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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
23 mai 2024 (23.05.2024)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/105247 A1

(51) Classification internationale des brevets :
C03B 5/03 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2023/082229

(22) Date de dépôt international :
17 novembre 2023 (17.11.2023)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2211995 18 novembre 2022 (18.11.2022) FR

(71) Déposant : **SAINT-GOBAIN ISOVER** [FR/FR] ; Tour Saint-Gobain, 12 Place de l'Iris, 92400 COUR (FR).

(72) Inventeurs : **LISMONDE, Michel** ; 39 Quai Lucien Lefranc, 93300 AUBERVILLIERS (FR). **MAUGENDRE, Stéphane** ; 39 Quai Lucien Lefranc, 93300 AUBERVILLIERS (FR). **SANTAMARIA, Romain** ; 39 Quai Lucien Lefranc, 93300 AUBERVILLIERS (FR). **DE DIANOUS, Philippe** ; 39 Quai Lucien Lefranc, 93300 AUBERVILLIERS (FR). **GERVAIS, Joel** ; 39 Quai Lucien Lefranc, 93300 AUBERVILLIERS (FR).

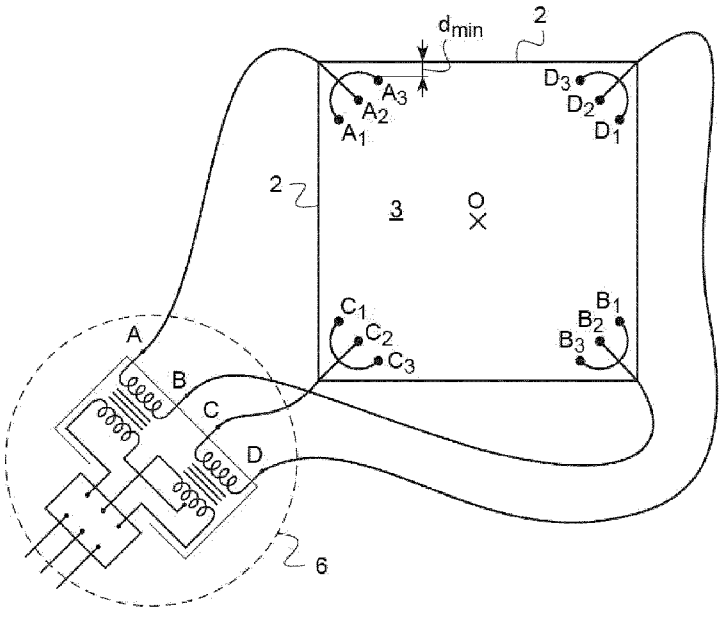
(74) Mandataire : **SAINT-GOBAIN RECHERCHE** ; 39 Quai Lucien Lefranc, 93300 AUBERVILLIERS (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,

(54) **Title:** ELECTRIC GLASS-MAKING FURNACE

(54) **Titre :** FOUR VERRIER ÉLECTRIQUE

Fig. 2



(57) **Abstract:** The invention relates to an at least partially electric glass-making furnace (1), comprising a melting tank (2) made of refractory materials that is suitable for containing a bath (3) of molten batch materials and a plurality of immersion heating electrodes (An, Bn, Cn, Dn), which are immersed from the free surface of said bath (3) and supplied with electric current by an electrical facility (4). The electrical facility (4) is configured to generate a two-phase alternating current. This makes it possible to heat larger furnaces/reduce the number of electrodes.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un four verrier (1) au moins en partie électrique, comprenant une cuve (2) de fusion en matériaux réfractaires adaptée pour contenir un bain (3) de matières vitrifiables en fusion et une pluralité d'électrodes (An, Bn, Cn, Dn) de chauffage

WO 2024/105247 A1

[Suite sur la page suivante]

KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Publiée:

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

plongeant, qui sont immergées à partir de la surface libre dudit bain (3) et alimentées en courant électrique par une installation électrique (4). L'installation électrique (4) est adaptée pour générer un courant alternatif diphasé. Ceci permet de chauffer des fours de plus grande taille / de réduire le nombre d'électrodes.

Description

Titre de l'invention : Four verrier électrique

[0001] La présente invention appartient au domaine général de la production de verre. Elle concerne plus particulièrement un four verrier au moins en partie électrique adapté pour la fusion de matières vitrifiables. Elle concerne également un procédé de fusion de matières vitrifiables de sorte à pouvoir fabriquer du verre. L'invention trouve une application particulièrement avantageuse, bien que nullement limitative, dans la production de laine de verre, de laine de roche, de fils de verre textile et/ou de verre plat ou creux.

[0002] Dans la présente description, on comprend par « matières vitrifiables », ou « matières premières », tous les matériaux, minerais naturels ou produits synthétisés, matériaux issus de recyclage du type calcin etc.., qui peuvent entrer dans la composition venant alimenter un four verrier. Cela inclut le sable silicique, mais également tous les additifs (carbonate de sodium, calcaire, dolomie, alumine…), les déchets (incluant des fibres minérales) qui peuvent être issus de la production desdites fibres ou de chantiers (construction ou déconstruction), tous les combustibles liquides ou solides éventuels (plastique de matériau composite ou non, matières organiques, charbons), et tout type de calcin. Sont également inclus des matériaux recyclables contenant des éléments combustibles (organiques) tels que par exemple, les fibres minérales ensimées, avec liant (du type de celles utilisées dans l'isolation thermique ou acoustique ou de celles utilisées dans le renforcement de matière plastique), les vitrages feuilletés avec des feuilles de polymère du type polyvinylbutyral tels que des parebrises, des bouteilles en verre (calcin ménager), ou tout type de matériau " composite " associant du verre et des matériaux plastiques tels que certaines bouteilles. Sont également recyclables les " composites verre-métal ou composés métalliques " tels que vitrages fonctionnalisés avec des revêtements contenant des métaux. Dans la description, le « bain de matières vitrifiables » ou « bain de verre » désigne le produit de la fusion de ces matières premières.

[0003] De même, on comprend par « verre » le verre au sens large, c'est-à-dire englobant tout matériau à matrice vitreuse, vitrocéramique ou céramique.

[0004] En outre, le terme de « fabrication » comprend l'étape de fusion indispensable des matières vitrifiables et, le cas échéant, toutes les étapes ultérieures/complémentaires visant à affiner/conditionner le verre en fusion en vue de sa mise en forme définitive, notamment sous forme de verre plat (vitrages), de verre creux (flacons, bouteilles), de verre sous forme de laine minérale (en particulier laine de roche ou laine de verre) utilisée pour ses propriétés d'isolation thermique ou phonique, ou même éventuellement de verre sous forme de fils dits textile utilisés dans le renforcement.

[0005] On connaît de l'état de la technique, et notamment du brevet EP0671116B1, différents exemples de conception de fours électriques dans lesquels le courant est conduit dans le bain de matières vitrifiables par des électrodes dites « plongeantes », qui sont immergées à partir de la surface libre du bain. Ce type d'électrode plongeante se distingue en particulier des électrodes dites « immergées », qui sont disposées verticalement dans le bain à partir de la sole du four ou horizontalement, en passant au travers des parois latérales du four. En comparaison avec ces dernières, les électrodes plongeantes présentent un certain nombre d'avantages. Tout d'abord, elles évitent bien entendu les difficultés liées au passage des électrodes immergées à travers le réfractaire de sole ou de parois latérales, et, également, les problèmes de remplacement de ces électrodes lorsqu'usées, ainsi que les problèmes d'étanchéité de la cuve de fusion ou encore d'usure des réfractaires, notamment dus à une température élevée qui favorise l'attaque du réfractaire et à de puissants courants de convection qui se développent à proximité des électrodes en cours de fonctionnement.

[0006] De manière usuelle, ces électrodes plongeantes sont alimentées en courant triphasé. Le courant triphasé présente de nombreux avantages, au premier rang desquels le fait que c'est là le courant dit « industriel » qui est communément distribué aux usines par les fournisseurs d'énergie, d'où l'adaptation des machines qui en découle. Le courant triphasé délivre de plus une puissance instantanée sans composante pulsée contrairement, par exemple, au courant monophasé. A noter cependant que le principe d'équilibre des phases tend à la mise en œuvre d'une disposition triangulaire ou hexagonale des électrodes à la surface du bain de verre. Si une telle contrainte géométrique ne semble a priori pas poser de problème rédhibitoire dans le contexte d'un four électrique de petite taille, il en pose en revanche dans le contexte d'un four électrique de grande taille, dont le bain de verre s'étend sur plus de 25 m², préférentiellement plus de 40 m², voire plus de 100m2 et dans lequel la largeur de bord à bord du bain de verre est supérieure à 5 m, préférentiellement supérieure à 6,5 m. Dans une telle configuration et au vu des contraintes géométriques précitées, le courant tend à se concentrer entre les électrodes d'un même bord de cuve et/ou de bords adjacents, réduisant ainsi la distance parcourue par le courant au sein du bain de verre et donc la résistance du bain de verre au passage de ce courant. Pour une puissance électrique prédéterminée correspondant à l'énergie nécessaire à la fusion des matières vitrifiables, et dans le contexte d'un bain de verre n'offrant qu'une résistance réduite, il est ainsi nécessaire d'accroître l'intensité du courant délivré. Or, l'usure des électrodes et des réfractaires constituant la cuve augmente avec l'intensité du courant délivré par électrode. Afin de pallier ce problème d'usure, la solution qui s'impose naturellement est de répartir le courant délivré entre un plus grand nombre d'électrodes, ce qui a cependant pour inconvénient d'augmenter les coûts d'exploitation de ces électrodes –

ces dernières étant plus nombreuses - sans pour autant résoudre certains problèmes d'inhomogénéité de distribution du courant électrique au sein du bain de verre.

[0007] La présente invention a pour objectif de remédier à tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur, notamment ceux exposés ci-avant.

[0008] A cet effet, et selon un premier aspect, l'invention concerne un four verrier au moins en partie électrique, comprenant une cuve de fusion en matériaux réfractaires adaptée pour contenir un bain de matières vitrifiables en fusion et une pluralité d'électrodes de chauffage plongeantes, qui sont immergées à partir de la surface libre dudit bain et alimentées en courant électrique par une installation électrique, ledit four étant caractérisé en ce que ladite installation électrique est adaptée pour générer un courant alternatif diphasé.

[0009] Au sens de l'invention, l'expression « courant alternatif diphasé » désigne un système à deux phases de même fréquence et de même amplitude qui sont en quadrature, c'est-à-dire déphasées entre elles de 90° ou $\pi/2$ radians.

[0010] Dans un contexte contemporain où le courant est distribué par les fournisseurs d'énergie sous forme triphasée, la mise en œuvre d'une installation électrique adaptée pour transformer ce courant triphasé en un courant diphasé implique une complexification technique a priori inutile et une augmentation non négligeable du coût initial de cette installation technique.

[0011] En dépit de ces inconvénients a priori rédhibitoires et dans le contexte spécifique de l'alimentation d'électrodes plongeantes de fours verriers, les inventeurs ont constaté qu'un tel système diphasé permet à un concepteur de four verrier de se libérer de certaines contraintes géométriques propres aux systèmes triphasés et des inconvénients techniques qui y sont liés, dont le nombre important d'électrodes à mettre en œuvre et la distribution inhomogène du courant électrique au sein du bain de matières vitrifiables.

[0012] Par contraste, un système diphasé offre à un concepteur de four verrier la possibilité d'éloigner davantage les électrodes alimentées par une même phase, en les positionnant par exemple à proximité de bords opposés de la cuve de fusion. En comparaison avec un système triphasé, et pour une puissance électrique donnée, la résistance générée par le bain de verre – qui augmente avec la distance parcourue par le courant en son sein - est plus importante, ce qui implique une réduction de l'intensité électrique à délivrer. Il est alors possible de répartir cette intensité entre un nombre réduit d'électrodes et/ou de limiter l'intensité délivrée à chaque électrode, ce qui permet d'accroître leur durée de vie.

[0013] Selon un mode de réalisation particulier, ladite installation électrique comprend au moins un transformateur diphasé adapté pour générer deux groupes de sortie monophasée avec une différence de phase de 90° entre chaque groupe de sortie, chaque

groupe de sortie alimentant au moins une paire desdites électrodes.

[0014] Au sens de l'invention, l'expression « groupe de sortie » désigne un ensemble de sorties du transformateur diphasé qui sont en adéquation de phase. De manière classique, et tel qu'illustré à la [Fig.2] et dans la description pour un mode de réalisation particulier de l'invention, un groupe de sortie ne comprend qu'une unique sortie qui est connectée à une pluralité de paires d'électrodes (trois dans le mode de réalisation illustré à la [Fig.2]), qu'elle alimente en courant alternatif monophasé.

[0015] Selon un mode de réalisation particulier, au moins un groupe de sortie dudit au moins un transformateur diphasé alimente un faisceau d'au moins deux paires électrodes, préférentiellement trois paires électrodes.

[0016] Le fait de connecter un groupe de sortie à un faisceau ou en d'autres termes, à une pluralité de paires d'électrodes, permet de répartir l'intensité du courant entre elles, et ainsi de limiter dans le temps l'usure de chacune d'elles. A contrario, la mise en œuvre d'une unique paire d'électrode alimentée par un groupe de sorties permet de limiter le coût initial de l'installation.

[0017] Selon un mode de réalisation particulier, au moins un groupe de sortie dudit au moins un transformateur diphasé comprend une ou plusieurs sorties.

[0018] Selon ce mode de réalisation alternatif illustré notamment à la [Fig.3], un groupe de sortie comprend plusieurs sorties, montées par exemple en parallèle, chaque sortie étant connectée à une ou plusieurs paires d'électrodes. Dans tous les cas, le courant monophasé délivré à chacune de ces électrodes est en adéquation de phase.

[0019] Selon un mode de réalisation particulier, chaque faisceau d'électrodes est agencé dans le bain de matières vitrifiables en fusion de manière à respecter une symétrie centrale selon un plan théorique horizontal.

[0020] Le respect d'une telle symétrie axiale permet d'obtenir une distribution plus homogène du courant entre les électrodes, et donc de limiter la probabilité de voir une de ces électrodes s'user plus rapidement que les autres.

[0021] Selon un mode de réalisation particulier, les électrodes d'un même groupe de sortie sont agencées à proximité de parois opposées de la cuve.

[0022] Cette disposition géométrique avantageuse des paires d'électrodes est particulièrement adaptée au régime diphasé, dans lequel la distance entre électrodes connectées aux deux bornes d'un même groupe de sorties peut être augmentée sans risque de voir des électrodes disposées à proximité d'une même paroi échanger entre elles.

[0023] Selon un mode de réalisation particulier, lesdites paires d'électrodes alimentées par un même transformateur diphasé sont agencées en quadrilatère selon un plan théorique horizontal, préférentiellement en rectangle, préférentiellement en carré, dans le bain de matières vitrifiables en fusion.

[0024] Cette disposition géométrique avantageuse des paires d'électrodes est particulièrement adaptée au régime diphasé, et permet d'équilibrer les intensités. Une telle disposition en quadrilatère contraste notamment avec les dispositions de formes triangulaires ou hexagonales, qui sont propres aux systèmes triphasés.

[0025] Selon un mode de réalisation particulier, la distance minimale entre chaque électrode et la paroi de la cuve la plus proche est supérieure à 450 mm, préférentiellement supérieure à 600 mm, préférentiellement supérieure à 800 mm, préférentiellement supérieure à 950 mm, préférentiellement supérieure à 1075 mm.

[0026] Au sens de l'invention, une telle distance minimale est mesurée selon la normale à la paroi de la cuve la plus proche de l'électrode, et qui passe par cette dernière. A noter que les mouvements de convection du bain de verre générés à proximité de chaque électrode tendent à corroder la paroi attenante de la cuve. L'éloignement de l'électrode de la cuve permet donc de limiter cette usure prématurée de la paroi de cuve.

[0027] Selon un mode de réalisation particulier, chacune desdites électrodes comprend un bras de projection horizontale, préférentiellement de section carrée, dont l'étendue horizontale est supérieure à 2000 mm, préférentiellement supérieure à 2500 mm, préférentiellement supérieure à 3000 mm, préférentiellement supérieure à 3500 mm, préférentiellement supérieure à 3700 mm, préférentiellement supérieure à 3900 mm.

[0028] La mise en œuvre d'un bras d'électrode de section carrée confère à cette dernière une meilleure résistance à la flexion. Ceci est d'autant plus utile que le bras d'électrode est long. Un bras d'électrode long permet en particulier d'éloigner davantage l'électrode de la paroi de cuve attenante, afin de limiter l'usure de cette dernière. Cet éloignement de l'électrode de la paroi de la cuve est d'autant plus intéressant en cas d'augmentation de la puissance du four. En effet, la puissance dépend de la tension et du courant, ces deux paramètres sont alors ajustés avec des valeurs en hausse avec l'augmentation de puissance. Il en résulte une intensification des mouvements de convection du bain de verre générés à proximité de chaque électrode qui tendent à corroder la paroi attenante de la cuve. L'éloignement de l'électrode de la paroi de la cuve permet de limiter cette usure prématurée de la paroi de cuve.

[0029] Selon un mode de réalisation particulier, ladite installation électrique est adaptée de sorte que toutes les paires d'électrodes connectées à un même groupe de sortie dudit transformateur diphasé sont alimentées en un courant électrique de même tension.

[0030] Selon un mode de réalisation particulier, le four verrier est totalement électrique, et comprend préférentiellement une voûte froide (5).

[0031] Au sens de l'invention, un four est dit « totalement électrique » au sens que la totalité d'énergie de chauffage apportée au bain de verre est de nature électrique. Un tel four est ainsi dépourvu de brûleurs de chauffage.

[0032] Selon un mode de réalisation particulier, le four verrier comprend une pluralité

desdits transformateurs diphasés, préférentiellement trois.

[0033] La mise en œuvre d'une pluralité de transformateurs diphasés est particulièrement adaptée pour l'alimentation en électricité de fours de grande taille, pour lesquels la mise en œuvre d'un système diphasé est particulièrement avantageuse.

[0034] Selon un mode de réalisation particulier, ladite cuve de fusion est dimensionnée de sorte que ledit bain de matières vitrifiables en fusion présente en surface une aire supérieure à 25 m^2, préférentiellement supérieure à 40 m^2, préférentiellement supérieure à 60 m^2, préférentiellement supérieure à 100 m^2, et présente préférentiellement entre deux parois opposées de ladite cuve une distance supérieure à 5 m, préférentiellement supérieure à 6,5 m.

[0035] De telles dimensions se rapportent à des fours électriques dits de grande taille, pour lesquels la mise en œuvre d'un système diphasé est particulièrement avantageuse.

[0036] La réalisation de ces fours électriques dits de grande taille se heurte habituellement à des obstacles techniques pour l'Homme du métier.

[0037] Le premier obstacle tient au besoin d'une puissance électrique supérieure pour la fusion de matières vitrifiables. Cette puissance électrique supérieure entraine une hausse des valeurs de courant et de tensions au niveau des électrodes une intensification des mouvements de convection du bain de verre générés à proximité de chaque électrode qui tendent à corroder la paroi attenante de la cuve.

[0038] Le second obstacle est que si l'aire de ces fours est importante, il en résulte un bassin avec une longueur et une largeur plus importante. Il est donc nécessaire de pouvoir apporter l'énergie de chauffage en tout point, y compris au centre du four, la zone la plus éloignée de la paroi.

[0039] La présente invention solutionne ces obstacles en combinant avec synergie l'utilisation d'un système diphasé avec des bras dont l'étendue horizontale est supérieure à 2000 mm, préférentiellement supérieure à 2500 mm, préférentiellement supérieure à 3000 mm, préférentiellement supérieure à 3500 mm, préférentiellement supérieure à 3700 mm, préférentiellement supérieure à 3900 mm. Cette synergie est basée sur le fait qu'un système diphasé permet, à puissance donnée, d'avoir moins de courant au niveau des électrodes qu'une système triphasé. On comprend alors qu'il est possible d'obtenir, pour un courant identique, une puissance supérieure. Cette possibilité d'avoir une puissance supérieure voire un courant supérieur est associée aux bras ayant une étendue horizontale plus importante. Ces bras ayant une étendue horizontale plus importante permet d'éloigner les électrodes des parois ce qui permet de diminuer le risque de corrosion des parois de la cuve tout en permettant le chauffage de zones éloignées. Par ailleurs, l'utilisation d'un système diphasé permet de diminuer le nombre d'électrodes et donc de diminuer le coût de l'installation. Le nombre d'électrodes par mètre carré (m^2) est compris entre 0.1 et 0.45, de préférence entre 0.15

et 0.4 et encore plus de préférence entre 0.2 et 0.35.

[0040] Selon un mode de réalisation particulier, ces fours dits de grande taille sont obtenus par addition de plusieurs modules élémentaires. On considère alors que qu'un module élémentaire est l'équivalent d'un four dont la cuve présente une longueur et une largeur d'une valeur définie, ce module élémentaire comprenant une série d'électrodes de chauffage ayant une disposition définie. De préférence, le module élémentaire a une forme carrée. Un four dit de grande taille comprend alors au moins deux modules élémentaires agencés de façon contigüe c'est-à-dire qu'il comprend une cuve dont les dimensions en longueur et largeur sont des multiples de la valeur définie du module élémentaire. Il est alors possible d'obtenir simplement un four dit de grande taille, ce four pouvant avoir des formes diverses comme une forme rectangulaire, carrée, en L ou en T.

[0041] Selon un mode de réalisation particulier, ledit transformateur diphasé alimente un nombre d'électrodes inférieur ou égal à 16, préférentiellement inférieur ou égal à 12, préférentiellement inférieur ou égal à 8.

[0042] Selon que chaque groupe de sortie alimente deux fois quatre électrodes, deux fois trois électrodes ou deux fois deux électrodes, le nombre total d'électrodes alimentées par un même transformateur diphasé varie ainsi respectivement entre 16, 12 et 8 électrodes.

[0043] En comparaison avec un système triphasé et pour un module de bain de verre de surface équivalente - et donc à puissance électrique équivalente - le système diphasé offre la possibilité de réduire le nombre d'électrodes mises en œuvre dans le four.

[0044] Selon un mode de réalisation particulier, l'invention se rapporte à un procédé de fusion de matières vitrifiables mis en œuvre au moyen d'un tel four verrier, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une étape de chauffage électrique dudit bain de matières vitrifiables en fusion au moyen de ladite pluralité d'électrodes, et par application au sein dudit bain d'un courant alternatif diphasé.

[0045] Selon un mode de réalisation particulier, toutes les paires d'électrodes connectées à un même groupe de sortie dudit transformateur diphasé sont alimentées en un courant électrique de même tension.

[0046] Selon un mode de réalisation particulier, l'invention se rapporte à un procédé de fabrication de laine de verre, de laine de roche, de fils de verre textile et/ou de verre plat ou creux, caractérisé en ce qu'il met en œuvre un tel procédé de fusion.

[0047] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif. Sur les figures :

[0048] [Fig.1] la [Fig.1] représente schématiquement et selon une vue de profil un four verrier électrique ;

[0049] [Fig.2] la [Fig.2] représente schématiquement et selon une vue de haut le bain de verre et les électrodes plongeantes d'un four électrique selon un mode de réalisation particulier de l'invention ;

[0050] [Fig.3] la [Fig.3] représente schématiquement et selon une vue de haut le bain de verre et les électrodes plongeantes d'un four électrique selon un mode de réalisation alternatif de l'invention ;

[0051] [Fig.4] la [Fig.4] est un diagramme de flux illustrant les étapes successives d'un procédé de fabrication selon un mode de réalisation particulier de l'invention.

[0052] La [Fig.1] représente schématiquement et selon une vue de profil un four verrier électrique 1. Un tel four verrier 1 comprend une cuve 2 de fusion en matériaux réfractaires adaptée pour contenir un bain 3 de matières vitrifiables en fusion et une pluralité d'électrodes (An, Bn, Cn, Dn) de chauffage plongeantes (une seule est illustrée sur la [Fig.1], à des fins de simplification), dont les bras sont de section carrée, et qui sont immergées à partir de la surface libre dudit bain 3 et alimentées en courant électrique par une installation électrique 4. De manière connue, la partie de l'électrode en contact avec le bain de verre est composée de molybdène. Un four verrier 1 selon l'invention est en particulier caractérisé en ce que ladite installation électrique 4 est adaptée pour générer un courant alternatif diphasé.

[0053] Selon le mode de réalisation particulier illustré à la [Fig.1], le four 1 est totalement électrique et est équipé d'une voûte froide 5.

[0054] Selon un mode de réalisation particulier, et tel qu'illustré par la [Fig.2], ladite installation électrique comprend un transformateur diphasé 6 adapté pour générer deux groupes de sortie (A-B, C-D) monophasée avec une différence de phase de 90° entre chaque groupe de sortie (A-B, C-D). Selon ce mode de réalisation particulier, un groupe de sortie ne comprend qu'une unique sortie (A-B, C-D) qui est connectée à un faisceau de trois paires d'électrodes ((An ; Bn) ; (Cn ; Dn) avec n=1,2,3), qu'elle alimente en courant alternatif monophasé. Les faisceaux d'électrodes sont agencés dans le bain 3 selon une forme sensiblement en carré et de manière à respecter une symétrie centrale selon un plan théorique horizontal, par rapport à un point O localisé au centre du bain 3.

[0055] Selon ce mode de réalisation alternatif illustré à la [Fig.3], le premier groupe de sortie comprend plusieurs sorties (A-B, A'-B') montées en parallèle, la première sortie A-B étant connectée à un faisceau de deux paires d'électrodes ((An ; Bn) ; (Cn ; Dn) avec n=1,2), tandis que la deuxième sortie A'-B' est connectée à une unique paire d'électrodes (A3 ; B3). Dans tous les cas, le courant monophasé délivré à chacune de ces électrodes est en adéquation de phase.

[0056] Dans la pratique, un premier courant monophasé est généré par le transformateur 6 aux bornes d'un premier groupe de sortie A-B et traverse le bain de verre entre les

électrodes A1, A2, A3 d'une part, et les électrodes B1, B2, B3 d'autre part, chauffant ainsi le bain 3 de matières vitrifiables par effet joule. En parallèle, un deuxième courant monophasé, de même fréquence et de même amplitude que le premier courant, mais déphasé de 90° ou $\pi/2$ radians par rapport à ce dernier, est généré par le transformateur 6 aux bornes d'un deuxième groupe de sortie C-D et traverse le bain de verre entre les électrodes C1, C2, C3 d'une part, et les électrodes D1, D2, D3 d'autre part, chauffant ainsi le bain 3 de matières vitrifiables par effet joule. De manière globale, l'installation électrique 6 est ainsi adaptée pour générer au sein du bain 3 de verre un courant alternatif diphasé.

[0057] Selon les modes de réalisations illustrés aux figures 2 et 3, l'installation électrique ne comprend qu'un transformateur diphasé 6 qui alimente un « bloc » d'électrodes (An, Bn, Cn, Dn). Selon des modes de réalisations alternatifs non illustrés, se rapportant en particulier à des fours électriques de grande taille, l'installation électrique comprend une pluralité de transformateurs diphasés qui alimentent respectivement une pluralité de blocs d'électrodes couvrant la surface du bain 3 de verre.

[0058] La [Fig.4] est un diagramme de flux illustrant les étapes successives d'un procédé de fabrication selon un mode de réalisation particulier de l'invention, qui comprend une première étape S1 de fusion de matières vitrifiables par chauffage électrique dudit bain 3 de matières vitrifiables au moyen d'un courant alternatif diphasé, et une deuxième étape S2 de fabrication de laine de verre, de laine de roche, de fils de verre textile et/ou de verre plat ou creux.

Revendications

[Revendication 1] Four verrier (1) au moins en partie électrique, comprenant une cuve (2) de fusion en matériaux réfractaires adaptée pour contenir un bain (3) de matières vitrifiables en fusion et une pluralité d'électrodes (An, Bn, Cn, Dn) de chauffage plongeantes, qui sont immergées à partir de la surface libre dudit bain (3) et alimentées en courant électrique par une installation électrique (4), ledit four (1) étant caractérisé en ce que ladite installation électrique (4) est adaptée pour générer un courant alternatif diphasé.

[Revendication 2] Four verrier (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite installation électrique comprend au moins un transformateur diphasé (6) adapté pour générer deux groupes de sortie (A-B, C-D) monophasée avec une différence de phase de 90° entre chaque groupe de sortie (A-B, C-D), chaque groupe de sortie (A-B, C-D) alimentant au moins une paire ((An ; Bn) ; (Cn ; Dn)) desdites électrodes.

[Revendication 3] Four verrier (1) selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins un groupe de sortie (A-B, C-D) dudit au moins un transformateur diphasé (6) alimente un faisceau d'au moins deux paires électrodes ((An ; Bn) ; (Cn ; Dn)), préférentiellement trois paires électrodes ((An ; Bn) ; (Cn ; Dn)).

[Revendication 4] Four verrier (1) selon l'une des revendications 2 et 3, caractérisé en ce qu'au moins un groupe de sortie (A-B, C-D) dudit au moins un transformateur diphasé (6) comprend une ou plusieurs sorties.

[Revendication 5] Four verrier (1) selon l'une des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que chaque faisceau d'électrodes ((An ; Bn) ; (Cn ; Dn)) est agencé dans le bain (3) de matières vitrifiables en fusion de manière à respecter une symétrie centrale selon un plan théorique horizontal.

[Revendication 6] Four verrier (1) selon l'une des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que les électrodes d'un même groupe de sortie (A-B, C-D) sont agencées à proximité de parois opposées de la cuve (2).

[Revendication 7] Four verrier (1) selon l'une des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que lesdites paires ((An ; Bn) ; (Cn ; Dn)) d'électrodes alimentées par un même transformateur diphasé (6) sont agencées en quadrilatère selon un plan théorique horizontal, préférentiellement en rectangle, préférentiellement en carré, dans le bain (3) de matières vitrifiables en fusion.

[Revendication 8] Four verrier (1) selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la distance minimale (dmin) entre chaque électrode (An, Bn, Cn,

Dn) et la paroi de la cuve (2) la plus proche est supérieure à 450 mm, préférentiellement supérieure à 600 mm, préférentiellement supérieure à 800 mm, préférentiellement supérieure à 950 mm, préférentiellement supérieure à 1075 mm.

[Revendication 9] Four verrier (1) selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que chacune desdites électrodes (An, Bn, Cn, Dn) comprend un bras de projection horizontale, préférentiellement de section carrée, dont l'étendue horizontale est supérieure à 2000 mm, préférentiellement supérieure à 2500 mm, préférentiellement supérieure à 3000 mm, préférentiellement supérieure à 3500 mm, préférentiellement supérieure à 3700 mm, préférentiellement supérieure à 3900 mm.

[Revendication 10] Four verrier (1) selon l'une des revendications 2 à 9, caractérisé en ce que ladite installation électrique (4) est adaptée de sorte que toutes les paires d'électrodes connectées à un même groupe de sortie (A-B, C-D) dudit transformateur diphasé (6) sont alimentées en un courant électrique de même tension.

[Revendication 11] Four verrier (1) selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'il est totalement électrique, et comprend préférentiellement une voûte froide (5).

[Revendication 12] Four verrier (1) selon l'une des revendications 2 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité desdits transformateurs diphasés (6), préférentiellement trois.

[Revendication 13] Four verrier (1) selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que ladite cuve (2) de fusion est dimensionnée de sorte que ledit bain (3) de matières vitrifiables en fusion présente en surface une aire supérieure à 25 m^2, préférentiellement supérieure à 40 m^2, préférentiellement supérieure à 60 m^2, préférentiellement supérieure à 100 m^2, et présente préférentiellement entre deux parois opposées de ladite cuve (2) une distance supérieure à 5 m, préférentiellement supérieure à 6,5 m.

[Revendication 14] Four verrier (1) selon l'une des revendications 2 à 13, caractérisé en ce que ledit transformateur diphasé (6) alimente un nombre d'électrodes inférieur ou égal à 16, préférentiellement inférieur ou égal à 12, préférentiellement inférieur ou égal à 8.

[Revendication 15] Four verrier (1) selon l'une des revendications 2 à 13, caractérisé en ce que le nombre d'électrodes par mètre carré est compris entre 0.1 et 0.45, de préférence entre 0.15 et 0.4 et encore plus de préférence entre 0.2 et 0.35.

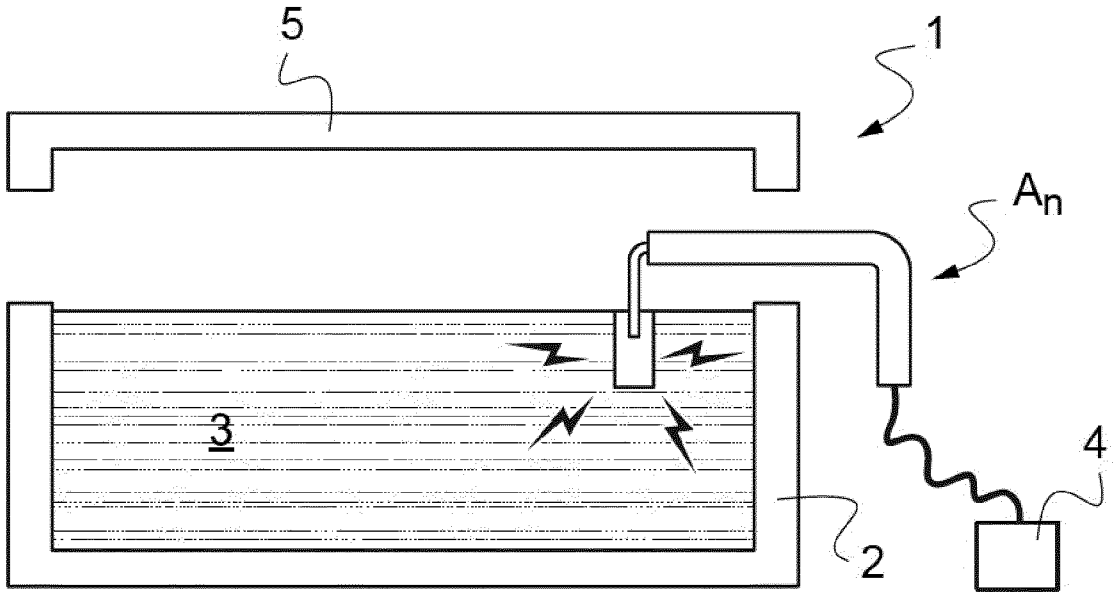
[Revendication 16] Procédé de fusion de matières vitrifiables mis en œuvre au moyen d'un

four verrier (1) selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une étape de chauffage électrique dudit bain (3) de matières vitrifiables en fusion au moyen de ladite pluralité d'électrodes (An, Bn, Cn, Dn), et par application au sein dudit bain (3) d'un courant alternatif diphasé.

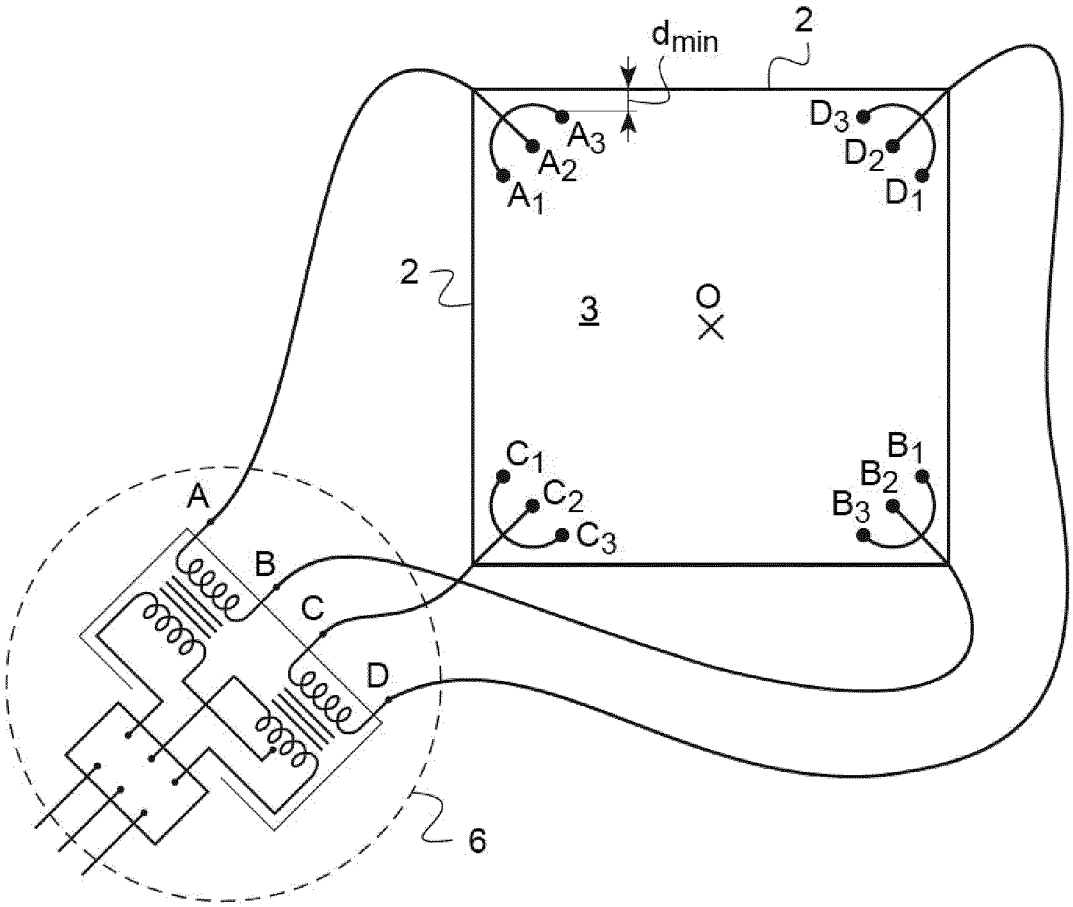
[Revendication 17] Procédé de fusion de matières vitrifiables selon la revendication 16 mis en œuvre au moyen d'un four verrier (1) selon la revendication 10, caractérisé en ce que toutes les paires ((An ; Bn) ; (Cn ; Dn)) d'électrodes connectées à un même groupe de sortie (A-B, C-D) dudit transformateur diphasé (6) sont alimentées en un courant électrique de même tension.

[Revendication 18] Procédé de fabrication de laine de verre, de laine de roche, de fils de verre textile et/ou de verre plat ou creux, caractérisé en ce qu'il met en œuvre un procédé de fusion selon l'une des revendications 16 et 17.

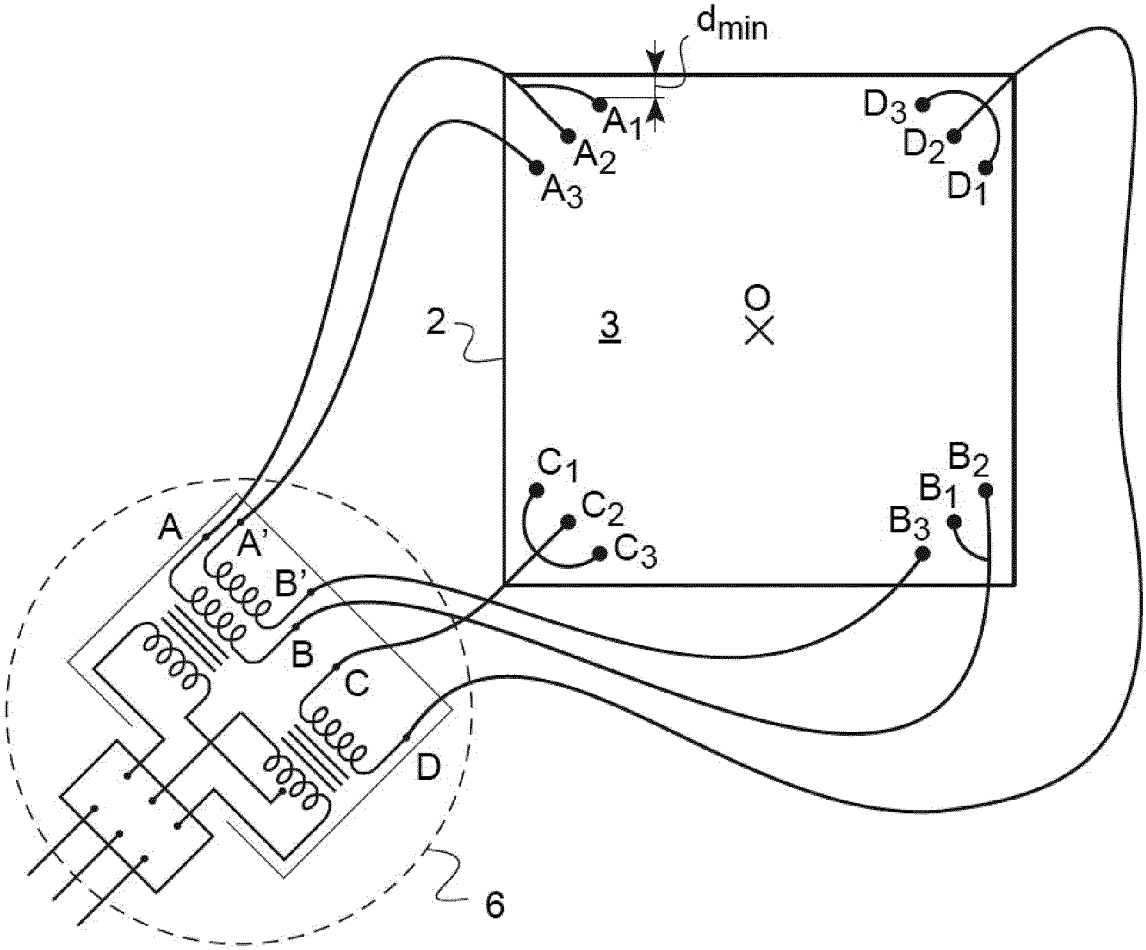
[Fig. 1]



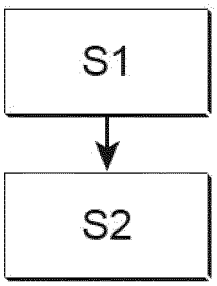
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2023/082229

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C03B 5/03(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C03B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0671116 B1 (SAINT GOBAIN ISOVER [FR]) 02 July 2003 (2003-07-02) cited in the application paragraphs [0030], [0031]; figure 1	1-18
A	Trier Wolfgang. "Electrode circuits" In: Glass Furnaces Design Construction and Operation, Society of glass Technology Sheffield , pages 201-206, 31 December 1987 (1987-12-31), ISBN: 978-0-900682-20-9. XP093047114 pages 203, 206; figures 8.13, 8.23	1-18
X	FR 2599734 A1 (SAINT GOBAIN RECH [FR]) 11 December 1987 (1987-12-11) page 8, lines 6-30; claims; figures 1, 2 page 17, lines 1-10	1-18
A	REYNOLDS M C. "Electric furnace design" *GLASS TECHNOLOGY, SOCIETY OF GLASS TECHNOLOGY, SHEFFIELD, GB,* Vol. 23, No. 1, 01 February 1982 (1982-02-01), pages 38-43 ISSN: 0017-1050, XP002182821 page 40, left-hand column, "Figures 4 and 4 show" etc.; figure 5	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
05 February 2024	**23 February 2024**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Creux, Sophie** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2023/082229

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
EP 0671116 B1	02 July 2003	BR 9405619 A	08 September 1999
		CA 2150236 A1	06 April 1995
		CN 1115199 A	17 January 1996
		DE 69432892 T2	27 May 2004
		DK 0671116 T3	27 October 2003
		EP 0671116 A1	13 September 1995
		ES 2202328 T3	01 April 2004
		FI 952603 A	29 May 1995
		JP 3655308 B2	02 June 2005
		JP H08504055 A	30 April 1996
		KR 960702724 A	27 April 1996
		NO 313170 B1	19 August 2002
		US 5596598 A	21 January 1997
		WO 9509518 A1	06 April 1995
		ZA 947131 B	08 May 1995
FR 2599734 A1	11 December 1987	AT 397241 B	25 February 1994
		AU 609400 B2	02 May 1991
		BE 1005521 A5	31 August 1993
		BR 8702862 A	01 March 1988
		CA 1287860 C	20 August 1991
		CH 674005 A5	30 April 1990
		CN 87104676 A	23 December 1987
		DE 3718953 A1	10 December 1987
		DK 284387 A	07 December 1987
		FI 872540 A	07 December 1987
		FR 2599734 A1	11 December 1987
		GB 2193070 A	27 January 1988
		GB 2217559 A	25 October 1989
		IE 60465 B1	13 July 1994
		IL 82782 A	25 May 1992
		IT 1215547 B	14 February 1990
		JP 2738423 B2	08 April 1998
		JP S6369720 A	29 March 1988
		KR 880000336 A	25 March 1988
		LU 86907 A1	20 January 1988
		MX 168968 B	16 June 1993
		NL 8701283 A	04 January 1988
		NO 172574 B	03 May 1993
		NZ 220605 A	28 May 1990
		PT 85016 A	01 July 1988
		SE 465570 B	30 September 1991
		TR 23423 A	29 December 1989
		US 4809294 A	28 February 1989
		ZA 874039 B	27 July 1988

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2023/082229

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. C03B5/03
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
C03B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 671 116 B1 (SAINT GOBAIN ISOVER [FR]) 2 juillet 2003 (2003-07-02) cité dans la demande alinéas [0030], [0031]; figure 1	1-18
A	Trier Wolfgang: "Electrode circuits" In: "Glass Furnaces Design Construction and Operation", 31 décembre 1987 (1987-12-31), Society of glass Technology Sheffield, XP093047114, ISBN: 978-0-900682-20-9 pages 201-206, pages 203, 206; figures 8.13, 8.23	1-18

-/--

[x] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[x] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée
"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
5 février 2024	23/02/2024

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Creux, Sophie

1

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2023/082229

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 2 599 734 A1 (SAINT GOBAIN RECH [FR]) 11 décembre 1987 (1987-12-11) page 8, lignes 6-30; revendications; figures 1,2 page 17, lignes 1-10	1-18
A	REYNOLDS M C: "Electric furnace design", GLASS TECHNOLOGY, SOCIETY OF GLASS TECHNOLOGY, SHEFFIELD, GB, vol. 23, no. 1, 1 février 1982 (1982-02-01), pages 38-43, XP002182821, ISSN: 0017-1050 page 40, colonne de gauche, "Figures 4 and 4 show" etc.; figure 5	1-18

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2023/082229

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0671116 B1	02-07-2003	BR 9405619 A	08-09-1999
		CA 2150236 A1	06-04-1995
		CN 1115199 A	17-01-1996
		DE 69432892 T2	27-05-2004
		DK 0671116 T3	27-10-2003
		EP 0671116 A1	13-09-1995
		ES 2202328 T3	01-04-2004
		FI 952603 A	29-05-1995
		JP 3655308 B2	02-06-2005
		JP H08504055 A	30-04-1996
		KR 960702724 A	27-04-1996
		NO 313170 B1	19-08-2002
		US 5596598 A	21-01-1997
		WO 9509518 A1	06-04-1995
		ZA 947131 B	08-05-1995
FR 2599734 A1	11-12-1987	AT 397241 B	25-02-1994
		AU 609400 B2	02-05-1991
		BE 1005521 A5	31-08-1993
		BR 8702862 A	01-03-1988
		CA 1287860 C	20-08-1991
		CH 674005 A5	30-04-1990
		CN 87104676 A	23-12-1987
		DE 3718953 A1	10-12-1987
		DK 284387 A	07-12-1987
		FI 872540 A	07-12-1987
		FR 2599734 A1	11-12-1987
		GB 2193070 A	27-01-1988
		GB 2217559 A	25-10-1989
		IE 60465 B1	13-07-1994
		IL 82782 A	25-05-1992
		IT 1215547 B	14-02-1990
		JP 2738423 B2	08-04-1998
		JP S6369720 A	29-03-1988
		KR 880000336 A	25-03-1988
		LU 86907 A1	20-01-1988
		MX 168968 B	16-06-1993
		NL 8701283 A	04-01-1988
		NO 172574 B	03-05-1993
		NZ 220605 A	28-05-1990
		PT 85016 A	01-07-1988
		SE 465570 B	30-09-1991
		TR 23423 A	29-12-1989
		US 4809294 A	28-02-1989
		ZA 874039 B	27-07-1988