

(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
11 décembre 2008 (11.12.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/148993 A2

(51) Classification internationale des brevets :
B23P 9/00 (2006.01) **B23P 19/10** (2006.01)
C21D 7/02 (2006.01) **B21D 53/92** (2006.01)
B23P 19/04 (2006.01)

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **AIRBUS FRANCE** [FR/FR]; 316, route de Bayonne, F-31060 Toulouse (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2008/050792

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **DANTOU, Nicolas** [FR/FR]; 60 Boulevard Victor Hugo, F-31770 Colomiers (FR). **BIANCO, Stéphane** [FR/FR]; 18 rue Dupont, F-31500 Toulouse (FR). **GODENZI, Christian** [FR/FR]; 8 Chemin des Tuileries, F-31770 Colomiers (FR).

(22) Date de dépôt international : 6 mai 2008 (06.05.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

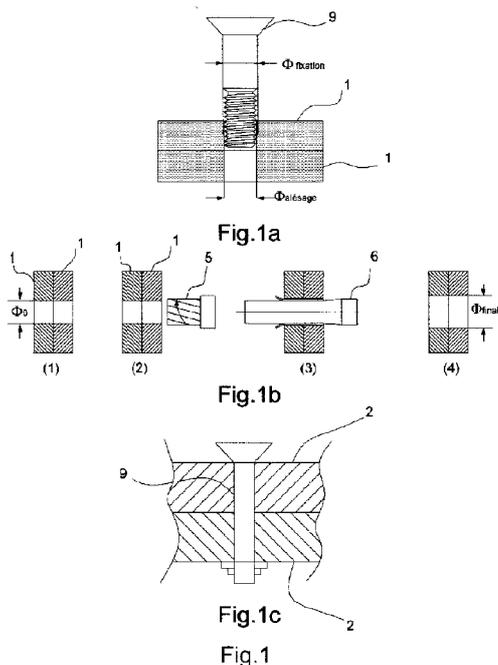
(30) Données relatives à la priorité :
07 54930 9 mai 2007 (09.05.2007) FR

(74) Mandataire : **COQUEL, Jean-Marc**; SCHMIT CHRETIEN, 111, cours du Médoc, CS 40009, F-33070 Bordeaux Cedex (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR ASSEMBLING A PART OF A METAL MATERIAL AND A PART OF A COMPOSITE MATERIAL USING A FASTENER

(54) Titre : PROCÉDE D'ASSEMBLAGE ENTRE UNE PIÈCE EN MATERIAU METALLIQUE ET UNE PIÈCE EN MATERIAU COMPOSITE AU MOYEN D'UNE FIXATION



ART ANTERIEUR

(57) Abstract: The invention relates to a method for assembling a part of a metal material (1) and a part of a composite material (2), the junction of the two parts being achieved through a fastener having a substantially constant section and received in a first hole (11) formed in the part of a metal material and a second hole (3) formed in the part of a composite material. According to the invention and before assembling said parts, the method comprises: an expansion step for generating a field of compression stresses at the periphery of said first hole (11) and locally in the material constituting the part of a metal material using an expansion tool; a single boring step for making said first hole (11) and said second hole (3) with a diameter O_{final} substantially larger than the diameter of the fastener (9) in order to leave a gap between the inner walls of said holes (3, 11) and the outer surface of the fastener (9); and an assembling step for placing the fastener (9) inside said holes (3, 11) for maintaining together the metal part and the composite part.

(57) Abrégé : L invention concerne un procédé d'assemblage entre une pièce en matériau métallique (1) et une pièce en matériau composite (2), la jonction entre lesdites pièces étant réalisée au moyen d'une fixation de section sensiblement constante reçue dans un premier trou réalisé (11) dans la pièce en matériau métallique et un deuxième trou (3) réalisé dans la pièce en matériau composite. Selon l invention, préalablement à l'assemblage entre lesdites pièces, le procédé comporte : -une étape d'expansion pour générer un champ de contraintes de compression à la périphérie

[Suite sur la page suivante]

WO 2008/148993 A2



(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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii))

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

dudit premier trou (11) et localement dans le matériau constituant la pièce en matériau métallique au moyen d'un outil d'expansion, -une étape d'alésage unique pour réaliser ledit premier trou (11) et ledit deuxième trou (3) ayant un diamètre O_{final} sensiblement supérieur au diamètre de la fixation (9) de manière à laisser un interstice entre la paroi interne desdits trous (3, 11) et la surface externe de la fixation (9), -une étape d'assemblage pour positionner la fixation (9) dans lesdits trous (3, 11) pour maintenir la pièce métallique et la pièce composite ensemble.

PROCEDE D'ASSEMBLAGE ENTRE UNE PIECE EN MATERIAU METALLIQUE ET UNE PIECE EN MATERIAU COMPOSITE AU MOYEN D'UNE FIXATION

L'invention concerne un procédé d'assemblage entre une pièce en matériau métallique et une pièce en matériau composite au moyen d'une fixation de section sensiblement constante maintenue dans un alésage réalisé à cet effet dans les pièces.

D'une manière générale, l'invention trouve des applications dès lors qu'il est nécessaire d'assembler au moins une pièce en matériau métallique avec une pièce en matériau composite, en particulier pour des assemblages soumis à des sollicitations mécaniques significatives. L'invention trouve plus particulièrement des applications dans le domaine de l'aéronautique, dans lequel le procédé d'assemblage peut influencer la durée de vie en fatigue et la sécurité des structures aéronautiques. L'invention trouve également des applications dans le domaine des véhicules terrestres, pour l'assemblage des pièces destinées à former des structures légères.

Pour la suite de la description, les expressions "pièce en matériau métallique" et "pièce en matériau composite" sont désignées respectivement par les expressions "pièce métallique" et "pièce composite".

Il est connu d'utiliser un procédé d'expansion des alésages et de montage en interférence de fixation pour augmenter la durée de vie en fatigue dans un assemblage entre deux pièces métalliques. Ces procédés d'expansion et d'interférence induisent des contraintes de compression à la surface de l'alésage et localement dans le matériau constituant la pièce. Ces contraintes ont pour effet de retarder l'amorçage et la propagation de fissures de fatigue au voisinage immédiat de l'alésage. Il en résulte une augmentation de la durée de vie en fatigue. Il existe plusieurs procédés d'expansion et ils peuvent être utilisés séparément ou en combinaison.

La figure 1.A représente un procédé connu dit de montage en interférence d'un assemblage entre deux pièces métalliques qui consiste à réaliser un alésage dans les deux pièces 1 ayant un diamètre $\varnothing_{\text{alésage}}$ inférieur à un diamètre $\varnothing_{\text{fixation}}$ de fixation qui est le diamètre de la tige de fixation 9. L'insertion de la fixation 9 dans l'alésage génère des contraintes de compression à la périphérie des trous de l'alésage en raison du diamètre $\varnothing_{\text{fixation}}$ de fixation supérieur au diamètre $\varnothing_{\text{alésage}}$ de l'alésage. Les contraintes ainsi créées permettent d'augmenter la durée de vie en fatigue au niveau de ces zones travaillantes, critiques en raison d'initiation de criques dans des zones chargées.

La figure 1.B illustre schématiquement un autre exemple de procédé connu pour générer des contraintes localement à la surface de l'alésage dans un assemblage de pièces métalliques. On utilise un procédé d'expansion au moyen d'un outil d'expansion 6. Le procédé comporte les étapes suivantes :

(1) on réalise un premier alésage au moyen d'un outil d'alésage conventionnel 5 dans les deux pièces métalliques, le diamètre de l'alésage est choisi de telle sorte que le diamètre de l'alésage soit adapté au diamètre de l'outil d'expansion 6, c'est-à-dire le diamètre $\varnothing_{\text{alésage}}$ de l'alésage doit être légèrement inférieur au diamètre de l'outil d'expansion.

(2) on fait passer ensuite l'outil d'expansion 6 dit brunissoir au travers de l'alésage réalisé à l'étape (1), cet outil présentant une partie en forme d'olive avec un diamètre supérieur à celui de l'alésage, son passage au travers de l'alésage écrouit ce dernier et y génère des contraintes résiduelles de compression à la surface de l'alésage et localement dans le matériau des deux pièces.

(3) on effectue un alésage final pour adapter le diamètre des trous au diamètre de la tige de fixation, puis on pose la fixation pour maintenir l'assemblage des deux pièces.

Les pièces en matériau composite présentent des propriétés exceptionnelles en terme de résistance à la fatigue mécanique et une forte rigidité tout en conférant une très faible masse aux structures. Ces pièces sont notamment mises en œuvre dans l'industrie aéronautique, y compris dans des structures fortement chargées. Cependant, l'assemblage de ces pièces composites pose des problèmes spécifiques par rapport au cas des pièces métalliques.

En effet les pièces composites 2 telles que représentées sur la figure 1.C sont constituées de structures obtenues par stratification de fibres imprégnées de résine, par exemple de fibres de carbone imprégnées d'une résine epoxy. Une telle pièce composite présente des propriétés structurales avantageuses dans le plan des strates de fibres mais est sensible à des phénomènes de délamination dans une direction perpendiculaire aux plans, c'est-à-dire dans la direction de l'alésage utilisé pour poser la fixation.

Les efforts de compression exercés par les moyens de fixation peuvent engendrer le phénomène de délaminage au niveau de l'alésage. De manière générale pour éviter ce phénomène de délaminage, on doit minimiser les contraintes qui apparaissent au niveau de la zone de fixation, c'est-à-dire à l'interface entre la paroi de l'alésage et la fixation. Pour cela, et contrairement au cas d'un assemblage métallique, on réalise généralement un alésage ayant un diamètre légèrement supérieur au diamètre de la fixation 9 de manière à laisser un jeu suffisant entre la paroi du trou d'alésage et la surface de la fixation 9 pour éviter les interférences.

Dans les structures aéronautiques, la coexistence des pièces métalliques et composites conduit à de fréquents assemblages de pièces métalliques avec des pièces composites. Il peut s'agir de jonctions entre deux panneaux de structures différentes ou de renforts locaux, par exemple des nervures, ou des raidisseurs métalliques sur un panneau composite.

Dans un tel assemblage, soit il est choisi un assemblage comportant un jeu entre la paroi des trous et une fixation et le montage est alors défavorable à la pièce métallique en terme de durée de vie en fatigue, soit il est choisi un assemblage avec interférence et un tel montage risque d'endommager la pièce composite.

Une solution consisterait à réaliser indépendamment dans la pièce métallique et dans la pièce composite qui sont deux pièces distinctes un trou pour la fixation, puis de générer dans la pièce métallique un champ de contraintes résiduelles en absence de la pièce composite, puis dans un second temps de placer la pièce composite contre la pièce métallique pour l'assemblage. Cette solution n'est pas satisfaisante, en effet dans ce cas, il faut prédéterminer précisément les positions des trous afin qu'ils soient alignés lors de l'assemblage pour le passage de la fixation. Cet alignement n'est pas réalisable

industriellement.

La présente invention cherche donc à résoudre un problème d'assemblage entre une pièce métallique et une pièce composite au moyen d'une fixation sans pénaliser la durée de vie en fatigue de la pièce métallique et sans endommager la pièce composite.

La présente invention propose un procédé permettant de manière générale de générer uniquement un champ de contraintes à la périphérie du trou de fixation de la pièce métallique, et localement dans le matériau de la pièce métallique sans interférence avec la pièce composite, tout en garantissant un alignement parfait entre les trous de fixation des deux pièces.

A cet effet, l'invention a donc pour objet un procédé d'assemblage entre une pièce en matériau métallique et une pièce en matériau composite, la jonction entre lesdites pièces étant réalisée au moyen d'une fixation de section sensiblement constante reçue dans un premier trou réalisé dans la pièce en matériau métallique et un deuxième trou réalisé dans la pièce en matériau composite.

Selon l'invention, préalablement à l'assemblage entre lesdites pièces le procédé comporte :

- une étape d'expansion pour générer un champ de contraintes de compression à la périphérie dudit premier trou et localement dans le matériau constituant la pièce en matériau métallique au moyen d'un outil d'expansion,
- une étape d'alésage unique pour réaliser ledit premier trou et ledit deuxième trou ayant une diamètre $\varnothing_{\text{final}}$ sensiblement supérieur au diamètre de la fixation de manière à laisser un interstice entre la paroi interne desdits trous et la surface externe de la fixation,
- une étape d'assemblage pour positionner la fixation dans lesdits trous pour maintenir la pièce métallique et la pièce composite ensemble.

Selon une première forme de mise en œuvre du procédé dans laquelle l'étape d'expansion est réalisée par frappes sur un outil constitué de deux parties, le procédé comporte les étapes suivantes :

- placer la pièce métallique contre la pièce composite,
- réaliser ledit deuxième trou dans la pièce en matériau composite ayant un diamètre \varnothing_2 sensiblement supérieur au diamètre extérieur \varnothing_b dudit outil d'expansion, afin de permettre le passage de l'outil d'expansion sans générer de

contraintes à la périphérie dudit deuxième trou,

- réaliser l'étape d'expansion dans la pièce métallique en appliquant les deux parties de l'outil de chaque côté de la pièce métallique sur la surface de la pièce métallique, les extrémités des deux parties de l'outil d'expansion étant placées en regard, l'une des parties traversant ledit deuxième trou de la pièce composite de telle sorte que la zone expansée dans la pièce métallique soit une zone sensiblement en regard du deuxième trou,

- frapper sur les deux parties pour générer le champ de contraintes dans la zone en regard du deuxième trou de la pièce en matériau composite,

- réaliser l'étape d'alésage dans la zone expansée et dans ledit deuxième trou pour obtenir un premier trou et un deuxième trou ayant un même diamètre une diamètre $\varnothing_{\text{final}}$,

- réaliser l'étape d'assemblage en positionnant la fixation.

Selon une deuxième forme de mise en œuvre du procédé dans laquelle l'étape d'expansion est réalisée avec un outil d'expansion dit brunissoir, le procédé comporte les étapes suivantes :

- placer la pièce métallique contre la pièce composite,

- réaliser ledit deuxième trou dans la pièce en matériau composite ayant un diamètre \varnothing_2 sensiblement supérieur au diamètre extérieur \varnothing_b de l'outil d'expansion, afin de permettre le passage de l'outil d'expansion sans générer de contraintes à la périphérie dudit deuxième trou,

- réaliser un premier trou dans la pièce métallique en regard dudit deuxième trou, ledit premier trou ayant un diamètre \varnothing_1 sensiblement inférieur au diamètre de l'outil d'expansion, de telle sorte que le passage dudit outil dans ledit trou génère le champ de contraintes à la périphérie du trou en exerçant une action mécanique par écrouissage sur la paroi interne du trou,

- faire passer ledit outil dans lesdits trous,

- réaliser l'étape d'alésage dans ledit premier trou expansé et dans ledit deuxième trou pour obtenir un premier trou et un deuxième trou ayant un même diamètre une diamètre $\varnothing_{\text{final}}$,

- réaliser l'étape d'assemblage en positionnant la fixation (9).

Selon une troisième forme de mise en œuvre du procédé dans laquelle l'étape d'expansion utilise un faisceau laser comme outil d'expansion, ledit

procédé comporte les étapes suivantes :

- placer la pièce métallique contre la pièce composite,
- réaliser ledit deuxième trou dans la pièce en matériau composite ayant un diamètre \varnothing_2 sensiblement supérieur au diamètre extérieur \varnothing_b de l'outil d'expansion, afin de permettre le passage de l'outil d'expansion sans générer de contraintes à la périphérie dudit deuxième trou,
- réaliser un premier trou dans la pièce en matériau métallique, le diamètre \varnothing_1 dudit trou étant sensiblement inférieur au diamètre \varnothing_2 de la pièce en matériau composite,
- réaliser l'étape d'expansion en envoyant un faisceau laser dans ledit premier trou de part et d'autre de la pièce en matériau métallique, ledit faisceau ayant un diamètre inférieur au diamètre \varnothing_2 du trou de la pièce composite, le balayage du faisceau laser sur au moins une partie des surfaces de la paroi interne du trou permettant d'exercer une action d'écrouissage dans ledit trou, générant le champ de contraintes à la périphérie dudit premier trou et localement dans le matériau constituant la pièce métallique,
- réaliser l'étape d'alésage dans ledit premier trou expansé et dans ledit deuxième trou pour obtenir un premier trou et un deuxième trou ayant un même diamètre une diamètre $\varnothing_{\text{final}}$,
- réaliser l'étape d'assemblage en positionnant la fixation.

Selon une quatrième forme de mise en œuvre du procédé dans laquelle l'étape d'expansion utilise un poinçon comme outil d'expansion, ledit procédé comporte les étapes suivantes :

- poinçonner de part et d'autre la surface de la pièce en matériau métallique au moyen dudit poinçon, ladite zone ainsi expansée étant repérable par les marques de poinçon sur la surface externe de la pièce en matériau métallique,
- placer la pièce en matériau métallique contre la pièce en matériau composite,
- réaliser l'étape d'alésage unique dans le sens de la pièce métallique vers la pièce composite, en plaçant l'extrémité de l'outil d'alésage au centre de la zone expansée repérée sur la surface de la pièce en matériau métallique, pour obtenir un premier trou et un deuxième trou ayant un même diamètre une diamètre $\varnothing_{\text{final}}$, ledit premier trou étant centré par rapport au champ de contraintes générés,

- réaliser l'étape d'assemblage en positionnant la fixation dans lesdits trous.

L'invention concerne également une utilisation du procédé tel que décrit ci-dessus pour fabriquer une structure d'aéronef comportant un assemblage entre au moins une pièce composite et au moins une pièce métallique.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Celles-ci sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention. Les figures représentent :

- Figure 1.A : une vue en coupe d'un assemblage entre deux pièces métalliques selon l'état de la technique par un procédé dit de montage en interférence,
- Figure 1.B : les différentes étapes d'un procédé d'expansion dans un assemblage de pièces métalliques de l'état de la technique,
- Figure 1.C : un assemblage entre deux pièces composites de l'état de la technique,
- Figure 2 : procédé d'assemblage entre une pièce métallique et une pièce composite selon une première forme de mise en œuvre de l'invention,
- Figure 3 : procédé d'assemblage entre une pièce métallique et une pièce composite selon une deuxième forme de mise en œuvre de l'invention,
- Figure 4 : procédé d'assemblage entre une pièce métallique et une pièce composite selon une troisième forme de mise en œuvre de l'invention,
- Figure 5 : procédé d'assemblage entre une pièce métallique et une pièce composite selon une quatrième forme de mise en œuvre de l'invention.

Le procédé de la présente invention est applicable de manière générale à un assemblage entre une pièce métallique 1 et une pièce composite 2 qui sont des pièces distinctes et destinées à être maintenues l'une contre l'autre au moyen d'une fixation positionnée dans un alésage réalisé dans lesdites pièces.

Le concept principal de l'invention est de pouvoir générer préalablement à l'assemblage entre la pièce métallique et la pièce composite un champ de contraintes sur la surface de l'alésage dans la pièce métallique et localement dans le matériau constituant la pièce métallique au voisinage immédiat de l'alésage au moyen d'un procédé d'expansion sans endommager la pièce composite. La présence de ces contraintes permet d'augmenter la durée de vie en fatigue dans la pièce métallique et de retarder la propagation des fissures.

Pour ce faire il est impératif que l'étape du procédé d'expansion soit réalisée sans interférence avec la pièce composite afin d'éviter de créer des contraintes dans le volume de la pièce composite qui endommagerait la pièce composite.

Un autre objectif de la présente invention est d'obtenir un alignement parfait entre le trou de la pièce métallique et le trou de la pièce composite pour positionner la fixation destinée à maintenir les pièces ensemble et un centrage du trou de la pièce métallique par rapport au champ de contraintes générées.

Les figures 2, 3, 4 et 5 représentent quatre formes de mise en œuvre du procédé de l'invention répondant à ces objectifs.

La pièce métallique 1 peut être réalisée, à titre d'exemple, dans un alliage d'aluminium et la pièce composite 2 dans un matériau composite comportant des fibres maintenues par une résine, par exemple des fibres de carbone.

D'une façon générale, à l'état initial, les deux pièces 1, 2, l'une ou l'autre, ou toutes les deux présentent des trous réalisés au moyen d'un outil d'alésage conventionnel, ayant un diamètre \varnothing_0 nécessitant ultérieurement un alésage pour être adapté aux différentes étapes du procédé de l'invention.

Pour la suite de la description, pour distinguer les trous réalisés dans la pièce métallique et dans la pièce composite, le trou de la pièce métallique est désigné par l'expression "premier trou" et le trou de la pièce composite par l'expression "deuxième trou".

Sur la figure 2 est représentée une coupe de section d'un assemblage entre la pièce métallique 1 et la pièce composite 2 selon une première forme de mise en œuvre de l'invention dans laquelle la pièce métallique est soumise localement à un procédé d'expansion réalisé par frappe.

L'outil d'expansion est constitué ici en deux parties 401, 402. Le procédé d'expansion consisterait à exercer des frappes sur la surfaces de la pièce métallique au moyen des deux parties 401, 402. Les frappes permettent de générer localement ainsi un champ de contraintes persistantes dans le matériau de la pièce métallique.

A l'état initial (1), aucune des deux pièces ne présente de trous.

A l'étape (2), on réalise tout d'abord un deuxième trou 3 dans la pièce composite au moyen d'un outil d'alésage classique 5. Ledit trou 3 est réalisé avec un diamètre \varnothing_2 spécifique, ce dernier doit être supérieur au diamètre extérieur \varnothing_b

d'un outil d'expansion de sorte que l'outil d'expansion puisse passer au travers du deuxième trou 3 sans exercer de contrainte sur la paroi interne du deuxième trou 3.

En troisième étape (3), on réalise l'expansion au moyen des deux parties 401, 402 de l'outil d'expansion par frappes, les extrémités desdites parties étant placées en vis-à-vis, une des deux parties 402 de l'outil traversant le deuxième trou 3 de la pièce composite 2, dans une zone en regard du deuxième trou 3, l'autre partie 401 étant positionnée sur la face opposée de la pièce métallique en regard du deuxième trou 3. Ainsi la position du centre de la zone expansée est déterminée par le deuxième trou 3.

En quatrième étape (4), on réalise un alésage final du premier trou 11 et du deuxième trou 3 de sorte que les diamètres du premier trou et du deuxième trou soient égaux, le premier trou est éventuellement réalisé à travers du deuxième trou. Ce diamètre $\varnothing_{\text{final}}$ est sensiblement supérieur au diamètre $\varnothing_{\text{fixation}}$ d'une fixation 9 de manière à laisser un interstice entre la paroi des trous 3, 11 et la surface de la fixation afin d'éviter une interférence entre la fixation et la paroi de l'alésage, ce qui a pour effet d'éviter de générer des contraintes radiales dans l'alésage.

La valeur du diamètre $\varnothing_{\text{final}}$ est choisie de sorte que le champ de contraintes générées couvre suffisamment le diamètre de la matière retirée lors de l'alésage de manière à ne pas engendrer une perte de durée de vie en fatigue dans la pièce métallique.

En figure 3 est représentée une deuxième forme de mise en œuvre de l'invention dans laquelle un outil d'expansion 6 est utilisé pour générer localement un champ de contraintes résiduelles dans la pièce métallique 1.

Dans cette forme de réalisation, il est nécessaire de préparer dans la pièce métallique avant l'étape d'expansion un premier trou ayant un diamètre \varnothing_1 adapté au diamètre d'un brunissoir 6 utilisé comme outil d'expansion, c'est-à-dire le diamètre \varnothing_1 doit être légèrement inférieur au diamètre d'une partie située à l'extrémité du brunissoir 6 de telle sorte que son passage dans le trou de la pièce métallique y crée des contraintes. Par ailleurs le diamètre du brunissoir et le diamètre du premier trou sont inférieurs au diamètre \varnothing_2 du deuxième trou de la pièce composite de telle sorte que le passage de l'outil d'expansion au travers du

deuxième trou ne génère pas de contraintes.

Dans cette deuxième forme de réalisation, on a représenté les deux pièces 1, 2 à l'état initial (1) comportant chacune un trou ayant un diamètre initial \varnothing_0 .

En (2) on effectue un alésage du deuxième trou 3 de telle sorte que son diamètre \varnothing_2 soit sensiblement supérieur au diamètre \varnothing_b du brunissoir 6 de telle sorte le passage de ce dernier au travers du deuxième trou ne puisse pas engendrer de contraintes au sein du volume de la pièce composite.

En (3) on prépare l'alésage dans la pièce métallique pour l'expansion au moyen d'un outil d'alésage conventionnel 13 permettant d'obtenir un diamètre \varnothing_1 adapté pour l'étape d'expansion.

Dans une variante de cette deuxième forme de réalisation, on peut inverser l'ordre dans lequel sont réalisées l'étape (2) et l'étape (3).

Avantageusement, avant de procéder à l'alésage du deuxième trou dans l'étape (2), on peut disposer une cale d'arrêt de matériau différent de ceux des pièces entre la pièce métallique et la pièce composite. Cette cale d'arrêt a pour fonction d'indiquer à l'outil d'alésage la limite de l'alésage à ne pas dépasser du côté de la pièce composite. Cette cale d'arrêt sera retirée pour les étapes suivantes du procédé.

L'étape d'expansion représentée en (4) sur la figure 3 consiste à faire passer le brunissoir 6 à travers du premier trou et du deuxième trou. Le brunissoir ayant un diamètre supérieur au diamètre \varnothing_1 du premier trou et inférieur au diamètre \varnothing_2 du deuxième trou, exerce alors une action mécanique par écrouissage sur la paroi interne du premier trou, créant ainsi un champ de contraintes résiduelles à la périphérie du premier trou tout en élargissant jusqu'à l'obtention d'un diamètre d'expansion \varnothing_{exp} .

En dernière étape (5), on réalise un alésage final du premier trou 11 et du deuxième trou 3 de sorte que les diamètres du premier trou et du deuxième trou soient parfaitement alignés et égaux pour recevoir la fixation de section sensiblement constante.

En figure 4 est représentée une troisième forme de réalisation de l'invention dans laquelle un outil d'expansion utilisé est un faisceau laser.

Comme dans le cas des deux autres formes de réalisation, le diamètre du faisceau doit être inférieur au diamètre \varnothing_2 pour ne pas élargir la pièce

composite lorsque le faisceau laser passe au travers du deuxième trou.

Dans cette troisième forme de réalisation, les deux pièces 1, 2 à l'état initial (1) comportent chacune un trou ayant un diamètre initial \varnothing_0 .

En (2) on effectue un alésage du deuxième trou 3 de telle sorte que son diamètre \varnothing_2 soit sensiblement supérieur au diamètre \varnothing_b du faisceau laser de telle sorte le passage de ce dernier au travers du deuxième trou ne puisse pas engendrer de contraintes au sein du volume de la pièce composite.

L'action d'expansion représentée sur la figure 4 en (3) consiste à envoyer au moins un faisceau laser sur la paroi du premier trou. Le balayage du faisceau laser sur au moins une partie des surfaces de la paroi du premier trou exerce une action d'écrouissage similaire à celle du brunissoir sur la paroi interne du premier trou et génère un champ de contraintes résiduelles sur la surface d'alésage.

Avantageusement dans cette troisième forme de réalisation de l'invention, il est possible d'adapter les paramètres du tir laser en fonction du diamètre initial \varnothing_0 du deuxième trou de telle sorte que l'étape de surdiamétrage (2) soit optionnelle. Notamment il est possible de faire varier le diamètre du faisceau laser, ainsi que la valeur de l'angle solide de sa projection pour l'adapter au diamètre du deuxième trou de manière à ne pas l'endommager. Un exemple de conditions de tir laser est le suivant : la longueur d'onde du faisceau laser est d'environ 1 μm , avec une énergie de 28 J pendant 25 ns.

La figure 5 montre une quatrième forme de réalisation de l'invention dans laquelle la pièce métallique est préparée avant son positionnement avec la pièce composite, l'étape de création de champ de contraintes résiduelles est alors effectuée en l'absence de la pièce composite.

On poinçonne dans une première étape (1) de part et d'autre la surface de la pièce métallique dans la zone d'alésage au moyen d'un outil d'expansion, la zone ainsi expansée est alors repérable par la marque du poinçon 8 sur les surfaces externes de la pièce métallique.

Dans une seconde étape, on réalise l'alésage dans les deux pièces en une seule étape au moyen d'un outil d'alésage 10. De préférence l'alésage part de la face de la pièce métallique, dans le sens de la pièce métallique vers la pièce composite dans la zone expansée afin de réaliser précisément le trou au centre de la zone expansée, soit précisément au centre du champ des contraintes créées 15

à l'étape (2).

Dans une dernière étape, la fixation 9 est positionnée dans l'alésage pour maintenir ensemble les pièces 1, 2.

Le procédé de l'invention permet de créer localement des contraintes résiduelles ou non dans le volume de la pièce métallique pour augmenter la durée de vie en fatigue sans endommager la pièce composite, tout en permettant une grande flexibilité au niveau des différentes techniques d'expansion et également de l'outil d'expansion sans interférence avec la pièce composite.

En outre un alésage unique dans la pièce métallique et dans la pièce composite permet d'obtenir un alignement parfait entre les trous des deux pièces. Ceci est particulièrement intéressant dans le cas où les pièces doivent être assemblées au moyen d'une ligne de liaison.

Le diamètre final $\varnothing_{\text{final}}$ des trous pour l'étape d'assemblage est choisi de telle sorte qu'il soit sensiblement supérieur au diamètre de la fixation, de façon à être compatible avec les tolérances de fixation de la pièce composite sans engendrer de contraintes locales dans la pièce composite. Toutefois il ne doit pas être trop élevé de manière à ce que la matière enlevée n'entraîne pas une perte de l'efficacité des contraintes sur la durée de vie en fatigue dans la pièce métallique.

Le procédé décrit ci-dessus peut être utilisé pour fabriquer tout type de structures d'aéronef ou de véhicules terrestres comportant un assemblage entre au moins une pièce composite et au moins une pièce métallique soumis à des sollicitations mécaniques significatives.

REVEN DICATIONS

1- Procédé d'assemblage entre une pièce en matériau métallique (1) et une pièce en matériau composite (2), la jonction entre lesdites pièces étant réalisée au moyen d'une fixation de section sensiblement constante reçue dans un premier trou (11) réalisé dans la pièce en matériau métallique et un deuxième trou (3) réalisé dans la pièce en matériau composite, caractérisé en ce que préalablement à l'assemblage entre lesdites pièces, le procédé comporte :

- une étape d'expansion dans laquelle l'outil d'expansion comporte un diamètre extérieur \varnothing_b supérieur au diamètre \varnothing_1 dudit premier trou (11) et inférieur au diamètre \varnothing_2 dudit deuxième trou (3) de manière à générer uniquement un champ de contraintes de compression à la périphérie dudit premier trou (11) et localement dans le matériau constituant la pièce en matériau métallique ;

- une étape d'alésage unique pour réaliser ledit premier trou (11) et ledit deuxième trou (3) afin d'obtenir un diamètre $\varnothing_{\text{final}}$ sensiblement supérieur au diamètre de la fixation (9) de manière à laisser un interstice entre la paroi interne desdits trous (3, 11) et la surface externe de la fixation (9),

- une étape d'assemblage pour positionner la fixation (9) dans lesdits trous (3, 11) pour maintenir la pièce métallique et la pièce composite ensemble.

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit outil d'expansion étant un outil d'expansion dit brunissoir, le procédé comporte les étapes suivantes :

- placer la pièce en matériau métallique (1) contre la pièce en matériau composite (2),

- réaliser ledit deuxième trou (3) dans la pièce en matériau composite ayant un diamètre \varnothing_2 sensiblement supérieur au diamètre extérieur \varnothing_b de l'outil d'expansion, afin de permettre le passage du brunissoir sans générer de contraintes à la périphérie dudit deuxième trou (3),

- réaliser un premier trou (11) dans la pièce métallique en regard dudit deuxième trou (3), ledit premier trou (11) ayant un diamètre \varnothing_1 sensiblement inférieur au diamètre de l'outil d'expansion, de telle sorte que le passage dudit outil dans ledit trou (11) génère le champ de contraintes à la périphérie du trou en

exerçant une action mécanique par écrouissage sur la paroi interne du trou (11),

- faire passer ledit outil dans lesdits trous (3, 11),

- réaliser l'étape d'alésage dans ledit premier trou expansé et dans ledit deuxième trou (3) pour obtenir un premier trou et un deuxième trou ayant un même diamètre final $\varnothing_{\text{final}}$,

- réaliser l'étape d'assemblage en positionnant la fixation (9).

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'une cale d'arrêt d'alésage est placée entre la pièce métallique (2) et la pièce composite (1) ayant pour fonction d'indiquer la limite d'alésage dudit outil d'alésage avant l'étape de l'alésage du deuxième trou, ladite cale étant ensuite retirée pour l'étape dite d'alésage final et l'étape d'assemblage.

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ledit outil d'expansion comporte une partie ayant un diamètre \varnothing_b sensiblement supérieur au diamètre \varnothing_2 .

5. Procédé d'assemblage selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit outil d'expansion étant un faisceau laser (7), ledit procédé comporte les étapes suivantes :

- placer la pièce en matériau métallique (1) contre la pièce en matériau composite (2),

- réaliser ledit deuxième trou (3) dans la pièce en matériau composite ayant un diamètre \varnothing_2 sensiblement supérieur au diamètre \varnothing_b du faisceau laser afin de permettre le passage du faisceau laser sans générer de contraintes à la périphérie dudit deuxième trou (3),

- réaliser un premier trou (11) dans la pièce en matériau métallique, le diamètre \varnothing_1 dudit trou étant sensiblement inférieur au diamètre \varnothing_2 de la pièce en matériau composite,

- envoyer un faisceau laser (7) dans ledit premier trou de part et d'autre de la pièce en matériau métallique, ledit faisceau ayant un diamètre inférieur au diamètre \varnothing_2 du trou de la pièce composite, le balayage du faisceau laser sur au moins une partie des surfaces de la paroi interne du trou (1) permettant d'exercer une action d'écrouissage dans ledit trou, générant le champ de contraintes à la périphérie dudit premier trou (11) et localement dans le matériau constituant la pièce métallique,

- réaliser l'étape d'alésage dans ledit premier trou expansé et dans ledit deuxième trou (3) pour obtenir un premier trou et un deuxième trou ayant un même diamètre final $\varnothing_{\text{final}}$,

- réaliser l'étape d'assemblage en positionnant la fixation (9).

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fixation (9) est un boulon ou une vis.

7. Utilisation du procédé selon l'une des revendications précédentes pour fabriquer une structure d'aéronef comportant un assemblage entre au moins une pièce en matériau composite (2) et au moins une pièce en matériau métallique (1) au moyen d'une fixation (9).

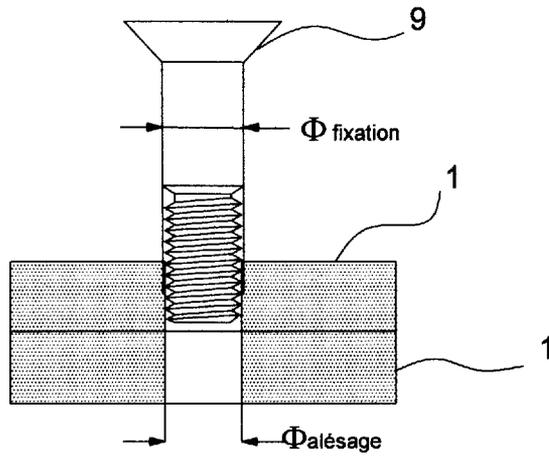


Fig. 1a

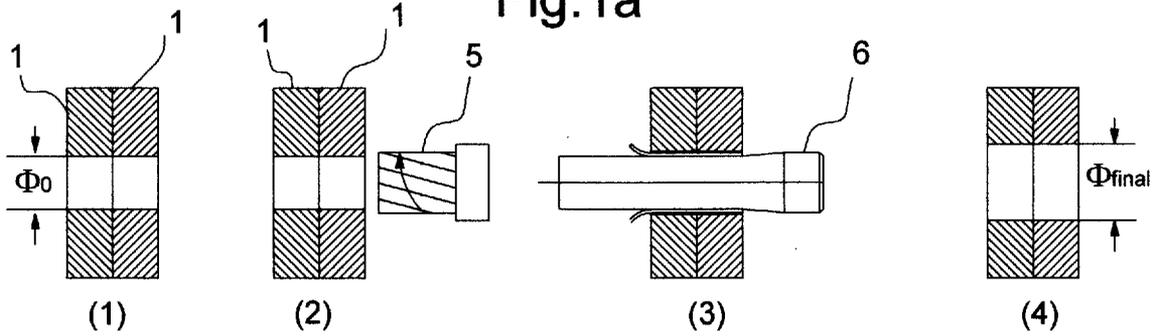


Fig. 1b

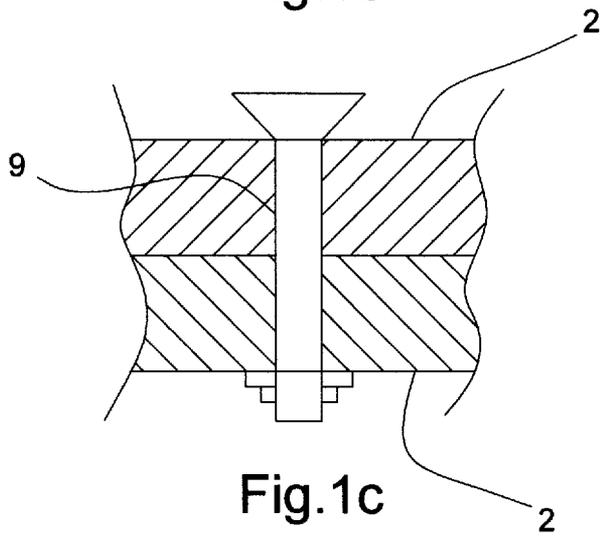


Fig. 1c

Fig. 1

ART ANTERIEUR

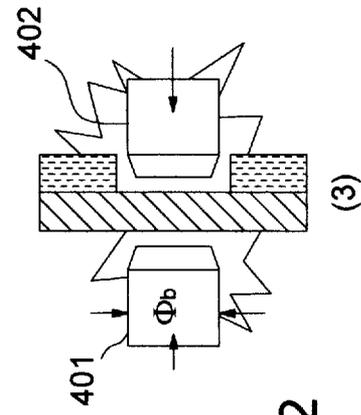
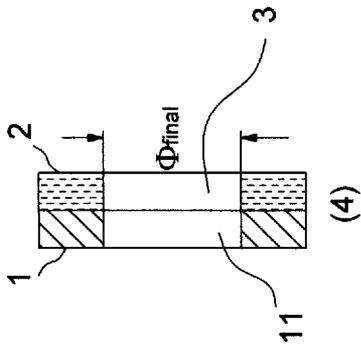
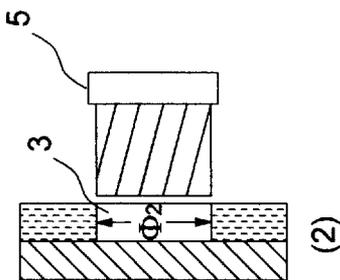
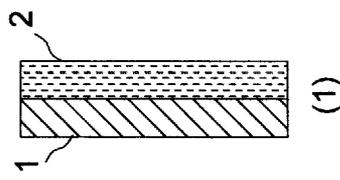


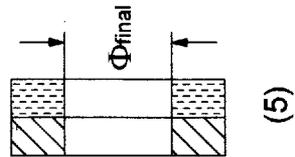
Fig.2



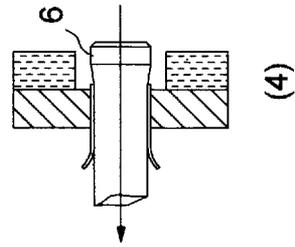
(2)



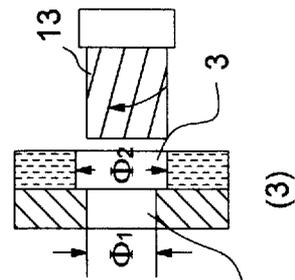
(1)



(5)

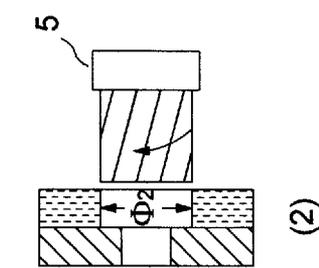


(4)

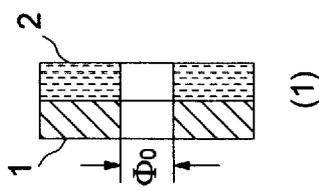


(3)

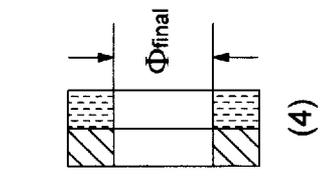
Fig.3



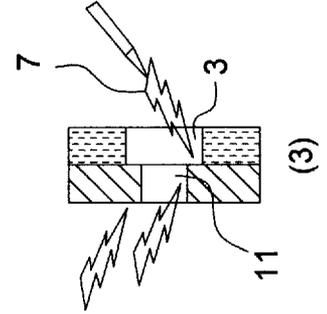
(2)



(1)

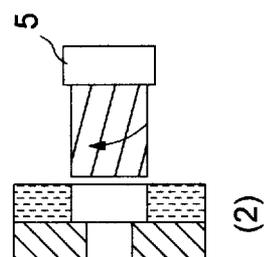


(4)

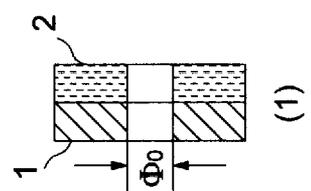


(3)

Fig.4



(2)



(1)

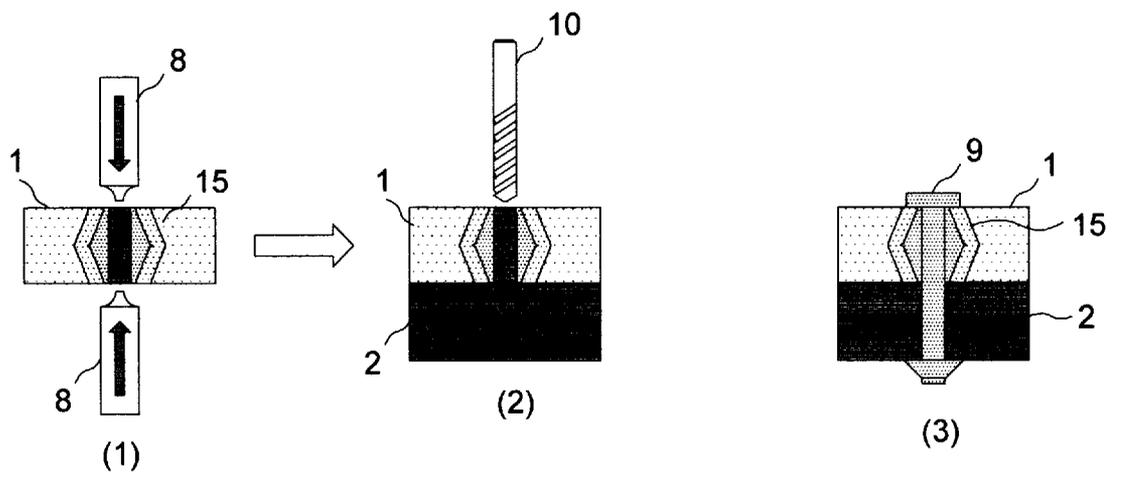


Fig.5