètres ont été mesurés par les techniques ci-après détaillées :

[0047] **Mesure de l'intensité de courant**

[0048] Les mesures sont effectuées au moyen de l'appareil TORE de la société ABB, Suisse/Suède.

[0049] **Mesure de la densité de flux d'un champ magnétique**

[0050] Les mesures sont effectuées au moyen de l'appareil VGM (« *Vector Gaussmeter Model* ») commercialisé par la société AlphaLab INC. (USA).

[0051] **Exemple 1 : Exemple d'un ensemble de cuves d'électrolyse successives disposées en série et alimentées en courant par un même circuit électrique**

[0052] Cet exemple décrit un ensemble de cuves d'électrolyse alimentées par un même circuit électrique comprenant des barres conductrices pouvant faire l'objet de réparation selon le procédé de l'invention.

[0053] Lesdites barres conductrices se trouvent à l'extérieur desdites cuves et en contact avec celles-ci. Lesdites barres conductrices sont en aluminium 1370-50

(commercialisées par la société Aluminium Pechiney).

- [0054] Le circuit électrique, alimentant par un courant électrique continu de forte intensité des cuves (C) d'électrolyse successives, décrit dans cet exemple comprend une barre conductrice à réparer (BCR).
- [0055] La série de cuves d'électrolyse comprenant 264 cuves d'électrolyse de synthèse d'aluminium (commercialisées par la société Aluminium Pechiney, France, sous la référence commerciale AP Technology) d'une contenance de 25000 L et chaque cuve comprenant :
- 5T de bain électrolytique (be) ;
 - 20 anodes (an) reliées au circuit électrique (CE) et immergée partiellement dans le bain d'électrolyse (be),
 - 20 cathodes (ca) en contact avec l'aluminium liquide,
 - Les barres cathodiques (bca) en contact d'une part avec une cathode (ca) et d'autre part avec une barre conductrice.
- [0056] Les anodes sont maintenues ensemble par une structure en acier.
- [0057] Chaque bain d'électrolyse comprend, en % en poids par rapport au poids total du bain d'électrolyse, 80% de cryolithe (commercialisé par la société Aluminium Dunkerque sous la référence Bain Broyé Lingoté), 11% d'excès de fluorure d'aluminium (commercialisé par la société Fluorsid sous la référence commerciale Aluminium Fluoride) et 4.5 % de fluorure de calcium (commercialisé par la société EMSA Technologia Quimica sous la référence commerciale Bricoyal).
- [0058] La barre conductrice à réparer (BCR) en contact avec une première cuve (C1) est adjacente à une seconde cuve (C2) qui précède la première cuve dans le circuit électrique, la première et la seconde cuve étant elles-mêmes adjacentes.
- [0059] **Exemple 2 : Exemple de mise en œuvre du procédé de l'invention sur un dispositif tel que décrit dans l'exemple 1**
- [0060] Cet exemple décrit un procédé qui peut être mis en œuvre pour la réparation d'une barre conductrice à réparer (BCR) dans un circuit électrique (CE) alimentant un ensemble de cuves (C) d'électrolyse.
- [0061] Le procédé de réparation mis en œuvre comprend les étapes suivantes :
- une étape de retrait du bain d'électrolyse de la première cuve d'électrolyse (C1). Le soutirage est réalisé dans une poche permettant de recevoir le bain d'électrolyse, en créant une dépression dans la poche,
 - une étape de retrait de la première cuve d'électrolyse (C1) de l'emplacement de cuve (E1). Ce retrait se fait au moyen d'un pont roulant.
 - une étape d'immersion complète des anodes de la seconde cuve (C2) dans le bain d'électrolyse par abaissement de la structure en acier afin qu'elles entrent en contact avec l'aluminium synthétisé présent au niveau des cathodes dans ladite seconde cuve

d'électrolyse (C2) ce qui provoque un court-circuit isolant la seconde cuve (C2) du circuit électrique (CE),

- ajout de 6 cales de court-circuitage (ccc) et de 2 cales équipotentiellles (cep) dans le circuit électrique (CE) au niveau des barres conductrices adjacentes précédant la première et seconde cuves (C1, C2) de manière à isoler électriquement la première et seconde cuves (C1, C2) du circuit électrique (CE),
- une étape de réduction de l'intensité du courant électrique parcourant ledit circuit électrique (CE) à une valeur égale à 250 kA, réduisant ainsi le champ magnétique au niveau de la barre conductrice à réparer (BCR) à une densité de flux égale à 0,01 T tout en poursuivant l'électrolyse dans les autres cuves d'électrolyse que la première et seconde cuves d'électrolyse, et
- une étape de réparation de la barre conductrice à réparer (BCR) par soudure semi-automatique MIG (métal sous gaz inerte) avec des plaquettes de soudure comprenant un alliage d'aluminium 1370-50, commercialisé par PCP ALUMINIUM (Canada) présentant un coefficient de dilatation linéique de $23,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$,
- une étape d'augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à une valeur égale à 390 kA,
- une étape d'émersion partielle des anodes de la seconde cuve d'électrolyse (C2) du bain d'électrolyse (be) par élévation de la superstructure en acier,
- une étape de retrait des cales de court-circuitage (ccc) et des cales équipotentiellles (cep) du circuit électrique (CE), de sorte que la seconde cuve d'électrolyse (C2) ne soit plus isolée du circuit électrique (CE) et que la première cuve d'électrolyse (C1) reste isolée du circuit électrique,
- une étape de mise en place d'une nouvelle première cuve d'électrolyse (C1) dans l'emplacements de cuve (E1) mise en œuvre à l'aide d'un point roulant permettant le dépôt de la nouvelle première cuve d'électrolyse (C1), la réalisation de soudures pour connecter ladite première cuve au circuit électrique, et la mise en place d'une superstructure en acier acheminée également par pont roulant,
- une étape de retrait des cales de court-circuitage (ccc) et des cales équipotentiellles (cep) restantes du circuit électrique (CE), et
- une étape de réintroduction du bain d'électrolyse (be) à l'intérieur de la première cuve d'électrolyse (C1), à partir des poches.

[0062] Ce procédé a été mis en œuvre à plusieurs reprises, et a notamment permis de réparer avec succès les trois barres suivantes : B1, B2 et B3.

[0063] Tableau 1 : Durée de mise en œuvre d'un procédé de réparation d'une barre conductrice à réparer (BCR) selon l'invention.

[Tableaux1]

| Barres conductrices à réparer | T1 (min) | T2 (min) |
|-------------------------------|----------|----------|
| B1 | 50 | 80 |
| B2 | 35 | 56 |
| B3 | 46 | 61 |

T1 : Temps de mise en œuvre de l'étape de réparation par soudure décrite dans l'exemple 1 ; et

T2 : Temps de mise en œuvre de l'ensemble des étapes décrite dans l'exemple 1 allant de l'étape de réduction de l'intensité du courant électrique parcourant ledit circuit électrique (CE) à l'étape d'augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à une intensité nominale des cuves d'électrolyse (CE).

[0064] Ce procédé présente une durée moyenne de réparation par soudure en présence d'un champ magnétique de 45 minutes.

[0065] De plus, ce procédé présente une durée moyenne de mise en œuvre d'un procédé de réparation d'une barre conductrice en présence d'un champ magnétique allant de l'étape de réduction de l'intensité du courant électrique parcourant ledit circuit électrique à l'étape d'augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à une intensité nominale des cuves d'électrolyse de 66 minutes.

[0066] Le procédé de l'invention permet en un temps très court de réparer des barres conductrices dégradées, tout en assurant la sécurité du réparateur, en évitant l'arrêt de la sous-station électrique et en permettant la poursuite de l'électrolyse dans la majorité des autres cuves d'électrolyse. De plus, le procédé selon l'invention est de plus très facile à mettre en œuvre et très intéressant économiquement.

Références bibliographiques

[0067] Référence 1: K. Grjotheim, H. Kvande, Understanding the Hall-Heroult Process for Production of Aluminium ; Aluminium-Verlag, Dusseldorf, 1986

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de réparation d'une barre conductrice à réparer (BCR) d'un circuit électrique (CE) alimentant par un courant électrique continu en série des cuves (C) d'électrolyse successives via des barres conductrices, lesdites barres conductrices se trouvant à l'extérieur desdites cuves et en contact avec celles-ci, ledit courant électrique générant un champ magnétique notamment au niveau des cuves et des barres conductrices, dans lequel chaque cuve d'électrolyse est installée dans un emplacement de cuve (E0, E1, E2, E3) et chaque cuve comprenant :
- un bain d'électrolyse (be),
 - une anode (an) reliée au circuit électrique (CE) et immergée partiellement dans le bain d'électrolyse (be),
 - une cathode (ca) en contact avec l'aluminium liquide,
 - une barre cathodiques (bca) en contact d'une part avec la cathode (ca) et d'autre part avec une barre conductrice,
- procédé dans lequel la barre conductrice à réparer (BCR) en contact avec une première cuve (C1) est adjacente à une seconde cuve qui précède la première cuve dans le circuit électrique, la première et la seconde cuve étant elles-mêmes adjacentes, ledit procédé comprenant :
- une étape d'isolement électrique de la première et seconde cuves (C1, C2) du circuit électrique (CE),
 - une étape de réduction de l'intensité du courant électrique parcourant ledit circuit électrique (CE) et l'ensemble des cuves de façon à réduire le champ magnétique au niveau de la barre conductrice à réparer (BCR) à une densité de flux inférieure ou égale à 0,01 T tout en poursuivant l'électrolyse dans les autres cuves d'électrolyse que la première et seconde cuves d'électrolyse, et
 - une étape de réparation de la barre conductrice à réparer (BCR) par soudure.
- [Revendication 2] Procédé de réparation selon la revendication 1, dans lequel l'étape de réparation par soudure est réalisée avec une plaquette de soudure d'un matériau compatible avec la barre conductrice à réparer (BCR).
- [Revendication 3] Procédé de réparation selon la revendication 2, dans lequel la plaquette de soudure comprend un alliage d'aluminium présentant un coefficient de dilatation linéique de 20.10^{-6} à $25.10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$.
- [Revendication 4] Procédé de réparation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,

- dans lequel l'étape d'isolement de la première et seconde cuves (C1, C2) du circuit électrique (CE) est réalisée par l'ajout et/ou le retrait d'une ou plusieurs cales de court-circuitage (ccc) et/ou d'une ou plusieurs cales équipotentielles (cep) dans le circuit électrique (CE).
- [Revendication 5] Procédé de réparation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'étape de réduction de l'intensité du courant électrique comprend une diminution progressive de l'intensité du courant jusqu'à une valeur inférieure ou égale à 270 kA.
- [Revendication 6] Procédé de réparation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les cuves d'électrolyse (C) sont des cuves d'électrolyse de synthèse d'aluminium et les bains d'électrolyse (be) sont des bains d'électrolyse de synthèse d'aluminium.
- [Revendication 7] Procédé de réparation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les bains d'électrolyse (be) comprennent de la cryolithe, un excès de fluorure d'aluminium (AlF_3) et du fluorure de calcium (CaF_2).
- [Revendication 8] Procédé de réparation selon la revendication 6 ou 7 comprenant en outre, entre les étapes d'isolement de la première et seconde cuves (C1, C2) et de réduction de l'intensité du courant électrique, dans l'ordre les étapes suivantes :
- une étape de retrait du bain d'électrolyse (be) de la première cuve d'électrolyse (C1),
 - une étape de retrait de la première cuve d'électrolyse (C1) de l'emplacement de cuve (E1),
 - une étape d'immersion complète de l'anode (an) de la seconde cuve (C2) dans le bain d'électrolyse (be) afin qu'elle entre en contact avec le métal synthétisé présent au niveau de la cathode (ca) dans ladite seconde cuve d'électrolyse (C2) ce qui provoque un court-circuit isolant la seconde cuve (C2) du circuit électrique (CE).
- [Revendication 9] Procédé de réparation selon la revendication 8 comprenant en outre, après l'étape de réparation de la barre conductrice à réparer (BCR) par soudure, dans l'ordre les étapes suivantes :
- une étape d'augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à une intensité nominale des cuves d'électrolyse (C),
 - une étape d'émersion partielle de l'anode (an) de la seconde cuve d'électrolyse (C2) du bain d'électrolyse (be),
 - une étape de mise en place d'une première cuve d'électrolyse (C1) dans l'emplacements de cuve (E1),
 - une étape de retrait de la ou les cales de court-circuitage (ccc) et/ou de

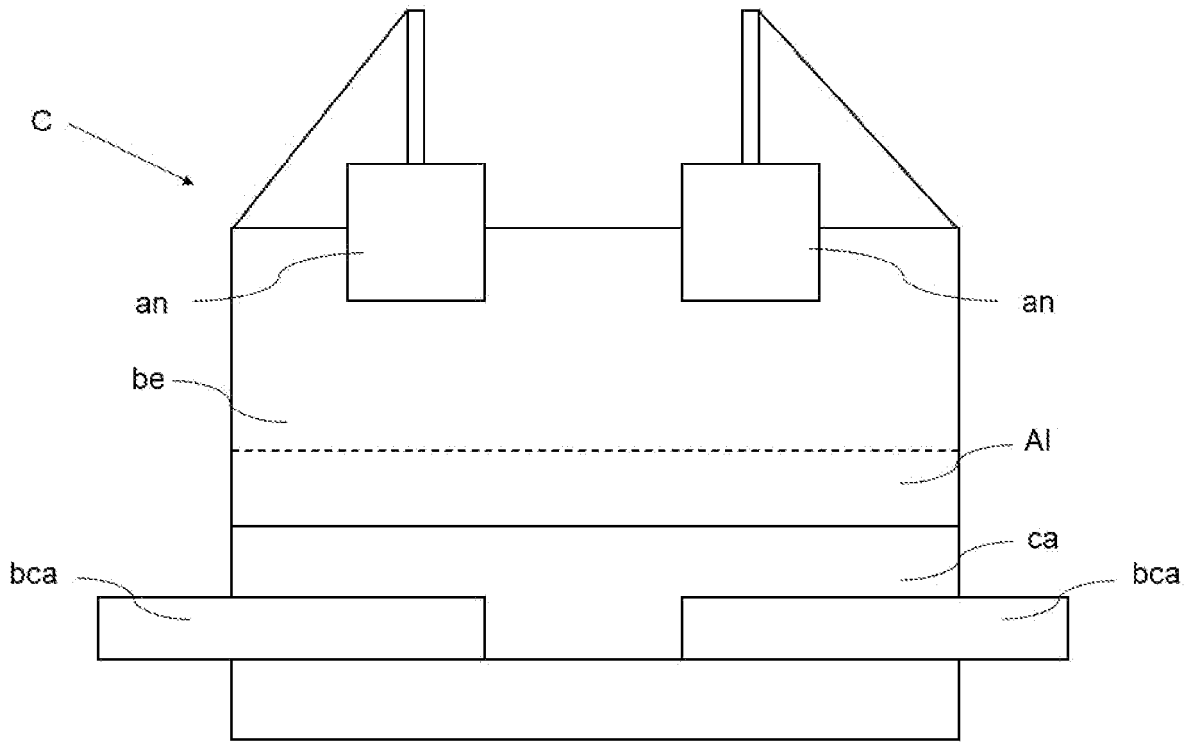
la ou les cales équipotentielles (cep) du circuit électrique (CE), et
- une étape de réintroduction du bain d'électrolyse (be) à l'intérieur de la première cuve d'électrolyse (C1).

[Revendication 10] Procédé de réparation selon la revendication 9, comprenant en outre, entre les étapes d'émersion partielle de l'anode (an) de la seconde cuve d'électrolyse (C2) et de mise en place d'une première cuve d'électrolyse (C1), une étape de retrait de la ou les cales de court-circuitage (ccc) et/ou de la ou les cales équipotentielles (cep) du circuit électrique (CE), de sorte que la seconde cuve d'électrolyse (C2) ne soit plus isolée du circuit électrique (CE) et que la première cuve d'électrolyse (C1) reste isolée du circuit électrique.

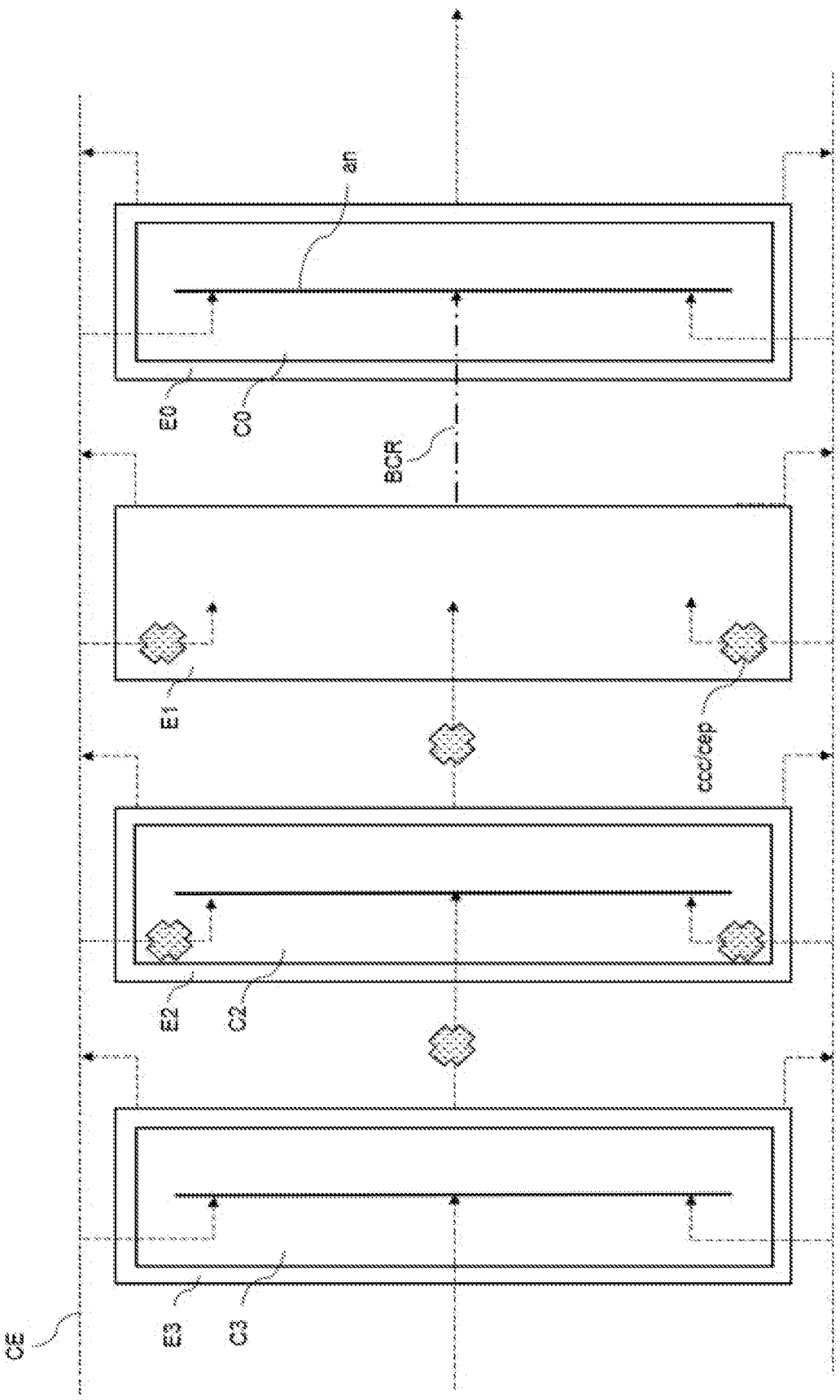
[Revendication 11] Procédé de réparation selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, comprenant en outre, avant l'étape d'immersion complète de l'anode (an) de la seconde cuve (C2) dans le bain d'électrolyse (be), une étape préliminaire de retrait d'une partie ou de la totalité du bain d'électrolyse (be) de la seconde cuve d'électrolyse (C2).

[Revendication 12] Procédé de réparation selon la revendication 11, comprenant en outre, après l'étape d'émersion partielle de l'anode (an) de la seconde cuve d'électrolyse (C2) du bain d'électrolyse (be), une étape ultérieure de réintroduction du bain d'électrolyse (be) à l'intérieur de la seconde cuve d'électrolyse (C2).

[Fig. 1]



[Fig. 2]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 925759
FR 2312402

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS | | Revendication(s) concernée(s) | Classement attribué à l'invention par l'INPI |
|---|--|--|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | | |
| X | US 4 592 821 A (KEINBORG MAURICE [FR] ET AL) 3 juin 1986 (1986-06-03) * revendications 1-8; figure 1 * * colonne 4, lignes 18-36 * * colonne 8, lignes 26-59 * * colonne 7, lignes 10-68 * ----- | 1-12 | C25C 3/00 |
| X | US 2012/305630 A1 (YANG TAO [CN] ET AL) 6 décembre 2012 (2012-12-06) * le document en entier * ----- | 1-12 | |
| X | DATABASE WPI Week 200679 Thomson Scientific, London, GB; AN 2006-767577 XP002811701, & CN 1 749 437 A (HENAN ZHONGFU IND CO LTD) 22 mars 2006 (2006-03-22) * abrégé * & CN 1 749 437 A (ZHONGFU INDUSTRY CO LTD HENAN [CN]) 22 mars 2006 (2006-03-22) * revendications 1, 2; figures 1, 2 * ----- | 1-12 | |
| A | DATABASE WPI Week 201235 Thomson Scientific, London, GB; AN 2012-F34451 XP002811702, & CN 102 424 984 A (GUIYANG ALUMINIUM & MAGNESIUM DESIGNING) 25 avril 2012 (2012-04-25) * abrégé * & CN 102 424 984 A (GUIYANG AL & MG DES INST CO) 25 avril 2012 (2012-04-25) * alinéa [0002]; revendication 1; figure 1 * ----- -/- | 1-7 | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) C25C |
| Date d'achèvement de la recherche | | Examineur | |
| 6 juin 2024 | | Desbois, Valérie | |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS | | | |
| 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 bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant | |

2
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 925759
FR 2312402

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS | | Revendication(s) concernée(s) | Classement attribué à l'invention par l'INPI |
|---|---|--|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | | |
| A | GB 2 557 972 A (DUBAI ALUMINIUM PJSC [AE]) 4 juillet 2018 (2018-07-04) * page 3, ligne 9 - page 5, ligne 38 * * page 15, lignes 6-19 * * revendications 1-12 * ----- | 1-7 | |
| A | DATABASE WPI Week 201129 Thomson Scientific, London, GB; AN 2011-E45610 XP002811703, & CN 101 985 761 A (HENAN ZHONGFU IND CO LTD) 16 mars 2011 (2011-03-16) * abrégé * & CN 101 985 761 A (HENAN ZHONGFU IND CO LTD) 16 mars 2011 (2011-03-16) ----- | 1,6-12 | |
| | | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) |
| | | | |
| Date d'achèvement de la recherche | | Examineur | |
| 6 juin 2024 | | Desbois, Valérie | |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS | | T : théorie ou principe à la base de l'invention | |
| X : particulièrement pertinent à lui seul | | E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure | |
| Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un | | à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date | |
| autre document de la même catégorie | | de dépôt ou qu'à une date postérieure. | |
| A : arrière-plan technologique | | D : cité dans la demande | |
| O : divulgation non-écrite | | L : cité pour d'autres raisons | |
| P : document intercalaire | | | |
| | | & : membre de la même famille, document correspondant | |

2

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2312402 FA 925759**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 06 - 06 - 2024
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité au rapport de recherche | | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|------------|------------------------|---|------------------------|
| US 4592821 | A | 03-06-1986 | AU 559619 B2 | 12-03-1987 |
| | | | BR 8404990 A | 20-08-1985 |
| | | | CA 1232869 A | 16-02-1988 |
| | | | CH 660496 A5 | 30-04-1987 |
| | | | DE 3436442 A1 | 11-04-1985 |
| | | | ES 8601335 A1 | 16-10-1985 |
| | | | FR 2552782 A1 | 05-04-1985 |
| | | | GB 2147610 A | 15-05-1985 |
| | | | GR 80533 B | 13-12-1984 |
| | | | IN 163482 B | 01-10-1988 |
| | | | IS 2947 A7 | 05-04-1985 |
| | | | IT 1207487 B | 25-05-1989 |
| | | | JP S6096784 A | 30-05-1985 |
| | | | KR 850003912 A | 29-06-1985 |
| | | | MX 158062 A | 29-12-1988 |
| | | | MY 8700534 A | 31-12-1987 |
| | | | NL 8402994 A | 01-05-1985 |
| | | | NO 164849 B | 13-08-1990 |
| | | | NZ 209729 A | 30-05-1988 |
| | | | SE 456505 B | 10-10-1988 |
| | | | US 4592821 A | 03-06-1986 |
| YU 168084 A | 30-04-1988 | | | |
| ZA 847803 B | 28-05-1986 | | | |
| ----- | | | | |
| US 2012305630 | A1 | 06-12-2012 | AU 2010321499 A1 | 21-06-2012 |
| | | | CA 2780832 A1 | 26-05-2011 |
| | | | CA 2929202 A1 | 26-05-2011 |
| | | | CN 102059428 A | 18-05-2011 |
| | | | MY 163429 A | 15-09-2017 |
| | | | US 2012305630 A1 | 06-12-2012 |
| | | | WO 2011060614 A1 | 26-05-2011 |
| ----- | | | | |
| CN 1749437 | A | 22-03-2006 | AUCUN | |
| ----- | | | | |
| CN 102424984 | A | 25-04-2012 | AUCUN | |
| ----- | | | | |
| GB 2557972 | A | 04-07-2018 | GB 2557972 A | 04-07-2018 |
| | | | WO 2018116076 A1 | 28-06-2018 |
| ----- | | | | |
| CN 101985761 | A | 16-03-2011 | AUCUN | |
| ----- | | | | |