

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 073 324**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **17 60478**

⑤① Int Cl⁸ : **H 01 M 8/020 (2018.01), B 23 K 26/244**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE UTILISANT UN LASER POUR LE SOUDAGE ENTRE DEUX MATERIAUX METALLIQUES OU POUR LE FRITTAGE DE POUDRE(S), APPLICATION A LA REALISATION DE PLAQUES BIPOLAIRES POUR PILES PEMFC.

②② Date de dépôt : 08.11.17.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 10.05.19 Bulletin 19/19.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 25.10.19 Bulletin 19/43.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public — FR.

⑦② Inventeur(s) : ROUILLON LUDOVIC.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET NONY.

FR 3 073 324 - B1



**PROCEDE UTILISANT UN LASER POUR LE SOUDAGE ENTRE DEUX
MATERIAUX METALLIQUES OU POUR LE FRITTAGE DE POUDRE(S),
APPLICATION A LA REALISATION DE PLAQUES BIPOLAIRES POUR PILES
PEMFC**

5 Domaine technique

La présente invention concerne le domaine du soudage entre matériaux métalliques et également celui du frittage de poudre(s), au moyen d'un laser.

L'invention vise notamment à faciliter le soudage entre pièces métalliques ou le frittage de poudre(s) qui doit se faire selon des trajectoires complexes et en outre à éviter
10 l'oxydation des lignes/point de soudure ou zones de frittage.

Une application principale visée concerne la soudure de plaques métalliques ondulées ou nervurées au niveau des ou sommets des ondulations isthmes, les ondulations ou nervures des plaques une fois soudées délimitant intérieurement des canaux de circulation de fluides étanches. Il peut s'agir de plaques dites bipolaires entrant dans la constitution d'un
15 empilement de piles à combustible ou électrolyseurs à haute température, typiquement les piles à membrane échangeuse de protons (en anglo-saxon « *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* » d'acronyme PEMFC).

Bien que décrite en référence à cette application principale, et plus particulièrement à l'application PEMFC, l'invention s'applique à tout type d'application
20 dans laquelle un laser de puissance est mis en œuvre pour chauffer voire pour faire fusionner localement une ou plusieurs matières métalliques, en vue de créer une continuité de matière à assembler.

Etat de la technique

Une pile à combustible à membrane échangeuse de protons PEMFC est un
25 dispositif électrochimique qui convertit de l'énergie chimique directement en énergie électrique par réaction catalytique de l'hydrogène et de l'oxygène. Une pile à combustible PEMFC comprend un empilement en série de plusieurs cellules. Chaque cellule génère une tension typiquement de l'ordre de 0,7 Volt et leur empilement permet de générer une tension d'alimentation d'un niveau plus élevé, par exemple de l'ordre d'une centaine de volts.

30 Plus particulièrement, une pile à combustible PEMFC comprend des cellules unitaires ou motifs élémentaires contenant chacun un assemblage membrane-électrodes ou AME, qui constitue le cœur électrochimique de la pile. Chaque assemblage AME est

constitué d'une membrane polymère électrolytique permettant le passage sélectif des protons et, de part et d'autre de cette membrane, des couches catalytiques qui forment l'anode et la cathode.

La membrane permet donc de séparer les compartiments anodique et cathodique.

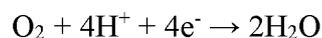
5 Les couches catalytiques sont généralement constituées de nanoparticules de platine supportées sur des agrégats de carbone.

Des couches de diffusion gazeuse (tissu de carbone, feutre...) ou GDL (de l'acronyme anglo-saxon "*Gaz Diffusion Layer*"), classiquement en fibres de graphite (tissu de carbone, feutre...) sont disposées de part et d'autre de l'AME pour assurer la conduction électrique, l'arrivée homogène des gaz réactifs et l'évacuation de l'eau produite.

A l'anode, la décomposition de l'hydrogène adsorbé sur le catalyseur produit des protons H^+ et des électrons e^- selon l'équation :



Les protons traversent ensuite la membrane polymère avant de réagir avec l'oxygène à la cathode. La réaction des protons avec l'oxygène à la cathode conduit à la formation d'eau et à la production de chaleur selon l'équation



Comme déjà dit, une PEMFC peut comprendre un empilement de motifs élémentaires, et donc plusieurs AME disposés entre deux plaques qui doivent assurer le passage du courant et l'écoulement des gaz. Dans un tel empilement, deux motifs élémentaires adjacents sont généralement séparés par une même plaque, dont l'une des faces est au contact du compartiment cathodique d'un premier AME et l'autre face est au contact du compartiment anodique d'un deuxième AME, plus exactement au contact des couches de diffusion gazeuse. Pour cette raison, les plaques des PEMFC sont généralement appelées "plaques bipolaires".

Ainsi, une plaque bipolaire assure plusieurs fonctions, parmi lesquelles:

- le transport du courant électrique collecté et la connexion électrique entre les différents motifs élémentaires ;
- la distribution des gaz (H_2 , O_2 ou air) et l'évacuation de l'eau formée à la cathode, via des canaux et/ou orifices ménagés en son sein ;
- la séparation étanche entre l'anode et la cathode,

- la régulation thermique des cellules par le passage en leur sein d'un liquide de refroidissement,

- la collecte des électrons générés au niveau des anodes des différentes cellules unitaires,

- 5 - le support mécanique pour assurer la tenue de l'AME.

Concrètement, pour des raisons de coûts, d'encombrement et de performances, ces fonctions se traduisent par le fait qu'une plaque bipolaire pour PEMFC est généralement réalisée en métal.

10 Plus précisément, une plaque bipolaire est généralement constituée de deux plaques ou tôles métalliques fines, mises en forme, puis solidarisées par un moyen tel que la soudure ou le collage.

Lors de l'étape de soudage ou de collage, il est nécessaire de maintenir avec une certaine pression le contact entre ces deux tôles et dans le cas de soudure, de limiter par inertage l'oxydation qui pourrait se produire au niveau des jonctions soudées.

15 On a représenté en figure 1, une telle plaque bipolaire 1 constituée de deux plaques métalliques 2, 3 identiques qui sont mises en forme avec des rainures respectivement 20, 30 ; 21, 31.

20 Ces plaques 2, 3 sont assemblées entre elles par des jonctions 4. L'assemblage réalisé délimite par les rainures 20, 30 des canaux de circulation 5, 6 respectivement d'hydrogène H₂ et d'oxygène O₂ tandis que les rainures 21, 31 délimitent intérieurement des canaux de circulation 7 de fluide caloporteur C.

Le soudage au laser est considéré comme la méthode la plus rentable pour assurer l'assemblage des deux plaques fines/tôles d'une plaque bipolaire pour pile à combustible: [1].

25 La soudure de ces tôles se fait par recouvrement si l'accostage est bien maîtrisé : [2]. Le brevet US5096518 décrit également la nécessité d'un tel accostage.

En maîtrisant l'accostage, le faisceau d'un laser de puissance permet la fusion des surfaces de contact métal sur métal sans perforer l'une ou l'autre des plaques.

30 L'accostage de ces plaques peut se faire de différentes manières : des plaques de pression externe sont couramment utilisées pour former en quelque sorte un étau de part et d'autre des tôles, ou une dépression est générée pour serrer les tôles ensemble et les maintenir physiquement.

On a représenté en figure 2, un soudage au laser L avec accostage des tôles 2, 3 au moyen de plaques de pression 8, 9.

La plaque 8 du dessous sert de socle sur laquelle les tôles 2, 3 à assembler sont positionnées.

5 La plaque 9 du dessus vient prendre en sandwich les tôles 2, 3 avec une pression pour maintenir un effort de contact entre les surfaces des tôles au niveau où les jonctions 4 doivent être réalisées.

10 Comme visible sur cette figure 2, la plaque 9 est ajourée d'une multitude d'ouvertures débouchantes 90 pour permettre l'accès du faisceau F du laser L afin d'assurer un cordon de soudure continu ou ponctuel dans les zones de jonction 4 recherchées. Ces zones peuvent être complexes par leurs formes et/ou leurs accessibilités. Il peut s'agir par exemple, de zones entre les canaux 5, 6, 7, sur le pourtour des lumières d'alimentation en gaz, sur le pourtour extérieur des tôles 2, 3....

15 Cette méthode de soudage utilisant une plaque de pression 9 pour maintenir le contact métal-métal présente plusieurs inconvénients.

Tout d'abord, il est par définition nécessaire de réaliser une plaque de pression avec une multitude d'ouvertures débouchantes.

20 L'épaisseur de cette plaque de pression étant limitée par la distance focale de l'équipement laser, ces ouvertures peuvent générer une inhomogénéité de contrainte de compression et peuvent, suivant le cas, typiquement pour des plaques bipolaires de grande surface, aboutir localement à une force insuffisante pour maintenir en contact, lors du soudage, les deux tôles à assembler.

25 En outre, ces ouvertures devant être de dimensions le plus réduites possibles, il est difficile de limiter l'oxydation par inertage. En effet, en pratique le système d'inertage qui envoie le gaz d'inertage à travers les ouvertures de la plaque de pression, comme montré par les flèches en figure 2, est classiquement embarqué sur la buse qui supporte le laser de soudage. De ce fait, il est très difficile d'inertier la zone soudée par le faible accès des gaz au travers des ouvertures.

30 Les ouvertures réalisées dans la plaque de pression augmentent le coût de fabrication de l'équipement de soudure et nécessitent des multiples conceptions pour répondre aux différentes géométries de plaque bipolaire et donc aux différentes zones complexes à souder.

Une alternative existante consiste à réaliser la soudure en plusieurs étapes avec un bridage plus localisé, c'est-à-dire une solution de maintien en contact localisé au niveau de chaque jonction à réaliser. Cette solution a pour inconvénient de nécessiter un arrêt du faisceau laser et une intervention pour changer de configuration et de plaque de pression pour souder toute la surface des tôles à assembler pour obtenir la plaque bipolaire souhaitée.

Le brevet US 7009136B2 propose une méthode de maintien du contact entre plaques/tôles par dépression. Ainsi, un vide partiel est créé entre les deux interfaces des plaques, dont le volume intérieur définit le circuit du liquide de refroidissement. Ce vide partiel permet d'attirer les deux plaques/tôles l'une vers l'autre au niveau de leurs surfaces de contact métal sur métal. Les plaques/tôles sont ensuite soudées entre elles au niveau de ces surfaces de contact au moyen d'un laser. Cette méthode apparaît intéressante, dans la mesure où elle supprime les inconvénients de la plaque de pression à multitude d'ouvertures débouchantes.

Cependant, en pratique, il est difficile de créer une dépression entre des plaques/tôles comportant de nombreux trous et de les raccorder à un système de dépression, sans mettre un système de bridage sur le pourtour et sur les lumières d'alimentation des plaques bipolaires.

De plus, après formage, on constate que les plaques/tôles métalliques contiennent de nombreuses contraintes mécaniques internes, qui génèrent une forte flèche de la plaque bipolaire dans sa zone centrale. Cette flèche importante s'avère difficile à éliminer par l'action uniquement d'une dépression.

Dans le cadre des piles à combustibles, les plaques bipolaires obtenues peuvent être avantageusement revêtues d'une poudre à fritter localement, tout comme les soudures envisagées sont locales. Ces poudres peuvent être métalliques ou céramiques. Par exemple, il peut être avantageux de déposer un revêtement pour protéger une plaque bipolaire de l'oxydation due à un joint particulier. De manière à être étanche, le revêtement doit être dense et donc avoir été fritté. Il peut être métallique, ou céramique (ZrO_2 , Al_2O_3).

Dans le domaine de frittage des poudres métalliques, il est connu d'utiliser un laser pour réaliser des pièces en trois dimensions (3D) à base de métal. L'impression 3D sur des couches successives de poudres métalliques est faite par laser. Dans le procédé, il est prévu un inertage avec de l'argon et/ou de l'azote, de l'intégralité de la chambre dans laquelle la ou les poudres sont frittées, et ce afin d'éviter de faire fondre les pièces au cours de leur

fabrication. L'équipement est coûteux et pas nécessairement adapté à tous les types de pièces.

De ce qui précède, il ressort qu'il existe un besoin pour améliorer les solutions de réalisation de soudage de plaques bipolaires pour piles à combustible, notamment piles PEMFC, notamment afin de pallier les inconvénients des équipements de soudure par laser avec plaques de pression ou système de dépression existants.

Il existe également un besoin pour améliorer les solutions de frittage de poudres, en particulier de revêtement sur ces mêmes plaques métalliques mettant en œuvre un laser.

De manière plus générale, il existe un besoin de proposer une solution de soudage/frittage pour réaliser des liaisons/jonctions métal-métal ou métal-céramique, qui soit simple à mettre en œuvre, efficace, de moindre coût et qui soit compatible avec un inertage.

Le but de l'invention est de répondre au moins en partie à ces besoins.

Exposé de l'invention

Pour ce faire, l'invention concerne un procédé de soudage entre deux matériaux métalliques ou de frittage de poudre(s), comprenant les étapes suivantes :

a/ mise en place d'une plaque pleine transparente à la(aux) longueur(s) d'onde d'émission d'un faisceau de laser, entre ledit laser et au moins une zone de contact entre les matériaux métalliques à souder ou au moins une zone de frittage de la(des) poudre(s) ;

b/ émission du faisceau laser, à travers la plaque transparente, pour réaliser le soudage des matériaux dans la(les) zone(s) de contact ou le frittage de poudre(s) dans la(les) zone(s) de frittage.

Ainsi, l'invention consiste essentiellement à faire passer le laser de soudage ou de frittage par une plaque non ajourée et transparente à la(aux) longueur(s) d'onde dudit laser, ce qui permet la transmission de son faisceau jusqu'à la(aux) zone(s) à souder ou à fritter.

Bien que simple à mettre en œuvre, personne n'avait pensé à réaliser une telle solution.

Cette plaque transparente peut permettre ainsi de créer aisément et à moindre coût un volume de confinement dans lequel on peut faire circuler un gaz d'inertage pour éviter l'oxydation des jonctions soudées ou de la poudre à fritter.

Dans le cas de l'application à la soudure entre elles de tôles/plaques métalliques à ondulations et/ou nervures, en particulier dans le cas de la réalisation de plaques bipolaires pour piles à combustibles, les avantages de l'invention par rapport aux procédés existants sont nombreux parmi lesquels on peut citer :

- 5 - la suppression de l'usinage complexe d'une plaque de pression opaque pour réaliser la multitude d'ouvertures pour faire passer le faisceau laser vers chaque zone de contact à souder,
- l'obtention localement, près de la zone à souder, d'un état de contrainte optimisé pour favoriser le contact métal-métal,
- 10 - l'utilisation à souhait de la plaque transparente pour différentes géométries de plaques/tôles, sans être contraint par un chemin ou une géométrie de soudure.

Selon un mode de réalisation avantageux, le procédé comprend en outre avant l'étape b/, une étape a1/ d'inertage de la(des) zone(s) de contact ou de la(des) zone(s) de frittage, l'inertage étant réalisé au moyen d'un gaz neutre, de préférence de l'argon et/ou de
15 l'azote.

De préférence, l'étape b/ est réalisée avec le faisceau laser sensiblement perpendiculaire à la plaque transparente.

De préférence encore, l'étape b/ est réalisée avec le faisceau laser sensiblement perpendiculaire à la (aux) zone(s) de contact à souder ou à la(les) zone(s) de frittage.

20 Le matériau constitutif de la plaque transparente mise en œuvre peut être avantageusement choisi parmi les matériaux suivants : verre, polymère, céramique transparente éventuellement dopé (oxyde de scandium dopé à ytterbium) pour limiter l'absorption.

25 Dans le cas de soudage entre deux plaques métalliques, le procédé comprend de préférence, avant l'étape b/, et le cas échéant avant l'étape a1/, une étape a2/ de mise en pression des deux plaques métalliques pour les appliquer l'une contre l'autre dans la(les) zone(s) de contact à souder.

La pression d'application selon l'étape c/ peut être réalisée par la plaque transparente directement en contact avec l'une des deux plaques métalliques à souder.

30 Avantageusement, le gaz d'inertage circule dans les canaux délimités par les zones de contact entre plaques métalliques.

L'invention concerne également l'utilisation du procédé qui vient d'être décrit pour la réalisation de plaques bipolaires destinées aux piles à combustibles, en particulier des piles à membrane échangeuse de protons (PEMFC).

5 L'invention concerne enfin l'utilisation du procédé décrit précédemment pour la réalisation de revêtements frittés sur plaques.

Description détaillée

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée de l'invention faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures suivantes parmi lesquelles :

- 10 - la figure 1 est une vue schématique en coupe transversale d'une plaque bipolaire pour pile à combustible PEMFC avec les jonctions soudées,
- la figure 2 est une vue schématique en coupe transversale d'un équipement de soudure par laser selon l'état de l'art pour réaliser une plaque bipolaire selon la figure 1;
- la figure 3 est une vue schématique en coupe transversale d'un équipement
15 de soudure par laser selon l'invention pour réaliser une plaque bipolaire selon la figure 1;
- la figure 4 est une vue schématique en coupe transversale d'un équipement de frittage par laser selon l'invention pour réaliser un revêtement fritté sur la surface d'une plaque bipolaire selon la figure 3;
- la figure 5 est une vue schématique en coupe transversale d'un équipement de
20 frittage par laser selon l'invention pour réaliser une pièce métallique frittée.

Par souci de clarté, les mêmes références désignant les mêmes éléments d'un équipement de soudure et d'une plaque bipolaire de pile PEMFC selon l'état de l'art et selon l'invention sont utilisées pour toutes les figures 1 à 5.

25 On précise que les différents éléments selon état de l'art et selon l'invention sont représentés uniquement par souci de clarté et qu'ils ne sont pas à l'échelle.

Les termes de «dessus » et «dessous » se rapportant aux plaques de pression sont à considérer dans une configuration avec les plaques à souder à l'horizontal et le faisceau laser à la verticale.

30 Les figures 1 et 2 ont déjà été commentées en détail en préambule. Elles ne sont donc pas décrites ci-après.

On a représenté en figure 3, un soudage au laser L avec accostage de tôles 2, 3 à assembler entre elles au moyen de plaques de pression 8, 10.

La plaque 8 du dessous sert de socle sur laquelle les tôles 2, 3 à assembler sont positionnées.

La plaque pleine 10 du dessus vient prendre en sandwich les tôles 2, 3 avec une pression pour maintenir un effort de contact entre les surfaces des tôles au niveau où les jonctions 4 doivent être réalisées.

Comme visible sur cette figure 3, la plaque pleine 10 conforme à l'invention est transparente à la(aux) longueur(s) d'onde du laser de soudage L. Cette plaque pleine 10 n'a donc pas à être ajourée avec de multiples ouvertures bien définies contrairement à la plaque 9 selon l'état de l'art.

Ainsi, le faisceau F du laser L peut traverser la plaque 10 en tout point de celle-ci afin d'assurer un cordon de soudure continu ou ponctuel dans les zones de jonction 4 recherchées. Ces zones peuvent être complexes par leurs formes et/ou leurs accessibilités. Il peut s'agir par exemple, de zones entre les canaux 5, 6, 7, sur le pourtour des lumières d'alimentation en gaz, sur le pourtour extérieur des tôles 2, 3....

Avantageusement, lors du soudage, le faisceau F du laser L est orienté perpendiculaire à la plaque transparente 10 et à la zone soudée 4. Cela permet d'éviter d'avoir des contraintes de conception pour l'indice de réfraction du matériau à utiliser pour la plaque 10 afin d'éviter un changement de direction du faisceau F.

La plaque transparente 10 peut être verre, en polymère de type acrylique ou en céramique de type sélénure de Zinc (ZnSe). La céramique peut être dopée (oxyde de scandium dopé à l'ytterbium) pour limiter l'absorption du rayonnement du faisceau laser.

L'indice de réfraction de la plaque 10 est avantageusement de l'ordre de 1.

La plaque transparente 10 non ajourée, permet de définir avec la plaque 8 formant le socle un volume intérieur qu'il est aisé de rendre étanche. Ainsi, on peut remplir ce volume d'un gaz d'inertage G de type azote ou argon, comme montré sur la figure 3. Les zones soudées 4 se trouvent ainsi complètement immergées dans le gaz d'inertage G qui circule et est confiné, dans les canaux délimité par les plaques 2, 3 et 8, 10.

La figure 4 illustre un autre mode de réalisation mettant en œuvre une plaque transparente et non ajourée 10 selon l'invention.

La plaque 10 vient fermer un récipient 11 et ainsi formé un volume à l'intérieur duquel un gaz d'inertage G est injecté.

Le récipient 11 contient à la fois une plaque bipolaire 1 et une poudre métallique P déposée sur la surface de la plaque en vue d'obtenir un revêtement fritté 12.

Le faisceau F du laser L peut passer en tout point à travers la plaque transparente 10 et atteindre la poudre dans des zones très précises de la poudre à fritter et ainsi obtenir un revêtement fritté uniforme 12 sur la surface de plaque 1.

La figure 5 illustre un autre mode pour obtenir une pièce métallique frittée à partir d'un récipient analogue à celui de la figure 4 et d'une plaque transparente et non ajourée 10 selon l'invention.

Le faisceau F du laser L peut passer en tout point à travers la plaque transparente 10 et atteindre la poudre P dans des zones très précises de la poudre à fritter et ce afin d'obtenir une pièce métallique selon une forme souhaitée.

D'autres variantes et avantages de l'invention peuvent être réalisés sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

Par exemple, si dans la réalisation de soudage pour obtenir une plaque bipolaire, la plaque transparente aux longueurs d'onde du laser, sert également de plaque de pression pour maintenir en contact les deux plaques métalliques dans les zones à souder, on peut très bien envisager que la plaque transparente n'est pas cette fonction de mise en pression et que celle-ci soit mise en œuvre par d'autres moyens.

L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits ; on peut notamment combiner entre elles des caractéristiques des exemples illustrés au sein de variantes non illustrées.

REFERENCES CITEES

- [1] : Marcinkoski J, James BD, Kalinoski JA, Podolski W, Benjamin T, Kopasz J.
« *Manufacturing process assumptions, used in fuel cell system cost analyses.* » J Power
Sources 196 2011_5282-5292
- 5 [2] : Cazes, « *Soudage par faisceaux à haute énergie : faisceau d'électrons et laser.* »
Techniques de l'Ingénieur 1994_B7_740

REVENDICATIONS

1. Procédé de soudage entre deux matériaux métalliques (2, 3) ou de frittage de poudre(s) (P), comprenant les étapes suivantes :

5 a/ mise en place d'une plaque pleine (10), transparente à la (aux) longueur(s) d'onde d'émission d'un faisceau de laser (F), entre ledit laser (L) et au moins une zone de contact (4) entre les matériaux métalliques à souder ou au moins une zone de frittage de la(des) poudre(s) ;

10 b/ émission du faisceau laser, à travers la plaque transparente, pour réaliser le soudage des matériaux dans la(les) zone(s) de contact ou le frittage de poudre(s) dans la(les) zone(s) de frittage.

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre avant l'étape b/, une étape a1/ d'inertage de la(des) zone(s) de contact ou de la(des) zone(s) de frittage, l'inertage étant réalisé au moyen d'un gaz neutre, de préférence de l'argon et/ou de l'azote

15 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, l'étape b/ étant réalisée avec le faisceau laser sensiblement perpendiculaire à la plaque transparente.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, l'étape b/ étant réalisée avec le faisceau laser sensiblement perpendiculaire à la (aux) zone(s) de contact à souder ou à la(les) zone(s) de frittage.

20 5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, le matériau constitutif de la plaque transparente mise en œuvre étant choisi parmi les matériaux suivants : verre, polymère, céramique transparente éventuellement dopé (oxyde de scandium dopé à ytterbium) pour limiter l'absorption.

25 6. Procédé de soudage entre deux plaques métalliques selon l'une des revendications précédentes, comprenant, avant l'étape b/, et le cas échéant avant l'étape a1/, une étape a2/ de mise en pression des deux plaques métalliques pour les appliquer l'une contre l'autre dans la(les)s zone(s) de contact à souder.

30 7. Procédé de soudage selon la revendication 6, la pression d'application selon l'étape c/ étant réalisée par la plaque transparente directement en contact avec l'une des deux plaques métalliques à souder.

8. Procédé de soudage selon la revendication 6 ou 7 en combinaison avec la revendication 2, le gaz d'inertage circulant dans les canaux délimités par les zones de contact entre plaques métalliques.

5 9. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 6 à 8 pour la réalisation de plaques bipolaires destinées aux piles à combustibles, en particulier des piles à membrane échangeuse de protons.

10. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 8 pour la réalisation de revêtements frittés sur plaques.

Fig.1

(ETAT DE L'ART)

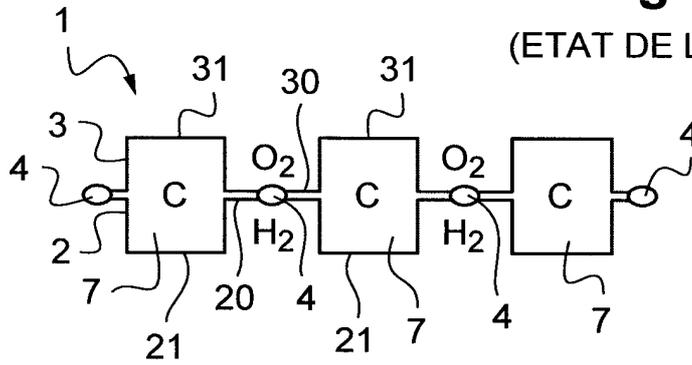


Fig.2

(ETAT DE L'ART)

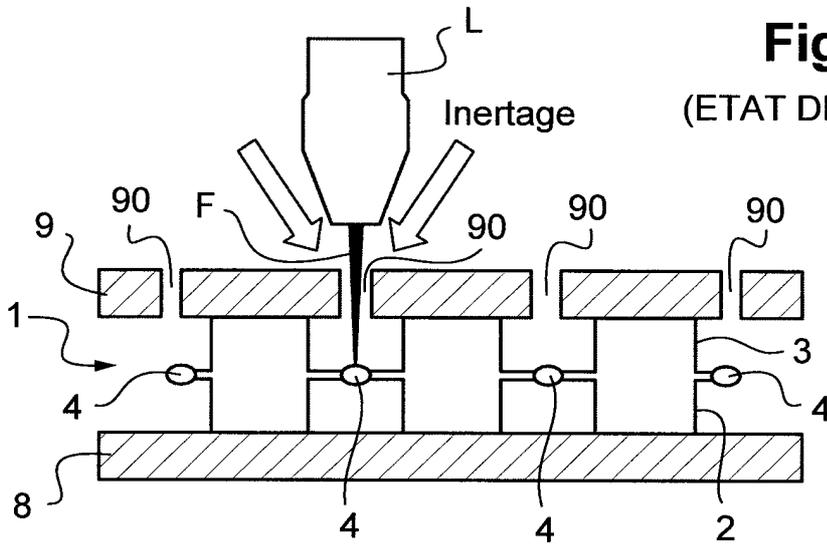
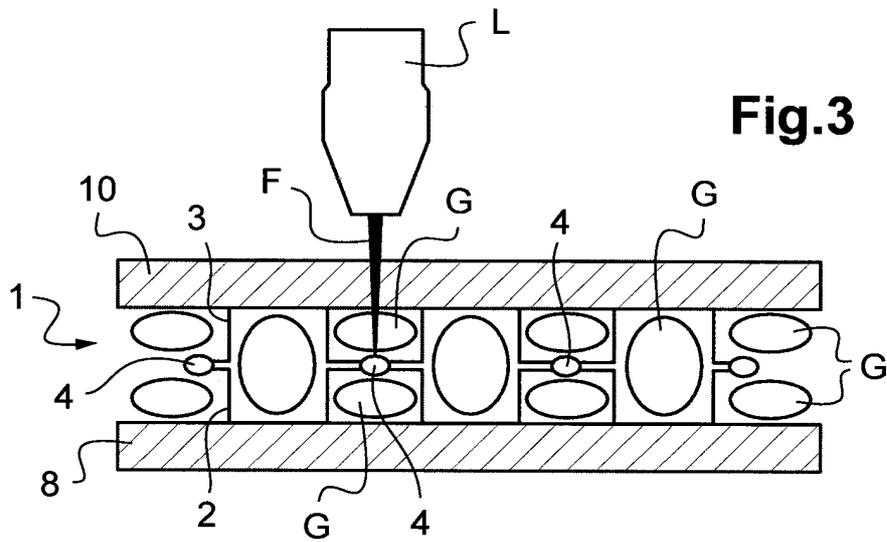
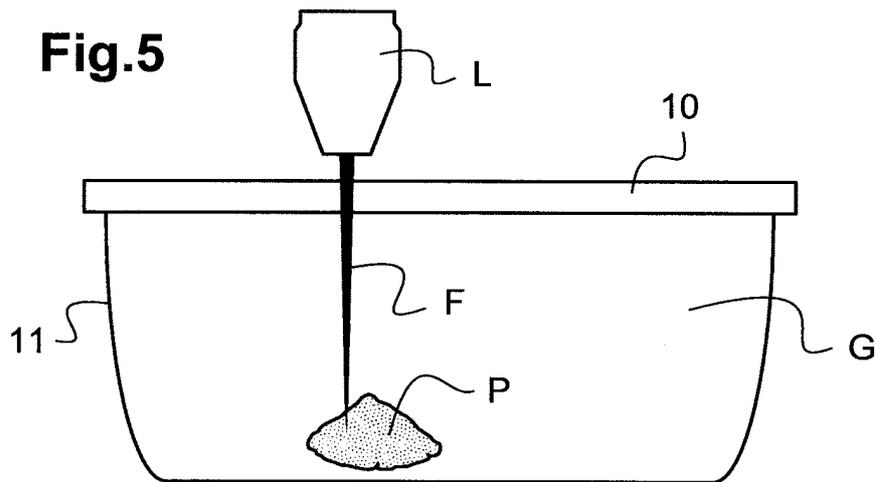
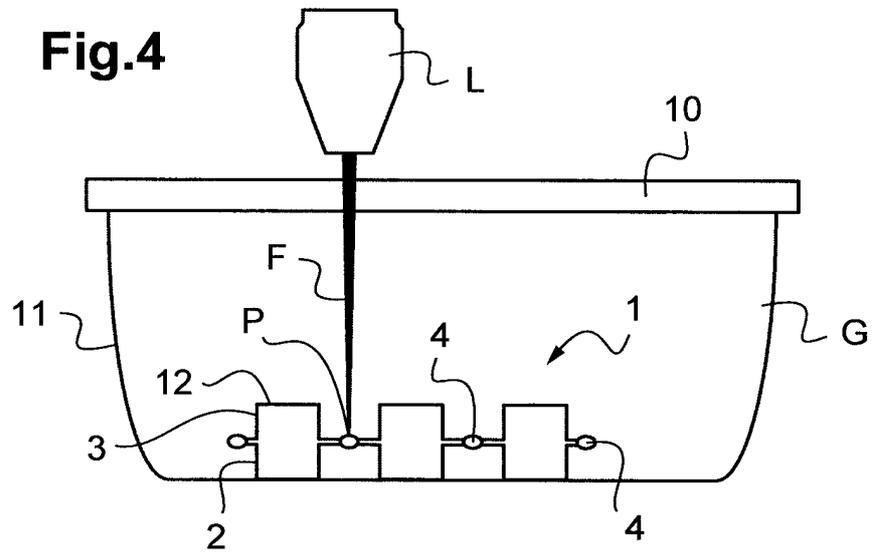


Fig.3





RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

DE 10 2010 021982 A1 (UFERMANN RUEDIGER [DE]) 1 décembre 2011 (2011-12-01)

FR 3 010 339 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 13 mars 2015 (2015-03-13)

FR 2 884 448 A1 (RENAULT SAS [FR]) 20 octobre 2006 (2006-10-20)

WO 03/096457 A1 (REINZ DICHTUNGS GMBH & CO KG [DE]; HOEHE KURT [DE]; GAUGLER BERND [DE]) 20 novembre 2003 (2003-11-20)

WO 2005/120764 A2 (GEN MOTORS CORP [US]) 22 décembre 2005 (2005-12-22)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT