

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 25.05.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.12.22 Bulletin 22/48.

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) : Institut de Recherche Technologique
Jules Verne FONDATION — FR et Université de Nantes
Etablissement public national à caractère scientifique,
culturel et professionnel — FR.

72 Inventeur(s) : FOULDAGAR Javad et TRICHET
Didier.

73 Titulaire(s) : Institut de Recherche Technologique
Jules Verne FONDATION, Université de Nantes Etablis-
sement public national à caractère scientifique, culturel
et professionnel.

74 Mandataire(s) : Cabinet NONY.

54 Installation de soudage dynamique par induction.

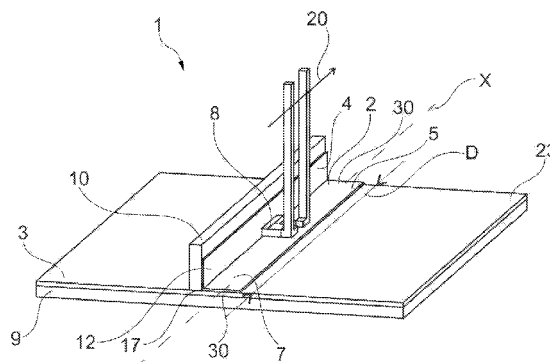
57 Installation de soudage dynamique par induction
Installation (1) de soudage dynamique par induction
d'une première pièce (2) sur une deuxième pièce (3), les
première et deuxième pièces (2, 3) comportant chacune un
matériau composite comportant des fibres de renfort et un
matériau polymère thermoplastique,

la première pièce (2) comportant au moins une âme (4)
et une semelle (5), la semelle (5) présentant une surface à
souder (6) sur la deuxième pièce (3) et une surface opposée
(7) à la surface à souder (6),

l'installation (1) comportant :

un dispositif de chauffage par induction (8) disposé du
côté de ladite surface opposée (7) à proximité de l'âme (4),
au moins un amortisseur passif de champ magnétique (11)
configuré et disposé de manière à permettre de créer un
champ magnétique de réaction (B2) s'opposant au moins
partiellement, notamment totalement, au champ magné-
tique (B1) créé par le dispositif de chauffage par induction
(8) dans au moins une partie de l'âme (4) située à proximité
de la surface à souder (6) de la première pièce (2).

Figure pour l'abrégé : Fig 1



Description

Titre de l'invention : Installation de soudage dynamique par induction

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne une installation de soudage dynamique par induction de deux pièces en matériau composite comportant un matériau polymère thermoplastique, dont une pièce comportant une partie à souder et une partie qui n'est pas à souder. L'invention a encore pour objet un procédé de soudage utilisant cette installation. Cette installation et ce procédé peuvent être mis en œuvre dans le cadre du soudage de pièces destinées au secteur aéronautique, mais également au secteur automobile, éolien et à tout autre secteur industriel.

Technique antérieure

- [0002] Afin de fixer une pièce telle qu'un raidisseur, sur une autre pièce, telle qu'une peau, il est connu de réaliser des trous et d'insérer des rivets. Une telle technique n'est cependant pas optimale, car elle nécessite de réaliser des renforcements locaux pour compenser les pertes mécaniques des trous de passage.
- [0003] On connaît une autre technique consistant à mettre dans un four, pendant plusieurs heures, par exemple 8h, les pièces afin de les consolider en faisant fondre leur matrice pour venir assembler les pièces entre elles. Cependant, cette technique augmente le temps de traitement, l'énergie nécessaire pour sa mise en œuvre, et n'est pas aisée à mettre en œuvre pour des pièces de grandes dimensions.
- [0004] Par ailleurs, les matériaux composites à matrice polymère thermoplastique sont de plus en plus utilisés dans les domaines industriels, en particulier pour leurs propriétés mécaniques avantageuses.
- [0005] Pour assembler deux pièces en matériau composite à matrice polymère thermoplastique, il est envisageable de réaliser une soudure entre elles. En effet, contrairement aux rivets, réaliser une soudure permet de conserver les propriétés mécaniques des pièces.
- [0006] Afin de souder les deux pièces ensemble, il s'agit d'amener l'interface entre les pièces, au niveau de laquelle on réalise la soudure, à une température permettant la fusion des deux pièces à cette interface.
- [0007] L'utilisation d'un procédé de chauffage par induction avec un inducteur permet une bonne montée en température à l'interface entre les deux pièces. Il est cependant nécessaire de cibler le chauffage par induction sur l'interface entre les deux pièces sans détériorer les parties adjacentes.
- [0008] Lorsque l'une des pièces est fixée à un système de protection contre la foudre, encore

appelé « LSP », par exemple pour un fuselage d'avion, le ciblage du chauffage par induction sur l'interface entre les deux pièces est encore complexifié. En effet, un tel système de protection contre la foudre contraint à positionner l'inducteur à proximité de la première et de la deuxième pièces au niveau de leur surface à souder, ce qui engendre des problèmes de surchauffe, notamment dans des parties qui ne sont pas à souder.

- [0009] Il existe un besoin de disposer d'une installation et d'un procédé de soudage dynamique par induction permettant d'améliorer le soudage d'une pièce en matériau composite comportant un matériau polymère thermoplastique sur une seconde pièce en matériau composite comportant un matériau polymère thermoplastique.
- [0010] Il existe encore un besoin de disposer d'une installation et d'un procédé de soudage dynamique par induction qui permette de souder près de 100%, voire 100% de la surface à souder entre deux pièces en matériau composite comportant un matériau polymère thermoplastique.

Exposé de l'invention

Installation de soudage dynamique

- [0011] La présente invention y parvient en tout ou partie grâce à, selon l'un de ses aspects, une installation de soudage dynamique par induction d'une première pièce sur une deuxième pièce, les première et deuxième pièces comportant chacune un matériau composite comportant des fibres de renfort et un matériau polymère thermoplastique, la première pièce comportant au moins une âme et une semelle, la semelle présentant une surface à souder sur la deuxième pièce et une surface opposée à la surface à souder, l'installation comportant :
 - [0012] - un dispositif de chauffage par induction disposé du côté de ladite surface opposée, à proximité de l'âme,
 - [0013] - au moins un amortisseur passif de champ magnétique configuré et disposé de manière à permettre de créer un champ magnétique de réaction s'opposant au moins partiellement, notamment totalement, au champ magnétique créé par le dispositif de chauffage par induction dans au moins une partie de l'âme située à proximité de la surface à souder de la première pièce.
- [0014] Par « amortisseur passif du champ magnétique », on entend un élément qui n'apporte pas de puissance supplémentaire à l'installation.
- [0015] Par « créer un champ magnétique de réaction s'opposant au moins partiellement, notamment totalement au champ magnétique créé par le dispositif de chauffage » on entend que la superposition du champ magnétique induit par l'amortisseur et du champ magnétique du dispositif de chauffage par induction forme un champ magnétique réduit, voire totalement nul dans au moins une partie de l'âme. Une telle superposition

résulte du caractère extensif des champs magnétiques, c'est-à-dire que les champs magnétiques s'additionnent.

- [0016] Lorsque l'installation est en fonctionnement, le dispositif de chauffage par induction produit un champ magnétique variable traversant, au moins en partie, la première et la deuxième pièce. Ce champ magnétique variable conduit à la formation de courants induits variables dans les fibres de renfort qui vont alors chauffer par effet Joule. La chaleur des fibres de renfort est ensuite transférée à la matrice qui chauffe à son tour jusqu'à la fusion de manière à permettre la soudure à l'interface entre les pièces.
- [0017] Contrairement aux rivets, souder la semelle qui est à fixer permet de conserver les propriétés mécaniques de la première pièce. De plus, l'utilisation d'un procédé de chauffage par induction permet d'obtenir une bonne montée en température à l'interface entre les deux pièces. Cependant, au moins une partie de l'âme est également chauffée si l'installation comporte uniquement le dispositif de chauffage et les deux pièces.
- [0018] La deuxième pièce peut être couplée à un système de protection contre la foudre (encore appelé « LSP »), par exemple sous forme de grillage ou de toile tissée métallique conductrice, disposé et fixé du côté de la surface opposée à la surface à souder de la deuxième pièce. Lorsque l'installation comporte uniquement le dispositif de chauffage, et que la deuxième pièce est couplée à un système de protection contre la foudre, le chauffage de l'âme est particulièrement important, à cause de la présence de ce système de protection contre la foudre. La chaleur dans l'âme ne peut alors plus être évacuée de manière suffisamment efficace pour ne pas endommager l'âme avec un système de refroidissement passif ou actif, comme par exemple avec une circuiterie d'eau.
- [0019] Une solution aurait pu être de positionner une ferrite autour du dispositif de chauffage par induction afin de concentrer le champ magnétique vers la semelle de la première pièce. Néanmoins, la concentration de champ magnétique par une ferrite ne permet pas d'obtenir une montée en température sur la totalité de la largeur de la surface à souder et la surface à souder n'est alors pas soudée à 100% ou à un pourcentage proche de 100%.
- [0020] Au contraire, grâce à l'invention, du fait de l'opposition au moins partielle, notamment totale, des champs magnétiques du dispositif de chauffage par induction et de l'amortisseur, la formation de courants induits dans au moins une partie des fibres de l'âme est au moins partiellement, voire totalement annulée. Ainsi, l'effet Joule dans au moins une partie des fibres de l'âme est limité, ce qui réduit la montée en température de l'âme de la première pièce, tout en permettant une montée en température sur au moins 95% de la largeur de la surface à souder de la première pièce, de préférence environ 100%. Ainsi, on peut souder près de 100%, voire 100%, de la

surface à souder grâce à l'installation selon l'invention.

- [0021] De préférence, l'amortisseur est un excellent conducteur électrique. L'amortisseur comporte avantageusement un matériau présentant une conductivité électrique plus importante que l'âme.
- [0022] Ledit matériau de l'amortisseur est avantageusement choisi dans la famille des métaux, par exemple un acier. Il présente de préférence une conductivité électrique supérieure, voire très supérieure, à 10^4 S.m^{-1} . Ledit matériau de l'amortisseur est avantageusement choisi pour obtenir une conductivité électrique adaptée à la nature de l'âme, c'est-à-dire sa composition ou sa forme, et à la forme de l'inducteur.
- [0023] De préférence, l'âme présente une surface exposée faisant face au dispositif de chauffage par induction et une surface opposée à la surface exposée. Dans ce cas, l'amortisseur est disposé de préférence du côté de ladite surface opposée de l'âme.
- [0024] L'amortisseur forme avantageusement une plaque s'étendant sensiblement parallèlement à au moins une partie de l'âme.
- [0025] Le dispositif de chauffage par induction peut être très proche, par son extrémité la plus proche, de la surface exposée de l'âme. La distance entre la surface exposée de l'âme et l'extrémité du dispositif de chauffage par induction est par exemple inférieure à 3 mm, étant comprise entre 0,5 mm et 2 mm. Cette grande proximité est due à la volonté de souder la surface à souder de la première pièce dans sa totalité sur la deuxième pièce, mais cela génère un champ magnétique fort dans au moins une partie de l'âme la plus proche qui pourrait la détériorer s'il n'y avait pas d'amortisseur.
- [0026] L'installation comporte de préférence au moins un dissipateur thermique.
- [0027] On entend par « dissipateur thermique » un élément possédant une conductivité thermique importante et une conductivité électrique faible. Le ou chaque dissipateur thermique permet d'évacuer localement au moins une partie de la chaleur générée par le dispositif de chauffage par induction.
- [0028] Avantageusement, au moins un dissipateur thermique est disposé contre l'amortisseur. Dans ce cas, et lorsque l'amortisseur forme une plaque parallèle à l'âme, le dissipateur thermique peut être séparé de l'âme par l'amortisseur, peut s'étendre contre celui-ci et former une plaque sensiblement parallèle à l'âme.
- [0029] L'installation peut encore comporter au moins un dissipateur thermique intercalé entre la semelle et le dispositif de chauffage par induction.
- [0030] L'installation peut encore comporter au moins un dissipateur thermique en contact avec la surface opposée à la surface à souder de la deuxième pièce ou, lorsque le système de protection contre la foudre est présent, en contact avec le système de protection contre la foudre, sous celui-ci.
- [0031] De préférence, ledit au moins un dissipateur thermique comporte un matériau choisi dans la famille des céramiques, notamment le plâtre ou le ciment. Il présente de

préférence une conductivité thermique comprise entre 10 et 30 W.m⁻¹.K⁻¹.

[0032] La première pièce et la deuxième pièce peuvent comprendre les mêmes fibres de renfort et/ou le même matériau polymère thermoplastique. Les fibres de renfort des première et/ou deuxième pièce(s) sont de préférence des fibres continues. Elles peuvent être choisies dans le groupe constitué par les fibres de carbone et les fibres métalliques.

[0033] La première pièce peut notamment présenter une forme de L, l'âme étant reliée par une portion coudée à la semelle. Dans ce cas, l'angle entre l'âme et la semelle au niveau de la portion coudée est compris entre 60° et 120°, notamment entre 75° et 105°, de préférence égal à 90° environ. L'âme est la partie de la première pièce qui n'est pas à souder à la deuxième pièce.

[0034] Avantageusement, la première pièce est un raidisseur et la deuxième pièce est une peau.

[0035] De préférence, l'installation comporte au moins un poinçon agencé pour soutenir l'âme au moins pendant le soudage. Un tel poinçon, qui peut se présenter sous la forme d'une plaque de support parallèle à l'âme, est de préférence disposé de manière à maintenir, outre l'âme, l'amortisseur et éventuellement un ou le dissipateur thermique.

Procédé de soudage dynamique

[0036] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, en combinaison avec ce qui précède, un procédé de soudage dynamique par induction d'une première pièce sur une deuxième pièce à l'aide d'une installation telle que définie plus haut.

[0037] Le procédé comporte les étapes consistant à :

- [0038] – positionner la première pièce à souder sur la deuxième pièce de telle sorte que la surface à souder de la première pièce soit en contact avec la surface à souder de la deuxième pièce,
- positionner le dispositif de chauffage par induction au-dessus de la surface à souder, du côté de la surface opposée à la surface à souder, et
- réaliser une soudure à l'interface entre la première et la deuxième pièces à l'aide du dispositif de chauffage par induction, l'amortisseur créant alors un champ magnétique de réaction s'opposant au moins partiellement, notamment totalement, au champ magnétique créé par le dispositif de chauffage par induction dans au moins une partie de l'âme située à proximité de la surface à souder de la première pièce.

[0039] Le procédé comporte de préférence l'étape préalable consistant à prédéterminer par simulation numérique des paramètres de l'amortisseur, tels que la nature de l'amortisseur, ses dimensions, notamment son épaisseur et/ou sa longueur, et/ou son positionnement, de manière à les optimiser notamment en fonction de la configuration des première et deuxième pièces. En effet, la maîtrise des champs thermiques doit être

très fine et adaptée, l'objectif étant d'atteindre la température de fusion à l'interface entre les deux surfaces à souder des pièces. A défaut, on risque de détruire une des pièces ou les pièces, au moins partiellement.

[0040] Avantageusement, le procédé est mis en œuvre de telle sorte qu'à la fin du procédé, la surface à souder de la première pièce est soudée sur la deuxième pièce à au moins 95% de sa surface, de préférence à environ 100% de sa surface.

[0041] De préférence, le dispositif de chauffage par induction est déplacé au-dessus de la surface à souder de la première pièce pour réaliser la soudure.

Brève description des dessins

[0042] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemples de mise en œuvre non limitatifs de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel :

[0043] [Fig.1] la [Fig.1] représente, en perspective et de manière schématique, une installation de soudage dynamique selon l'invention,

[0044] [Fig.2] la [Fig.2] représente, en coupe transversale et de manière schématique, l'installation de la [Fig.1],

[0045] [Fig.3] la [Fig.3] est un agrandissement du détail III de la [Fig.2],

[0046] [Fig.4] la [Fig.4] est un agrandissement du détail IV de la [Fig.2],

[0047] [Fig.5] la [Fig.5] représente, de manière schématique, en coupe transversale, les champs magnétiques lors de l'utilisation de l'installation de la [Fig.2],

[0048] [Fig.6] la [Fig.6], représente en schéma bloc le procédé de soudage dynamique selon l'invention,

[0049] [Fig.7] la [Fig.7] est une cartographie thermique schématique dans les pièces en matériau composite à matrice thermoplastique, lors de la mise en œuvre du procédé selon l'invention,

[0050] [Fig.8] la [Fig.8] est une cartographie thermique schématique dans les pièces, lors de la mise en œuvre d'un procédé de soudage dynamique par induction sans l'utilisation d'un amortisseur passif de champ magnétique, et

[0051] [Fig.9] la [Fig.9] est une vue en coupe transversale schématique de la pièce finale en matériau composite réalisée selon le procédé de l'invention.

Description détaillée

[0052] Dans la suite de la description, les éléments identiques ou de fonctions identiques portent le même signe de référence. A des fins de concision de la présente description, ils ne sont pas décrits en regard de chacune des figures, seules les différences entre les modes de réalisation étant décrites.

[0053] On a illustré sur la [Fig.1] une installation 1, selon l'invention, de soudage dynamique par induction.

- [0054] L'installation 1 est prévue pour souder une première pièce 2, dans cet exemple en forme de L, sur une deuxième pièce 3, dans cet exemple sous la forme d'une plaque encore appelée peau.
- [0055] Les première et deuxième pièces 2 et 3 sont réalisées en matériau composite. Elles comportent des fibres de renfort, dans cet exemple des fibres continues de carbone, et un matériau polymère thermoplastique, formant dans cet exemple la matrice. La première pièce 2 et la deuxième pièce 3 sont réalisées par empilement de plis, encore appelé stratifié, d'une épaisseur totale entre 2 et 3 cm, la première pièce 2 comportant dans cet exemple sept plis et la deuxième pièce 3 comportant onze plis.
- [0056] On ne sort pas du cadre de l'invention si la première pièce 2 et la deuxième pièce 3 présentent des géométries, des épaisseurs ou des fibres différentes.
- [0057] En l'espèce, la première pièce 2 en forme de L est un raidisseur et s'étend selon un axe longitudinal X sur la deuxième pièce 3.
- [0058] La première pièce 2 comporte une âme 4 et une semelle 5. La semelle 5 présente une surface à souder 6 destinée à être soudée sur la deuxième pièce 3 et une surface opposée 7, opposée à la surface à souder 6. L'âme 4 est reliée par une portion coudée 17 à la semelle 5, l'angle entre l'âme 4 et la semelle 5 au niveau de la portion coudée 17 étant dans cet exemple égal à 90° environ.
- [0059] On ne sort pas du cadre de l'invention si l'angle est différent de 90°, étant par exemple compris entre 60° et 120°.
- [0060] La deuxième pièce 3 présente, sur une première surface 23, supérieure, une surface à souder 24, en contact avec la surface à souder 6 de la première pièce 2 au niveau de l'interface entre les première et deuxième pièces 2 et 3. La deuxième pièce 3 présente encore une surface opposée 22, opposée à la première surface 23.
- [0061] L'installation 1 comporte un dispositif de chauffage par induction 8 pouvant encore être appelé inducteur, disposé du côté de ladite surface opposée 7 de la première pièce 2 à une distance de celle-ci d'environ 5 mm.
- [0062] Le dispositif de chauffage par induction 8 permet de générer un champ magnétique B_1 variable, illustré de manière schématique sur la [Fig.3], traversant notamment la première pièce 2 et la deuxième pièce 3.
- [0063] Comme visible sur les figures 1, 2 et 4, l'installation 1 comporte un support 9 sur lequel est disposée la deuxième pièce 3, du côté de la surface opposée 22. Le support 9 est destiné à supporter l'effort mécanique, à l'aide notamment d'une plaque 16, dimensionnée pour supporter les efforts mécaniques.
- [0064] Comme visible sur la [Fig.2] et sur l'agrandissement de la [Fig.4], la deuxième pièce 3 est couplée à un système de protection contre la foudre 15, notamment sous forme d'une toile tissée métallique conductrice, lequel est disposé et fixé du côté de la surface opposée 22 de la deuxième pièce 3. C'est ce système de protection contre la foudre 15

qui est en contact avec le support 9. Sa présence empêche que le dispositif de chauffage par induction 8 se trouve du côté de la surface opposée 22 pour réaliser la soudure entre les première et deuxième pièces 2 et 3.

- [0065] Comme visible sur la coupe de la [Fig.2] et sur l'agrandissement de la [Fig.3], l'installation 1 selon l'invention comporte un amortisseur passif 11 de champ magnétique configuré et disposé de manière à permettre de créer un champ magnétique de réaction B_2 , comme illustré de manière schématique sur la [Fig.5], s'opposant au moins partiellement, notamment totalement, au champ magnétique B_1 créé par le dispositif de chauffage par induction 8 dans au moins une partie de l'âme 4 située à proximité de la surface à souder 6.
- [0066] L'amortisseur 11 possède une conductivité électrique supérieure à celle de la première pièce 2. Dans cet exemple, l'amortisseur 11 est en acier et présente une conductivité électrique supérieure à 10^4 S.m^{-1} .
- [0067] Toujours dans cet exemple, l'âme 4 présente une surface exposée 12 faisant face au dispositif de chauffage par induction 8 et une surface opposée 13, opposée à la surface exposée 12. L'amortisseur 11 est disposé du côté de ladite surface opposée 13 de l'âme 4 et se présente sous la forme d'une plaque s'étendant parallèlement et en contact avec celle-ci.
- [0068] Il est à noter que le dispositif de chauffage par induction 8 se trouve très proche, par son extrémité 25 la plus proche, de la surface exposée 12 de l'âme 4. La distance d entre la surface exposée 12 de l'âme 4 et l'extrémité 25 du dispositif de chauffage par induction 8 est dans cet exemple égale à 2 mm. Cette grande proximité est due à la volonté de souder, avec l'installation 1, la surface à souder 6 dans sa totalité sur la deuxième pièce 3, mais cela génère un champ magnétique fort dans au moins une partie de l'âme 4 la plus proche qui pourrait la détériorer s'il n'y avait pas d'amortisseur 11.
- [0069] La première pièce 2 est maintenue par un poinçon 10 agencé pour soutenir mécaniquement l'âme 4 pendant le soudage. Le poinçon 10 est situé du côté la surface opposée 13 de l'âme 4 dans cet exemple sur au moins une partie de l'âme 4 voire sur toute l'âme 4 dans cet exemple.
- [0070] L'installation 1 comporte au moins un voire plusieurs, dans cet exemple trois dissipateurs thermiques 14 pour évacuer localement une partie de la chaleur générée. Dans le mode de réalisation illustré, un premier dissipateur thermique 14a sous forme de plaque est disposé contre l'amortisseur 11. Un deuxième dissipateur thermique 14b est intercalé entre la semelle 5 et le dispositif de chauffage par induction 8. Un troisième dissipateur thermique 14c est disposé contre le système de protection contre la foudre 15, sous celui-ci, et fait partie du support 9.
- [0071] Les trois dissipateurs thermiques 14 comportent dans cet exemple du ciment et

présentent chacun une conductivité thermique d'environ $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

- [0072] L'installation 1 peut bien entendu comporter d'autres éléments comme au moins un rouleau presseur en amont et/ou en aval du dispositif de chauffage par induction 8 afin de consolider les première et deuxième pièces 2 et 3, notamment après soudage. Le dispositif de chauffage par induction 8 peut être porté par un robot, notamment un bras de robot, afin de commander le déplacement et le fonctionnement du dispositif de chauffage par induction 8 et plus généralement de l'installation 1, de manière au moins partiellement automatisée.
- [0073] Le procédé de soudage de la première pièce 2 sur la deuxième pièce 3, à l'aide de l'installation 1, illustré sur la [Fig.6], qui peut être entièrement ou partiellement automatisé, comporte une étape 51 consistant à positionner la première pièce 2 sur la deuxième pièce 3 de telle sorte que la surface à souder 6 de la première pièce 2 soit en contact avec la surface 23 supérieure de la deuxième pièce 3 au niveau de la surface à souder 24.
- [0074] Le dispositif de chauffage par induction 8 est positionné, dans une étape 52, au-dessus de la surface à souder 6, du côté de la surface opposée 7, comme illustré sur les figures 1 et 2.
- [0075] Pour réaliser la soudure à l'interface entre la surface à souder 6 de la première pièce 2 et la surface à souder 24 de la deuxième pièce 3, le dispositif de chauffage par induction 8 est déplacé à une vitesse continue, dans une étape 53, dans une direction 20, illustrée par une flèche sur la [Fig.1], parallèle à l'axe longitudinal X de la première pièce 2, afin de souder la première pièce 2 et la deuxième pièce 3 sur toute la longueur de la première pièce 2.
- [0076] En variante, la vitesse du dispositif de chauffage par induction 8 peut être variable au niveau des extrémités longitudinales 30 de la première pièce 2 et continue entre ces deux extrémités longitudinales 30.
- [0077] Comme illustré sur la [Fig.6], le procédé comporte également une étape préalable 50 consistant à prédéterminer par simulation numérique des paramètres de l'amortisseur, tels que la nature de l'amortisseur, ses dimensions, notamment son épaisseur et/ou sa longueur, et/ou son positionnement, de manière à les optimiser en fonction de la configuration des première et deuxième pièces 2 et 3. Il est en effet nécessaire d'adapter l'amortisseur 11 aux pièces à souder.
- [0078] La cartographie thermique d'une configuration optimisée réalisée par simulation numérique est présentée sur la [Fig.7]. Cette cartographie comporte une échelle 60 de température avec quatre plages : plage A pour les températures inférieures à environ 100°C , plage B pour les températures entre 100°C et 200°C , plage C pour les températures entre 200°C et 300°C et plage D pour les températures supérieures à 300°C .
- [0079] Lorsque le dispositif de chauffage par induction 8 est en fonctionnement, la tem-

pérature dans l'âme 4 est comprise entre 200°C et 300°C dans sa partie basse 18 et entre 100°C et 200°C dans sa partie haute 19. Les températures dans l'âme 4 sont suffisamment basses pour limiter son endommagement, grâce à la présence de l'amortisseur 11.

- [0080] A titre d'exemple comparatif, on a représenté sur la [Fig.8] la cartographie thermique réalisée par simulation numérique de la même installation, non conforme à l'invention car dépourvue d'amortisseur 11. Cette cartographie comporte une échelle 61 de température avec quatre plages : plage E pour les températures inférieures à environ 250°C, plage F pour les températures entre 250°C et 500°C, plage G pour les températures entre 500°C et 700°C et plage H pour les températures supérieures à 700°C. Comme visible, la température dans l'âme 4 de la première pièce 2 est à une température supérieure à 500°C, voire supérieure à 700°C dans une partie. De telles températures dégradent fortement l'âme 4.
- [0081] Cette forte température observée dans l'âme 4 s'explique en partie du fait de la présence du système de protection contre la foudre 15. Dans ce cas, la chaleur dans l'âme 4 ne peut pas être évacuée de manière suffisamment efficace avec un système de refroidissement passif ou actif, comme par exemple avec une circuiterie d'eau.
- [0082] L'opposition au moins partielle, notamment totale, du champ magnétique de réaction B_2 , créé par l'amortisseur 11 dans l'installation 1 selon l'invention, au champ magnétique B_1 créé par le dispositif de chauffage par induction 8, permet d'annuler au moins partiellement, voire totalement, la formation de courants induits dans l'âme 4, ce qui limite l'échauffement de l'âme 4.
- [0083] En revanche, la température dans la semelle 5, notamment au niveau de la surface à souder 6 est supérieure à 300°C comme visible sur la [Fig.7]. A cette température, les matrices thermoplastiques de la semelle 5 et de la peau 3 sont en fusion au niveau de l'interface entre la surface à souder 6 et la surface à souder 24.
- [0084] Ainsi, dans cette configuration et pour un point donné sur la surface à souder 6, la température à ce point va augmenter lors de l'approche du dispositif de chauffage par induction 8, jusqu'à permettre aux matrices des première et deuxième pièces 2 et 3 à ce point donné de passer dans un état de fusion. Lorsque le dispositif de chauffage par induction 8 s'éloigne du point donné sur la surface à souder 6, la température diminue jusqu'à ce que les matrices passent dans un état solide. Elles sont alors fusionnées et donc soudées au point donné. Par ailleurs, l'âme 4 reste préservée grâce à la présence de l'amortisseur 11.
- [0085] Grâce à l'invention, la totalité de la largeur L de la surface à souder 6 est portée à une température supérieure à 300°C au passage du dispositif de chauffage par induction 8. L'installation 1 selon l'invention permet de souder la semelle 5 et la peau 2 sur au moins 95%, voire 100% de la largeur L, sur toute la longueur selon l'axe longitudinal

X de la première pièce 2, c'est-à-dire sur au moins 95%, voire 100% de la surface à souder 6 de la première pièce 2.

- [0086] Lorsque le dispositif de chauffage par induction 8 a balayé la totalité de la surface à souder 6, le long de l'axe X et que la soudure est réalisée, les dissipateurs thermiques 14, l'amortisseur 11 et le poinçon 10 peuvent être retirés de la pièce finale 21 comme illustré sur la [Fig.9].
- [0087] La pièce finale 21 comporte la première pièce 2 soudée sur la deuxième pièce 3 au niveau de la semelle 5, ainsi que le système de protection contre la foudre 15 fixé à la deuxième pièce 3 du côté opposé au côté soudé avec la première pièce 1.
- [0088] L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits.
- [0089] En particulier, la première pièce peut présenter une forme différente d'un L, par exemple avoir deux parties à souder ou deux semelles disposées autour d'une partie centrale ou âme qui n'est pas à souder, par exemple en forme de Ω .
- [0090] Dans ce cas, le dispositif de chauffage par induction 8 peut effectuer deux passages pour souder les deux semelles du Ω , ou être dimensionné pour effectuer un seul passage pour souder les deux semelles et l'amortisseur ou les amortisseurs disposés pour protéger au moins une partie basse de la partie centrale du Ω , à proximité des surfaces à souder.
- [0091] D'autres formes sont bien entendu envisageables, par exemple une largeur de la semelle, la nature des pièces et/ou des dimensions des pièces différentes, et l'installation sera alors adaptée.
- [0092] La première pièce et la deuxième pièce peuvent être réalisées différemment, notamment en matériau composite non stratifié, comporter des fibres courtes ou comporter des particules.

Revendications

- [Revendication 1] Installation (1) de soudage dynamique par induction d'une première pièce (2) sur une deuxième pièce (3), les première et deuxième pièces (2, 3) comportant chacune un matériau composite comportant des fibres de renfort et un matériau polymère thermoplastique, la première pièce (2) comportant au moins une âme (4) et une semelle (5), la semelle (5) présentant une surface à souder (6) sur la deuxième pièce (3) et une surface opposée (7) à la surface à souder (6), l'installation (1) comportant :
- un dispositif de chauffage par induction (8) disposé du côté de ladite surface opposée (7) à proximité de l'âme (4),
 - au moins un amortisseur passif de champ magnétique (11) configuré et disposé de manière à permettre de créer un champ magnétique de réaction (B_2) s'opposant au moins partiellement, notamment totalement, au champ magnétique (B_1) créé par le dispositif de chauffage par induction (8) dans au moins une partie de l'âme (4) située à proximité de la surface à souder (6) de la première pièce (2).
- [Revendication 2] Installation selon la revendication 1, dans laquelle l'amortisseur (11) comporte un matériau présentant une conductivité électrique plus importante que l'âme (4).
- [Revendication 3] Installation selon la revendication 2, dans laquelle ledit matériau de l'amortisseur (11) est choisi dans la famille des métaux et présente une conductivité électrique supérieure à 10^4 S.m^{-1} .
- [Revendication 4] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle l'âme (4) présente une surface exposée (12) faisant face au dispositif de chauffage par induction (8) et une surface opposée (13) à la surface exposée (12), l'amortisseur (11) étant disposé du côté de ladite surface opposée (13) de l'âme (4).
- [Revendication 5] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle l'amortisseur (11) forme une plaque s'étendant sensiblement parallèlement à au moins une partie de l'âme (4).
- [Revendication 6] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant au moins un dissipateur thermique (14, 14a, 14b, 14c).
- [Revendication 7] Installation selon la revendication précédente, dans laquelle ledit au

- moins un dissipateur thermique (14a) est disposé contre l'amortisseur (11).
- [Revendication 8] Installation selon l'une des deux revendications immédiatement précédentes, dans laquelle ledit au moins un dissipateur thermique (14b) est intercalé entre la semelle (5) et le dispositif de chauffage par induction (8).
- [Revendication 9] Installation selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans laquelle ledit au moins un dissipateur thermique (14, 14a, 14b, 14c) comporte un matériau choisi dans la famille des céramiques et présente une conductivité thermique comprise entre 10 et 30 W. m⁻¹.K⁻¹.
- [Revendication 10] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les fibres de renfort des première et deuxième pièces (2, 3) sont des fibres continues et choisies dans le groupe constitué par les fibres de carbone et les fibres métalliques.
- [Revendication 11] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la première pièce (2) présente une forme de L, l'âme (4) étant reliée par une portion coudée (17) à la semelle (5), l'angle entre l'âme (4) et la semelle (5) au niveau de la portion coudée (17) étant compris entre 60° et 120°, notamment entre 75° et 105°, de préférence égal à 90° environ.
- [Revendication 12] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la deuxième pièce (3) est couplée à un système de protection contre la foudre (15) disposé et fixé du côté de la surface opposée (22) à la surface à souder (24) de la deuxième pièce (3).
- [Revendication 13] Installation selon les revendications 6 et 12, dans laquelle ledit au moins un dissipateur thermique (14c) est en contact avec le système de protection contre la foudre (15), sous celui-ci.
- [Revendication 14] Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant un poinçon (10) agencé pour soutenir l'âme (4) au moins pendant le soudage, le poinçon (10) étant de préférence disposé de manière à maintenir de plus l'amortisseur (11) et éventuellement un ou le dissipateur thermique (14).
- [Revendication 15] Procédé de soudage dynamique par induction d'une première pièce (2) sur une deuxième pièce (3) à l'aide d'une installation (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, le procédé comportant les étapes consistant à :
- positionner la première pièce (2) à souder sur la deuxième pièce (3) de telle sorte que la surface à souder (6) de la première pièce (2) soit en

contact avec la surface à souder (24) de la deuxième pièce (3),
 - positionner le dispositif de chauffage par induction (8) au-dessus de la surface à souder (6), du côté de la surface opposée (7) à la surface à souder (6) et
 - réaliser une soudure à l'interface entre la première et la deuxième pièces (2, 3) à l'aide du dispositif de chauffage par induction (8), l'amortisseur (11) créant alors un champ magnétique de réaction (B_2) s'opposant au moins partiellement, notamment totalement, au champ magnétique (B_1) créé par le dispositif de chauffage par induction (8) dans au moins une partie de l'âme (4) située à proximité de la surface à souder (6) de la première pièce (2).

[Revendication 16] Procédé selon la revendication précédente, comportant l'étape préalable consistant à prédéterminer par simulation numérique des paramètres de l'amortisseur (11), tels que la nature de l'amortisseur, ses dimensions, notamment son épaisseur et/ou sa longueur, et/ou son positionnement, de manière à les optimiser en fonction de la configuration des première et deuxième pièces (2, 3).

[Revendication 17] Procédé selon l'une des deux revendications immédiatement précédentes, le procédé étant mis en œuvre de telle sorte qu'à la fin du procédé, la surface à souder (6) est soudée sur la deuxième pièce (3) à au moins 95% de sa surface, de préférence environ 100% de sa surface.

[Revendication 18] Procédé selon l'une des revendications 15 à 17, dans lequel le dispositif de chauffage par induction (8) est déplacé au-dessus de la surface à souder (6) pour réaliser la soudure.

[Fig. 3]

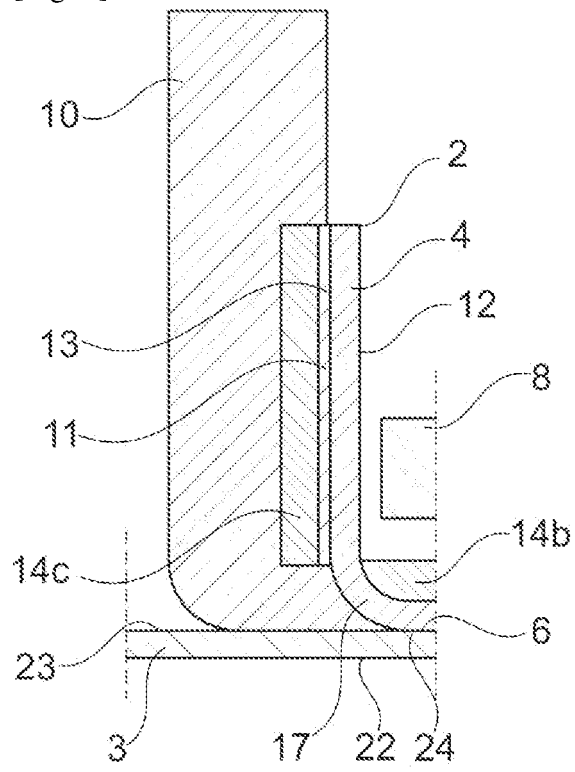


Fig. 3

[Fig. 4]

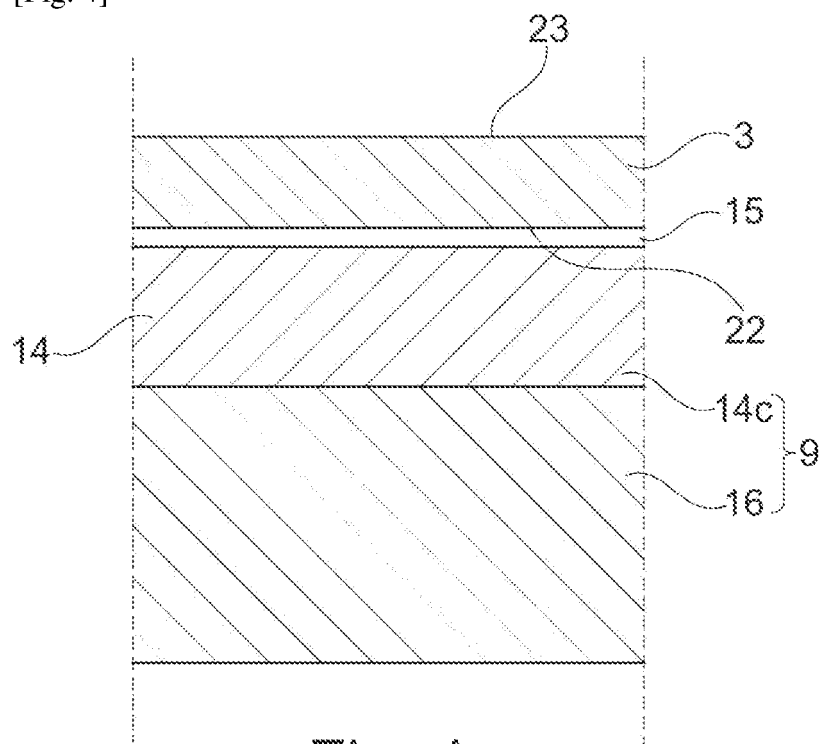


Fig. 4

[Fig. 9]

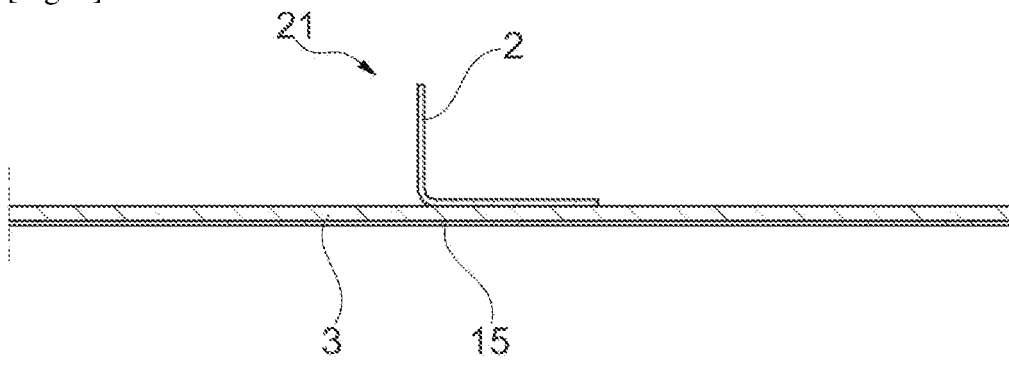


Fig. 9

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 893820
FR 2105412

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	EP 2 801 472 A1 (CT DI PROGETTAZIONE DESIGN & TECNOLOGIE DEI MATERIALI [IT]) 12 novembre 2014 (2014-11-12) * abrégé * * figures 1,5 * * alinéas [0013] - [0031] * -----	1-18	B29C65/04 H05B6/10 DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B29C
A	US 2021/122123 A1 (WADSWORTH MARK ANTHONY [US]) 29 avril 2021 (2021-04-29) * abrégé * * figures 4,5 * * alinéas [0020] - [0043] * -----	1-18	
Date d'achèvement de la recherche 13 janvier 2022		Examineur Taillandier, Sylvain	
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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2105412 FA 893820**

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 **13-01-2022**
 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
EP 2801472 A1	12-11-2014	EP 2801472 A1	12-11-2014
		ES 2621778 T3	05-07-2017
US 2021122123 A1	29-04-2021	US 2021122123 A1	29-04-2021
		WO 2021080843 A1	29-04-2021