

(12) BREVET D'INVENTION BELGE

(47) Date de publication : 18/11/2024

(21) Numéro de demande : BE2023/5298

(22) Date de dépôt : 21/04/2023

(62) Divisé de la demande de base :

(62) Date de dépôt demande de base :

(51) Classification internationale : B23K 20/12, F01D 5/30, F01D 5/34, B23P 15/00

(30) Données de priorité :

(73) Titulaire(s) :

SAFRAN AERO BOOSTERS

SA
4041, HERSTAL
Belgique

(72) Inventeur(s) :

PANCRACE Johann

4041 HERSTAL
Belgique

ESCAFFRE Jeremy Jean-Claude Jacques Louis

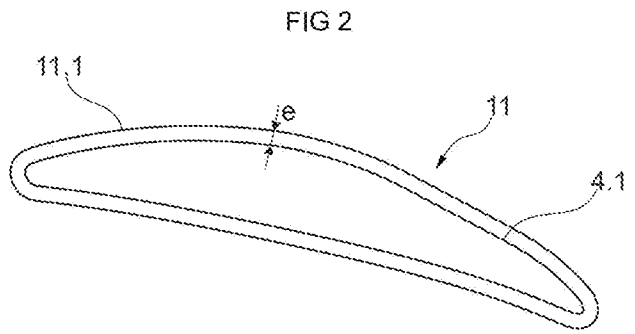
4041 HERSTAL
Belgique

LEFAUX Yann Jean-Pierre

4041 HERSTAL
Belgique

**(54) PROCÉDÉ DE MODÉLISATION D'UNE JONCTION D'AUBE À UN MOIGNON DE ROTOR
DE TURBOMACHINE PAR SOUDAGE ORBITAL**

(57) L'invention propose un procédé de modélisation d'une jonction (10) d'aube (4) à un moignon (6) sur un rotor (2) de turbomachine, par soudure à friction orbitale, comprenant l'étape suivante : détermination d'une vitesse de consommation de matière VCA en fonction des paramètres de soudure par friction orbitale suivants : excentricité, fréquence et pression, et d'un paramètre géométrique z de la section de l'aube et du moignon au niveau de la jonction ; remarquable en ce que le procédé comprend, en outre, l'étape suivante : détermination d'une épaisseur maximale e_{max} de la jonction en fonction de la vitesse de consommation de matière VCA déterminée, le paramètre géométrique z étant une moyenne des rayons moyens z_i balayant la section au niveau de la jonction en tout point i de la périphérie de ladite section.



Description**PROCÉDÉ DE MODÉLISATION D'UNE JONCTION D'AUBE À UN MOIGNON DE ROTOR DE TURBOMACHINE PAR SOUDAGE ORBITAL****Domaine technique**

- 5 L'invention a trait à un procédé de modélisation d'une jonction d'aube à un rotor de turbomachine, et plus particulièrement à un procédé de de modélisation d'une jonction obtenue par soudage par friction orbitale d'aube à un moignon sur un rotor de turbomachine.

Art antérieur

- 10 Le changement climatique est une préoccupation majeure pour de nombreux organes législatifs et de régulation à travers le monde. En effet, diverses restrictions sur les émissions de carbone ont été, sont ou seront adoptées par divers états. En particulier, une norme ambitieuse s'applique à la fois aux nouveaux types d'avions mais aussi à ceux en circulation nécessitant de devoir
- 15 mettre en œuvre des solutions technologiques afin de les rendre conformes aux réglementations en vigueur. L'aviation civile se mobilise depuis maintenant plusieurs années pour apporter une contribution à la lutte contre le changement climatique.

- Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière
- 20 très significative les performances environnementales des avions. La Déposante prend en considération les facteurs impactant dans toutes les phases de conception et de développement pour obtenir des composants et des produits aéronautiques moins énergivores, plus respectueux de l'environnement et dont l'intégration et l'utilisation dans l'aviation civile ont des conséquences
- 25 environnementales modérées dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.

- Par voie de conséquence, la Déposante travaille en permanence à la réduction de son incidence climatique négative par l'emploi de méthodes et l'exploitation de procédés de développement et de fabrication vertueux et minimisant les
- 30 émissions de gaz à effet de serre au minimum possible pour réduire de l'empreinte environnementale de son activité.

Ces travaux de recherche et de développement soutenus portent à la fois sur les nouvelles générations de moteurs d'avions, l'allègement des appareils, notamment par les matériaux employés et les équipements embarqués allégés, le développement de l'emploi des technologies électriques pour assurer la propulsion, et, indispensables compléments aux progrès technologiques, les biocarburants aéronautiques.

A cet effet, l'invention est le résultat des recherches technologiques visant à améliorer de manière très significative les performances des avions et, en ce sens, contribue à la réduction de l'impact environnemental des avions.

10 Dans ce contexte, l'invention vise un procédé de modélisation et de soudage par friction orbitale pour la réalisation d'un disque aubagé (communément désigné par : « blisk ») ou un tambour aubagé (communément désigné par « blum ») de compresseur de turbomachine.

15 Le soudage par friction orbitale est un procédé de soudage dans lequel les pièces à assembler sont mises en contact sous effort et soudées par une mise en mouvement circulaire généralement défini par un excentrique, et accompagné d'une vitesse tangentielle uniforme, de manière à générer un frottement et un échauffement homogène au niveau d'une jonction de soudure entre les deux pièces.

20 Il est par ailleurs connu d'avoir recours au soudage par friction linéaire, il s'agit d'un procédé de soudage dans lequel la chaleur nécessaire est créée par un mouvement de va-et-vient des interfaces à souder. Cependant, le soudage par friction orbital présente plusieurs avantages par rapport à la friction linéaire, par exemple, le mouvement relatif entre les deux interfaces est continu grâce au mouvement de friction circulaire, ce qui apporte une meilleure homogénéité thermique. Contrairement au mouvement linéaire pour lequel la vitesse relative des deux pièces devient nulle à chaque demi-période d'oscillation. De plus, le temps de cycle d'un soudage orbital est considérablement inférieur à celui du soudage par friction linéaire (respectivement environ 2 minutes comparé à 25 environ 5 minutes).

30

Le document de brevet publié EP 2 535 516 A1 divulgue un procédé de soudage par friction orbitale d'aubes à un rotor de turbomachine dans lequel, une fois une

consommation matière est atteinte dans une zone de soudage entre l'aube et le disque, le mouvement orbital est stoppé à une position de référence, et un effort de forgeage est exercé sur l'aube contre le rotor afin de former la soudure.

Après la soudure, un usinage évolutif s'adaptant à la surface externe de l'aube est ensuite réalisé afin d'enlever la matière de l'interface qui aura été repoussée vers l'extérieur lors de la soudure (communément désignée par : « flash »), de manière à éviter tout ressaut lié à l'usinage.

Toutefois, l'usinage après la soudure peut révéler une jonction de soudure de l'aube avec le disque rotorique qui risque de présenter des défauts structurels et/ou des défauts de santé matière.

Résumé de l'invention

Problème technique

L'invention a pour objectif de résoudre au moins un des problèmes posés par l'art antérieur. Plus précisément, l'invention a pour objectif de proposer une solution simple et économique permettant de maîtriser la qualité structurelle et dimensionnelle de la soudure entre l'aube et le disque aubagé.

Solution technique

L'invention est le résultat des recherches technologiques visant à améliorer de manière très significative les performances des avions et, en ce sens, contribue à la réduction de l'impact environnemental des avions. Pour cela, la présente invention a pour objet un procédé de modélisation d'une jonction d'aube à un moignon sur un rotor de turbomachine, par soudure à friction orbitale, comprenant l'étape suivante :

détermination d'une vitesse de consommation de matière VCA en fonction des paramètres de soudure par friction orbitale suivants : excentricité, fréquence et pression, et d'un paramètre géométrique z de la section de l'aube et du moignon au niveau de la jonction ;

remarquable en ce que le procédé comprend, en outre, l'étape suivante :
détermination d'une épaisseur maximale e_{max} de la jonction en fonction de la vitesse de consommation de matière VCA déterminée, le paramètre géométrique z étant une moyenne des rayons moyens z_i balayant la section de

l'aube et du moignon au niveau de la jonction en tout point i de la périphérie de ladite section.

Avantageusement, la pression comprend une pression de forgeage et/ou une pression appliquée lors d'un mouvement orbital de la soudure à friction orbitale.

- 5 Selon un mode avantageux de l'invention, l'épaisseur maximale e_{max} déterminée et la vitesse de consommation de matière VCA déterminée sont d'autant plus grandes que le paramètre géométrique z est petit et vice versa.

- 10 Selon un mode avantageux de l'invention, les rayons moyens z_i balayant la section de l'aube et du moignon au niveau de la jonction en tout point i de la périphérie de ladite section sont strictement contenu dans ladite section.

Selon un mode avantageux de l'invention, les rayons moyens z_i balayant la section de l'aube et du moignon au niveau de la jonction en tout point i de la périphérie de ladite section balayent totalement ladite section.

- 15 Selon un mode avantageux de l'invention, l'épaisseur maximale e_{max} déterminée et la vitesse de consommation de matière VCA déterminée sont d'autant plus petites que l'excentricité diminue et vice versa.

Selon un mode avantageux de l'invention, l'épaisseur maximale e_{max} déterminée et la vitesse de consommation de matière VCA déterminée sont d'autant plus petites que la fréquence diminue et vice versa.

- 20 Selon un mode avantageux de l'invention, la détermination de l'épaisseur maximale e_{max} et de la vitesse de consommation de matière VCA est basée sur des données expérimentales de soudure à friction orbitale, où pour chaque opération de soudure la vitesse de consommation de matière VCA est mesurée et corrélée avec l'excentricité, la fréquence, la pression et le paramètre
25 géométrique z .

Selon un mode avantageux de l'invention, les corrélations des données expérimentales sont faites de manière à fournir un modèle de détermination de la vitesse de consommation de matière VCA et éventuellement de l'épaisseur maximale e_{max} .

Selon un mode avantageux de l'invention, le modèle de détermination de la vitesse de consommation de matière *VCA* et éventuellement de l'épaisseur maximale e_{max} implique l'utilisation d'intelligence artificielle.

5 L'invention a également trait à un procédé de soudage par friction orbitale d'une aube à un moignon sur un rotor de turbomachine pour former une jonction, comprenant l'étape suivante :

détermination d'une vitesse de consommation de matière *VCA* ;

caractérisé en ce que le procédé comprend, en outre, l'étape suivante :

10 détermination d'une épaisseur maximale e_{max} de la jonction en fonction de la vitesse de consommation de matière *VCA* déterminée et en fonction d'un paramètre géométrique z correspondant à une moyenne des rayons moyens z_i balayant la section de l'aube et du moignon au niveau de la jonction en tout point i de la périphérie de ladite section.

15 Avantageusement, détermination de la d'une vitesse de consommation de matière *VCA* correspond à une mesure sur la machine et/ou l'outillage exécutant le soudage orbital. Préférentiellement, la détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction est aussi en fonction des paramètres de soudure par friction orbitale suivants : excentricité, fréquence et pression de forgeage, lesdits paramètres étant déterminés par mesure sur la machine et/ou l'outillage exécutant le soudage orbital.

25 Selon un mode avantageux de l'invention, le procédé de soudage comprenant, en outre, une étape de comparaison de l'épaisseur maximale e_{max} déterminée avec un intervalle de valeurs de l'épaisseur maximale e_{max} prédéfini lors d'un procédé modélisation de la jonction d'aube au moignon, ledit procédé de modélisation étant selon l'invention.

30 L'invention a également trait à un procédé de dimensionnement d'une aube et d'un moignon correspondant sur un rotor de turbomachine, destinés à être joints par soudure à friction orbitale, en fonction d'une épaisseur maximale e_{max} de la jonction prédéterminée, remarquable en ce que le procédé de dimensionnement comprend une itération de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction suivant différentes dimensions de la jonction, suivant un procédé de modélisation selon l'invention.

Selon un mode avantageux de l'invention, l'itération de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction suivant différentes dimensions de la jonction est réalisée alors que l'excentricité, la fréquence et la pression restent constantes. Préférentiellement, la pression comprend la pression appliquée pendant le mouvement orbital et la pression de forgeage.

Selon un mode avantageux de l'invention, les différentes dimensions de la jonction, dans l'itération de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction, sont sélectionnées de manière à correspondre à différentes valeurs du paramètre géométrique z .

Selon un mode avantageux de l'invention, l'itération de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction suivant différentes dimensions de la jonction est arrêtée lorsque l'épaisseur maximale e_{max} déterminée correspond à l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction prédéterminée avec une tolérance donnée.

Les mesures de l'invention sont particulièrement avantageuses en ce que la détermination de la vitesse de consommation de matière VCA , notamment en fonction du paramètre géométrique z de la section de jonction, permet d'assurer une estimation efficace et précise de l'épaisseur maximale e_{max} de ladite jonction.

La modélisation de la jonction par détermination de son épaisseur maximale e_{max} , permet, dès la conception, de définir un dimensionnement optimal des étendues radiales des aubes et des moignons de manière à garantir une position radiale optimale d'un plan de soudure de la jonction avant le soudage orbital. De plus, la section de contact présentée entre les aubes et les moignons est également dimensionnée au moyen d'un procédé robuste de manière à assurer une homogénéité du malaxage de la matière et ainsi obtenir une jonction soudée saine et exempte de défauts.

Il est entendu que chaque détail d'un mode de réalisation ci-dessous peut être combiné à chaque autre détail des autres modes de réalisation.

Brève description des dessins

La figure 1 illustre schématiquement une vue latérale d'une aube jointe à un moignon s'étendant radialement depuis un rotor de turbomachine, présentant

une jonction soudée par friction orbitale comprenant une épaisseur maximale e_{max} déterminée par un procédé de modélisation de la jonction selon l'invention ;
La figure 2 illustre de manière schématique une section de l'aube et/ou du moignon au niveau de la jonction visible à la figure 1 ;

- 5 La figure 3 illustre la section de jonction de la figure 2 lors d'une détermination d'un rayon moyen z_A balayant ladite section à partir d'un point A de la périphérie de ladite section ;

La figure 4 illustre la section de jonction de la figure 2 lors d'une détermination d'un rayon moyen z_B balayant ladite section à partir d'un point B de sa périphérie.

10 Description détaillée des modes de réalisation

- Dans la description qui va suivre, les termes « interne » et « externe » renvoient à un positionnement par rapport à l'axe de rotation d'une turbomachine axiale. La direction axiale correspond à la direction le long de l'axe de rotation de la turbomachine, les longueurs étant mesurées axialement. Les largeurs sont
15 mesurées selon la circonférence. La direction radiale est perpendiculaire à l'axe de rotation. L'amont et l'aval sont en référence au sens d'écoulement principal du flux dans la turbomachine.

Les dimensions des figures ne sont pas à l'échelle et en particulier les épaisseurs ou les dimensions radiales sont exagérées pour faciliter la lecture des figures.

- 20 La figure 1 illustre schématiquement une vue latérale d'une aube 4 jointe à un moignon 6 s'étendant radialement depuis une surface externe 8 d'un rotor 2 de turbomachine, présentant une jonction 10 soudée par friction orbitale comprenant une épaisseur maximale e_{max} déterminée par un procédé de modélisation de la jonction selon l'invention.

- 25 Il peut être observé que la jonction 10 présente une forme en diabolo ou en papillon, avec une extrémité périphérique plus large (suivant la direction radiale) que sa partie centrale intérieure, cela est dû à une concentration de l'excédent de la matière déplacée lors du soudage orbital. A cet effet, l'épaisseur maximale e_{max} se mesure à l'extrémité périphérique de la jonction 10.

- 30 La présente invention propose un procédé de modélisation et un procédé de dimensionnement des aubes 4 et des moignons 6 de manière à permettre la fabrication d'un disque aubagé pour turbomachine.

Préférentiellement, le disque aubagé est une roue mobile destinée à être disposée en amont d'un bec de séparation de flux d'air dans une turbomachine. A cet effet, la surface externe 8 correspond à une surface de guidage d'air d'une veine de fluide le long de la turbomachine. Alternativement, le disque aubagé
5 peut correspondre à un rotor de type tambour appartenant à un compresseur haute-pression ou basse-pression.

De préférence, le disque aubagé est un disque dit : « bi-matériaux » comprenant deux alliages de titane différents. Par exemple, les aubes 4 peuvent être fabriquées à partir d'un alliage Ta6v, et le disque rotorique 2 à partir d'un des
10 alliages suivants : Ti17, Ti575, Ti1023.

De manière avantageuse, le mélange des deux alliages de titane différents (Ta6v et Ti17) présente une usinabilité plus aisée, et permet d'atteindre un gain en masse par rapport à une solution basée, par exemple, uniquement sur un alliage en Ti17, cela est notamment dû à une densité du Ta6v qui est légèrement plus
15 faible que celle du Ti17.

En effet, l'alliage Ti17 a été préférentiellement choisi pour la partie disque pour ces bonnes caractéristiques en fatigue HCF (acronyme anglais de : « High Cycle Fatigue ») et LFC (« Low Cycle Fatigue »). Un disque en Ti17 affichera également une plus grande marge en vitesse d'éclatement qu'un disque en Ta6v.
20 Pour les aubes, l'alliage Ta6v a été choisi car permet de procurer aux aubes une élongation à rupture plus élevée (meilleure tenue aux impacts), et un meilleur comportement en propagation de fissures qui se traduit par une meilleure durabilité aux impacts basse énergie.

On peut voir à la figure 1 que la jonction 10 comprend un plan de soudure 10.1
25 illustré dans une position centrale par rapport à l'épaisseur maximale e_{max} de ladite jonction 10.

Avantageusement, la détermination de l' e_{max} permet de maîtriser la position radiale h du plan de soudure 10.1 depuis la surface externe 8 du rotor 2, ainsi que de dimensionner l'étendue radiale de l'aube 4 et du moignon 6,
30 préalablement à la fabrication du disque aubagé.

A cet égard, le procédé de modélisation de la jonction 10 comprend une étape de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} en fonction d'une vitesse de

consommation de matière *VCA* (pouvant être exprimée en mm/s) qui est présentée au niveau de l'interface de contact entre l'aube 4 et le moignon 6 lors du soudage à friction orbitale.

Le procédé de l'invention permet de déterminer la vitesse de consommation de matière *VCA* de manière analytique par une estimation en fonction d'un paramètre géométrique z de la section de l'aube 4 et du moignon 6 au niveau de la jonction 10, et également en fonction des paramètres de la soudure à friction orbitale suivants : excentricité (correspondant à l'excentrique e du mouvement d'oscillation orbital lors de la soudure) ; fréquence (vitesse d'oscillation) ; et la pression appliquée pendant la phase de consommation axiale maximale pendant le mouvement orbital. Avantagusement, les paramètres de la soudure peuvent être prédéfinis comme étant des consignes d'entrée sur une machine de soudure préalablement à l'exécution de ladite soudure.

De préférence, l'estimation analytique de la vitesse de consommation de matière *VCA* est basée sur des données expérimentales de soudure à friction orbitale, par exemple au moyen d'éprouvettes d'essai utilisant les mêmes paramètres de soudure orbitale, où pour chaque opération de soudure la vitesse *VCA* réelle est mesurée et corrélée avec l'excentricité, la fréquence, la pression de forgeage et le paramètre géométrique z . Préférentiellement, au moyen d'une intelligence artificielle. Ainsi, un modèle de détermination de la vitesse *VCA* peut être défini.

Il a été établi que l'épaisseur maximale e_{max} et la vitesse de consommation de matière *VCA* déterminées sont d'autant plus grandes que le paramètre géométrique z est petit et que l'excentricité et/ou la fréquence augmente(nt) et vice versa.

De façon avantageuse, l'épaisseur maximale e_{max} déterminée au moyen du procédé de modélisation de l'invention permet, préalablement au soudage orbital, de maîtriser la position radiale h du plan de soudure 10.1, et ainsi que de dimensionner l'étendue radiale de chacun de l'aube 4 et du moignon 6.

La figure 2 illustre de manière schématique la section 11 de l'aube 4 et/ou du moignon 6 au niveau de la jonction de soudure 10 visible à la figure 1. Préférentiellement, la section 11 est identique pour l'aube 4 et pour le moignon 6 du rotor 2.

La section 11 est modélisée à partir d'un profil aérodynamique 4.1 de l'aube 4, préférentiellement, ce dernier comprend un élargissement de section au moyen d'une surépaisseur e correspondant, plus préférentiellement, à l'excentricité du mouvement d'oscillation orbital lors de la soudure. Toutefois, la surépaisseur e n'est pas forcément constante autour du profil 4.1, celle-ci peut présenter des variations autour dudit profil 4.1.

Il est à noter que préalablement à la soudure par friction orbitale, un volume de matière sacrificiel (s'étendant essentiellement radialement) est prévu sur chacun des aubes 4 et des moignons 6 à assembler. Ce volume sacrificiel est amené à être extrudé en dehors de l'interface de contact entre les sections 11, formant ainsi une bavure, communément désignée par : « flash », qui sera ensuite éliminée, pour atteindre le profil 4.1 de l'aube. Toutefois, une éjection du flash non homogène le long du pourtour de la section à souder risque d'entraîner la recirculation de matière locale à l'intérieur de la section à souder et peut empêcher une éjection complète des contaminants créés aux premiers instants de la soudure et risque de créer des évidements dans la jonction soudée, ce qui nuit à la qualité de la soudure.

De manière avantageuse, l'élargissement la section de contact permet d'éviter la recirculation de la matière (potentiellement nocive car elle empêche l'évacuation des impuretés) vers des régions plus étroites de la section du profil final aérodynamique 4.1 de l'aube et ainsi permettre d'assurer une homogénéité thermique pendant la soudure, précisément dans la section finale 4.1 de l'aube 4. En effet, si on ajoute une surépaisseur e à minima égale à la valeur de l'excentricité, cela signifie que les points de la surface aérodynamique finale 4.1 sont toujours en contact pendant la soudure (entre le moignon et l'aube). Contrairement aux points dans cette surépaisseur e qui, par le mouvement orbital, ne sont en contact avec la surface opposée que pendant une partie de l'orbite.

Ainsi, pendant le soudage, au droit de la section 11, les vitesses VCA locales résultantes sont plus homogènes, ce qui permet de préserver davantage le profil 4.1 de l'aube et d'obtenir une jonction plus résistante.

La section modélisée 11 permet de déterminer le paramètre géométrique z . En effet, z est une moyenne des rayons moyens z_i balayant la section 11 en tout point i de sa périphérie 11.1.

Chacun des rayons moyens z_i correspond à une longueur moyenne z_i de rayons $z_{i,\alpha}$ s'étendant totalement dans la section 11 depuis un point i à la périphérie 11.1 et balayant ladite section 11. Préférentiellement, les rayons $z_{i,\alpha}$ correspondent à des projections du point i sur toute une portion de la périphérie 11.1 qui est en regard avec ledit point i .

Avantageusement, l'évolution des rayons moyens z_i sur le pourtour de la section 11 à souder représente physiquement l'homogénéité de la longueur à cisailer durant la rotation (mouvement orbital lors du soudage) et donc l'homogénéité du débit matière expulsée dans le flash le long du contour de l'aube. Il est représentatif de l'homogénéité d'éjection de contaminants de la soudure.

A cet égard, la détermination du paramètre géométrique z comprend la détermination du rayon moyen z_i pour la pluralité des points i sur la totalité de la périphérie 11.1.

Préférentiellement, la détermination du paramètre géométrique z est une démarche automatisée au moyen d'un algorithme informatique. A cet égard, un algorithme de type : « lancer de rayon » peut être adapté.

Les figures 3 et 4 illustrent un exemple de projection de rayons $z_{A,\alpha}$ et $z_{B,\alpha}$, respectivement, à partir des points A et B de la périphérie 11.1.

La figure 3 illustre la section 11 lors d'une détermination d'un rayon moyen z_A balayant ladite section 11 à partir d'un point A de la périphérie 11.1.

On peut voir qu'à partir du point A, une pluralité des rayons $z_{A,\alpha}$ sont projetés sur une portion de la périphérie 11.1 visible depuis ledit point A. Dans cette configuration, les rayons $z_{A,\alpha}$ peuvent être compris entre deux rayons $z_{A,\alpha}$ tangents à la périphérie 11.1.

Le nombre de rayons $z_{A,\alpha}$ projetés peut dépendre de l'angle α choisit, ce dernier permet d'établir la précision de détermination du rayon moyen z_A . A cet effet, l'angle α peut être compris entre $0,001^\circ$ et 10° .

Le rayon moyen z_A correspond ainsi à la moyenne des toutes les projections $z_{A,\alpha}$.

La figure 4 illustre la section 11 lors d'une détermination d'un rayon moyen z_B balayant ladite section 11 à partir d'un point B de la périphérie 11.1.

Préférentiellement, l'angle α est identique pour toutes les projections des rayons $z_{i,\alpha}$ pour la pluralité des points i de la périphérie 11.1. De préférence, le nombre
5 de points i de la périphérie 11.1 à partir desquels les rayons seront projetés, est d'environ 2000 points, ce nombre pouvant varier selon la précision de calcul désirée.

Similairement au point A, les rayons $z_{B,\alpha}$ sont projetés depuis le point B sur une portion de la périphérie 11.1 visible audit point B. Le rayon moyen z_B correspond
10 à la moyenne des toutes les projections $z_{B,\alpha}$.

Le paramètre géométrique z est donc la moyenne de tous les rayons moyens z_i (incluant les rayons moyens z_A et z_B ,) des points i de la totalité de la périphérie 11.1.

Le paramètre géométrique z correspond à une dimension géométrique pouvant
15 être exprimée en mm. De manière avantageuse, ce paramètre z est la dimension optimale qui permet au mieux de distinguer la forme géométrique de la section 11 et permet ainsi d'assurer une corrélation précise entre les paramètres de la soudure et la vitesse VCA. En effet, les surfaces de la section 11 comprenant les rayons projetés $z_{i,\alpha}$ à partir de chaque point i peuvent être assimilés à la surface
20 de malaxage de la matière pendant la soudure à friction orbitale (sans être limité par une théorie particulière).

Le paramètre géométrique z permet de bien prendre en compte les spécificités du soudage par friction orbitale dans le procédé de fabrication. En effet, l'effort de friction fourni lors du soudage tourne de façon cyclique, ce qui implique qu'un
25 point de soudure à l'extrémité de la section 11 (e.g. point A ou B) voit une fraction de la section 11 de l'aube entre les deux rayons projetés extrêmes ($z_{A,\alpha}$ ou $z_{B,\alpha}$), ces derniers peuvent donc être assimilés à des longueurs équivalentes de matière à cisailer.

De plus, le paramètre z est pertinent car permet de prendre en compte davantage
30 la cambrure de la forme spécifique de la périphérie 11.1, de façon meilleure que l'aire de ladite section 11 ou la corde de son profil.

Afin d'optimiser davantage les dimensions de l'aube et des moignons du rotor, le procédé de dimensionnement de la présente invention permet d'agir, de façon itérative sur la forme de la section 11 de manière à atteindre une épaisseur maximale e_{max} prédéfinie, pendant que les paramètres de la soudure à friction orbitale à partir desquels la vitesse VCA est prédéterminée restent constants.

Préférentiellement, la forme de la section 11 est modifiée en agissant sur la surépaisseur. Par exemple, en référence à la figure 2, la surépaisseur e peut être conservée, et une deuxième surépaisseur peut venir élargir davantage les régions les plus étroites de la section 11, *i.e.* élargissement au niveau des extrémités 11.2, 11.3. La modification de la section 11 peut être effectuée manuellement au moyen d'un logiciel de modélisation, ou de manière automatisée par un algorithme informatique spécifique.

La modification de la section 11 entraîne un changement de la valeur du paramètre géométrique z , ce qui influence la vitesse VCA déterminée ainsi que l' e_{max} . Dans cette configuration, pour chaque nouvelle section de jonction établie, l'épaisseur maximale e_{max} est déterminée, et cela de manière itérative jusqu'à ce que ladite e_{max} déterminée corresponde à l' e_{max} prédéfinie initialement, avec une tolérance de $\pm 5\%$.

La dernière section de jonction modélisée avant l'arrêt de l'itération est celle qui sera utilisée pour le soudage orbital de l'aube au disque, ladite section sera suffisamment élargie par rapport au profil de l'aube pour garantir un malaxage de matière et une vitesse VCA qui soient constants lors du soudage, permettant ainsi d'obtenir une jonction soudée présentant une meilleure qualité structurelle et dépourvue d'évidements et de contaminants.

De façon avantageuse, le procédé de dimensionnement de l'invention permet donc de définir à la fois, une position radiale optimale du plan de soudure, ainsi qu'une section de jonction idéale. Cela préalablement à la fabrication du disque aubagé, de manière à permettre une anticipation des contraintes pouvant être exercées sur la jonction suite à des éventuels impacts de débris sur les aubes. Ainsi, le disque aubagé obtenu par soudage orbital des aubes aux moignons dimensionnés par le procédé, comprend des jonctions positionnées radialement

de façon optimale, chacune desdites jonctions comprenant avantageusement une qualité structurelle et dimensionnelle améliorée.

De manière avantageuse, le procédé de soudage de l'invention permet lors de la fabrication du disque aubagé de turbomachine, d'estimer l'épaisseur maximale e_{max} pour chaque soudure orbitale réalisée entre l'aube et le moignon, à partir du paramètre géométrique z , et par une mesure de la vitesse VCA et de la pression de forgeage directement sur la machine de soudure utilisée.

Le paramètre géométrique z peut être celui utilisé lors de la modélisation de la section à souder, ou mesuré sur l'aube et/ou sur le moignon avant l'opération de soudage, par exemple, au moyen d'une mesure par reconnaissance d'image.

Avantageusement, le procédé de soudage de l'invention permet de valider la valeur de l'épaisseur maximale e_{max} estimée lors de chaque soudure sans nécessiter une inspection physique de la pièce (e.g. par réalisation de découpes et micrographes) assurant ainsi une efficacité et un gain de temps considérable lors de la fabrication du disque aubagé.

Préférentiellement, la validation comprend une comparaison de l'épaisseur maximale e_{max} estimée avec des valeurs d'épaisseurs comprises entre des bornes limites prédéterminées à l'avance, par exemple, lors de la modélisation de la jonction. Avantageusement, ces bornes limites permettent de respecter certains critères de conception (e.g. seuil critique N1/N2 de propagation de fissures, intervalle de tolérance impliquant des variabilités paramétrique et/ou de hauteur et/ou d'inclinaison de la jonction, etc.).

Alternativement, la comparaison de l' e_{max} déterminée (par mesure de la VCA et du paramètre z) lors du soudage orbital peut être réalisée avec l' e_{max} calculée lors de la modélisation, ce qui permet de quantifier l'influence des paramètres de soudages réels (mesurés sur la machine) sur l'épaisseur de la jonction modélisée et ainsi valider les soudures lors de la fabrication du disque aubagé sans nécessiter une réalisation de découpes destructives du disque aubagé.

Revendications

1. Procédé de modélisation d'une jonction (10) d'aube (4) à un moignon (6) sur un rotor (2) de turbomachine, par soudure à friction orbitale, comprenant l'étape suivante :
 - 5 détermination d'une vitesse de consommation de matière *BOR* en fonction des paramètres de soudure par friction orbitale suivants : excentricité, fréquence et pression, et d'un paramètre géométrique z de la section (11) de l'aube (4) et du moignon (6) au niveau de la jonction (10) ;
caractérisé en ce que le procédé comprend, en outre, l'étape suivante :
 - 10 détermination d'une épaisseur maximale e_{max} de la jonction (10) en fonction de la vitesse de consommation de matière *VCA* déterminée, le paramètre géométrique z étant une moyenne des rayons moyens z_i balayant la section (11) de l'aube (4) et du moignon (6) au niveau de la jonction (10) en tout point i de la périphérie (11.1) de ladite section (11).
- 15 2. Procédé de modélisation selon la revendication 1, dans lequel l'épaisseur maximale e_{max} déterminée et la vitesse de consommation de matière *VCA* déterminée sont d'autant plus grandes que le paramètre géométrique z est petit et vice versa.
- 20 3. Procédé de modélisation selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel les rayons moyens z_i balayant la section (11) de l'aube (4) et du moignon (6) au niveau de la jonction (10) en tout point i de la périphérie (11.1) de ladite section (11) sont strictement contenu dans ladite section (11).
- 25 4. Procédé de modélisation selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les rayons moyens z_i balayant la section (11) de l'aube (4) et du moignon (6) au niveau de la jonction (10) en tout point i de la périphérie (11.1) de ladite section (11) balayent totalement ladite section (11).
- 30 5. Procédé de modélisation selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'épaisseur maximale e_{max} déterminée et la vitesse de consommation de matière *VCA* déterminée sont d'autant plus petites que l'excentricité diminue et vice versa.

6. Procédé de modélisation selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel l'épaisseur maximale e_{max} déterminée et la vitesse de consommation de matière *VCA* déterminée sont d'autant plus petites que la fréquence diminue et vice versa.
- 5 7. Procédé de modélisation selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la détermination de l'épaisseur maximale e_{max} et de la vitesse de consommation de matière *VCA* est basée sur des données expérimentales de soudure à friction orbitale, où pour chaque opération de soudure la vitesse de consommation de matière *VCA* est mesurée et corrélée avec l'excentricité, la
- 10 fréquence, la pression et le paramètre géométrique z .
8. Procédé de modélisation selon la revendication 7, dans lequel les corrélations des données expérimentales sont faites de manière à fournir un modèle de détermination de la vitesse de consommation de matière *VCA* et éventuellement de l'épaisseur maximale e_{max} .
- 15 9. Procédé de modélisation selon la revendication 8, dans lequel le modèle de détermination de la vitesse de consommation de matière *VCA* et éventuellement de l'épaisseur maximale e_{max} implique l'utilisation d'intelligence artificielle.
10. Procédé de soudage par friction orbitale d'une aube (4) à un moignon (6)
- 20 sur un rotor (2) de turbomachine pour former une jonction (10), comprenant l'étape suivante :
- détermination d'une vitesse de consommation de matière *VCA* ;
- caractérisé en ce que le procédé comprend, en outre, l'étape suivante :
- détermination d'une épaisseur maximale e_{max} de la jonction (10) en
- 25 fonction de la vitesse de consommation de matière *VCA* déterminée et en fonction d'un paramètre géométrique z correspondant à une moyenne des rayons moyens z_i balayant la section (11) de l'aube (4) et du moignon (6) au niveau de la jonction (10) en tout point i de la périphérie (11.1) de ladite section (11).

11. Procédé de soudage selon la revendication 10, comprenant, en outre, une étape de comparaison de l'épaisseur maximale e_{max} déterminée avec un intervalle de valeurs de l'épaisseur maximale e_{max} prédéfini lors d'un procédé de modélisation de la jonction (10) d'aube (4) au moignon (6), ledit procédé de modélisation étant selon l'une des revendications 1 à 9.
12. Procédé de dimensionnement d'une aube (4) et d'un moignon (6) correspondant sur un rotor (2) de turbomachine, destinés à être joints par soudure à friction orbitale, en fonction d'une épaisseur maximale e_{max} de la jonction (10) prédéterminée, caractérisé en ce que le procédé de dimensionnement comprend une itération de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction (10) suivant différentes dimensions de la jonction (10), suivant un procédé de modélisation selon l'une des revendications 1 à 9.
13. Procédé de dimensionnement selon la revendication 12, dans lequel l'itération de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction (10) suivant différentes dimensions de la jonction (10) est réalisée alors que l'excentricité, la fréquence et la pression restent constantes.
14. Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 12 et 13, dans lequel les différentes dimensions de la jonction (10), dans l'itération de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction (10), sont sélectionnées de manière à correspondre à différentes valeurs du paramètre géométrique z .
15. Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 12 à 14, dans lequel l'itération de détermination de l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction (10) suivant différentes dimensions de la jonction (10) est arrêtée lorsque l'épaisseur maximale e_{max} déterminée correspond à l'épaisseur maximale e_{max} de la jonction (10) prédéterminée avec une tolérance donnée.

FIG 1

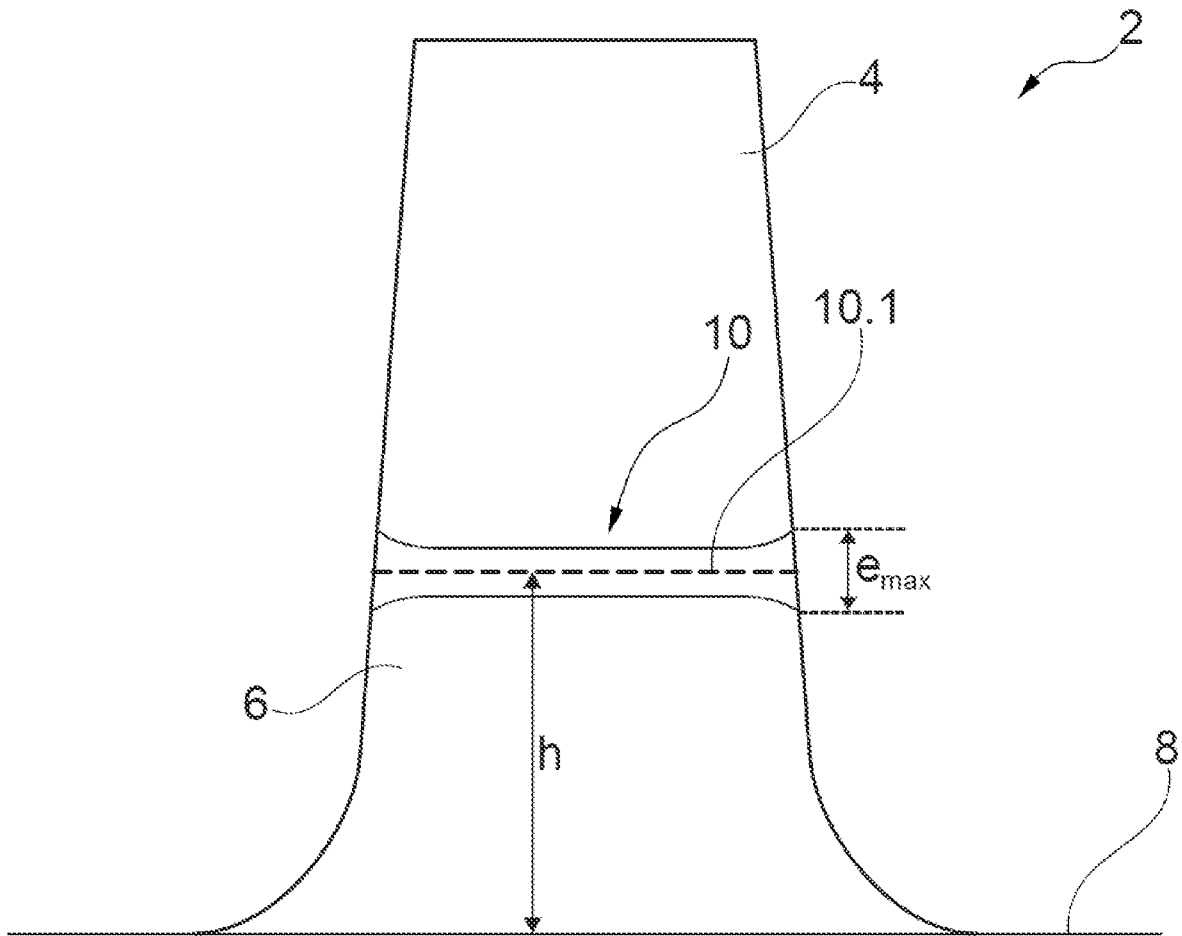


FIG 2

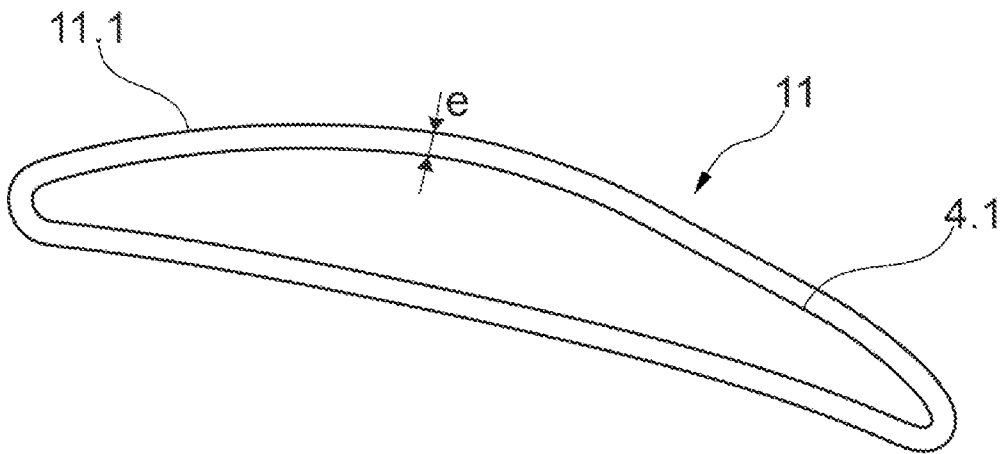


FIG 3

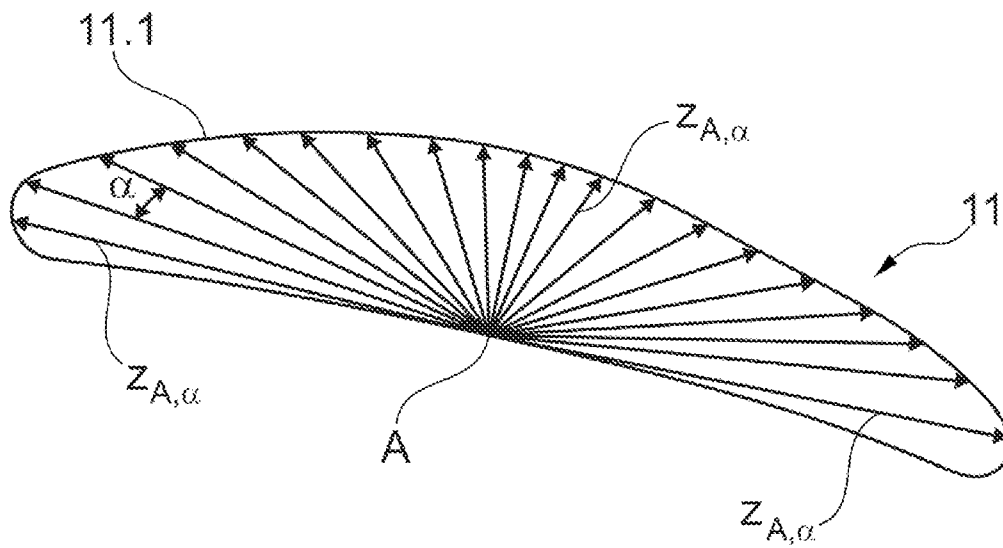
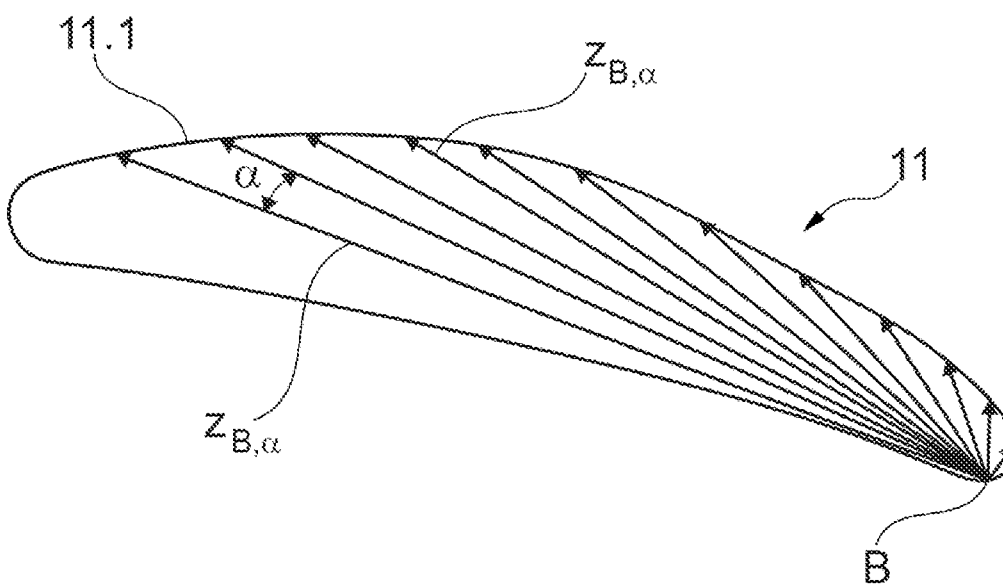


FIG 4





RAPPORT DE RECHERCHE
 établi en vertu de l'article XI.23., §2 et §3
 du Code de droit économique belge

BO 12734
BE 202305298

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 8 718 812 B2 (BRAY SIMON E [GB]; ROLLS ROYCE PLC [GB]) 6 mai 2014 (2014-05-06) * colonne 1, ligne 5 - colonne 4, ligne 47; revendications 1-10; figures 1-6 * -----	1-15	INV. B23K20/12 F01D5/30 F01D5/34 B23P15/00
A	US 2018/243857 A1 (MARCH RICHARD N [GB]) 30 août 2018 (2018-08-30) * alinéa [0089] - alinéa [0118]; revendications 1-4, 8-16; figure 1- * -----	1-15	
A	MAALEKIAN M: "GRAJON PRIZE COMPETITION 2008 JOINT WINNER - CATEGORY A: "Joining and Fabrication Technology" - CHARACTERIZATION AND OPTIMIZATION OF ORBITAL FRICTION WELDING OF HIGH CARBON STEEL BARS", WELDING IN THE WORLD, SPRINGER, DE, vol. 53, no. 5-6, 1 mai 2009 (2009-05-01), pages R109-R123, XP001552865, ISSN: 0043-2288 * le document en entier * -----	1-15	
A, D	EP 2 535 516 A1 (TECHSPACE AERO SA [BE]) 19 décembre 2012 (2012-12-19) * le document en entier * -----	1-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) B23K F01D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
15 novembre 2023		Balice, Marco	
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>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</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET BELGE NO.**

**BO 12734
BE 202305298**

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

15-11-2023

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 8718812	B2	06-05-2014	CA 2744166 A1	20-01-2012
			EP 2409807 A2	25-01-2012
			JP 2012035325 A	23-02-2012
			US 2012022678 A1	26-01-2012

US 2018243857	A1	30-08-2018	CN 108500443 A	07-09-2018
			EP 3366412 A1	29-08-2018
			GB 2560001 A	29-08-2018
			US 2018243857 A1	30-08-2018

EP 2535516	A1	19-12-2012	CA 2779728 A1	17-12-2012
			CN 102825380 A	19-12-2012
			EP 2535516 A1	19-12-2012
			RU 2012124826 A	27-12-2013
			US 2012318774 A1	20-12-2012



OPINION ÉCRITE

Dossier N° BO12734	Date du dépôt(jour/mois/année) 21.04.2023	Date de priorité (jour/mois/année)	Demande n° BE202305298
Classification internationale des brevets (CIB) INV. B23K20/12 F01D5/30 F01D5/34 B23P15/00			
Déposant SAFRAN AERO BOOSTERS			

La présente opinion contient des indications et les pages correspondantes relatives aux points suivants :

- Cadre n° I Base de l'opinion
- Cadre n° II Priorité
- Cadre n° III Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- Cadre n° IV Absence d'unité de l'invention
- Cadre n° V Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- Cadre n° VI Certains documents cités
- Cadre n° VII Irrégularités dans la demande
- Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

	Examineur Balice, Marco
--	----------------------------

Cadre n° I Base de l'opinion

1. Cette opinion a été établie sur la base des revendications déposées avant le commencement de la recherche.
2. En ce qui concerne **la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande, la présente opinion a été effectuée sur la base d'un listage des séquences
 - a. faisant partie de la demande telle que déposée.
 - b. remis postérieurement à la date du dépôt aux fins de la recherche,
 - accompagné d'une déclaration selon laquelle le listage des séquences ne va pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée.
3. En ce qui concerne la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés divulguées dans la demande, la présente opinion a été effectuée dans la mesure où une opinion valable pouvait être formulée en l'absence d'un listage des séquences conforme à la norme ST.26 de l'OMPI.
4. Commentaires complémentaires :

Cadre n° V Opinion motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui : Revendications	1-15
	Non : Revendications	
Activité inventive	Oui : Revendications	
	Non : Revendications	1-15
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications	1-15
	Non : Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

voir feuille séparée

Ad point V

Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle ; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Il est fait référence aux documents suivants :

- D1 US 8 718 812 B2 (BRAY SIMON E [GB]; ROLLS ROYCE PLC [GB]) 6 mai 2014 (2014-05-06)
- D2 US 2018/243857 A1 (MARCH RICHARD N [GB]) 30 août 2018 (2018-08-30)
- D3 MAALEKIAN M: "GRAJON PRIZE COMPETITION 2008 JOINT WINNER - CATEGORY A: "Joining and Fabrication Technology" - CHARACTERIZATION AND OPTIMIZATION OF ORBITAL FRICTION WELDING OF HIGH CARBON STEEL BARS", WELDING IN THE WORLD, SPRINGER, DE, vol. 53, no. 5-6, 1 mai 2009 (2009-05-01), pages R109-R123, XP001552865, ISSN: 0043-2288

Le document suivant a été cité par le demandeur dans la description :

- D4 EP 2 535 516 A1

2. Nonobstant le manque de clarté mentionné au point VIII, l'objet des revendications 1 n'implique pas d'activité inventive, et les conditions de brevetabilité ne sont donc pas remplies.

D1 divulgue (colonne 1, ligne 5 - colonne 4, ligne 47; revendications 1-10; figures 1-6) un procédé de modélisation d'une jonction d'aube (15) à un moignon (stub) sur un rotor de turbomachine, par soudure à friction orbitale (voir figure , comprenant la détermination d'une vitesse de consommation de matière ("burn-off rate") en fonction des paramètres de soudure: amplitude, fréquence et pression, et d'un paramètre géométrique ("width of the stub").

L'objectif de la demande est une amélioration de la qualité structurelle et dimensionnelle du joint de soudure (voir alinéa "Résumé de l'invention") qui, pour l'homme de métier, est une activité de routine évidente lors de la conception d'un composant fabriqué par un procédé de soudage.

La solution proposée dans la revendication 1 de la présente demande ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive pour les motifs suivants.

La revendication 1 concerne un procédé de modélisation d'une jonction d'une aube à un moignon sur un rotor de turbomachine, par soudure à friction orbitale, comportant deux étapes: premièrement la détermination de la vitesse de consommation de matière, deuxièmement la détermination de l'épaisseur maximale du joint de soudure en fonction de ladite vitesse de consommation de matière. Lesdits deux paramètres sont selon la revendication 1 déterminés en fonction de excentricité, fréquence, pression, section de la jonction.

Tous ces paramètres s'influencent mutuellement et la revendication se réfère essentiellement à cette corrélation qui est à la base de la physique de cette technique de soudage par friction. L'épaisseur maximale de la jonction est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs, notamment excentricité, fréquence, pression, section de la jonction.

Dans la mesure où cela peut être compris la définition du "paramètre géométrique z" par mis des "rayons moyens" est seulement une autre manière de définir la section du joint de soudure.

Le fait que la section soit définie par des rayons plutôt que de manière conventionnelle n'a pas un effet technique sur la solution proposée par la revendication et, en général, par la demande.

D'autres paramètres fondamentaux pour le joint de soudure, tels que les matériaux, les dimensions des aubes et des moignons, la forme et la dimension de la section, la vitesse relative, ne sont pas pris en considération dans l'application.

Définir une modélisation du joint de soudure en n'utilisant que certains paramètres n'est pas considéré comme inventif, mais comme une activité de routine pour l'homme du métier. Le fait de négliger d'autres paramètres fondamentaux et d'avoir un modèle simplifié n'est pas non plus une preuve d'inventivité au regard de l'objectif de qualité du joint de soudure. Le procédé selon la revendication 1 ne présente aucun effet surprenant ou inattendu.

3. Le même raisonnement s'applique mutatis mutandis à l'objet des revendications indépendantes correspondantes 10 et 12 qui n'est donc pas considéré comme inventif.

4. Les revendications dépendantes 2-9, 11, 13-15 ne contiennent pas de caractéristiques qui satisfassent aux exigences de nouveauté et/ou d'activité inventive en étant combinées aux caractéristiques de l'une quelconque des revendications auxquelles lesdites revendications dépendantes sont liées.

Les caractéristiques des revendications 2-9, 11, 13-15 se rapportent à des variations des paramètres qui sont soit connues, soit évidentes pour l'homme de métier traitant de l'optimisation du modèle, du dimensionnement et du soudage.

Les paramètres (excentricité, section, pression de forgeage, vitesse de consommation de matière, épaisseur maximale, tolérance) contenus dans lesdites revendications sont conventionnellement utilisés pour dimensionner et optimiser le procédé de fabrication par soudage et le joint de soudure qui en résulte: voir D1 en combinaison avec les connaissances générales de l'homme du métier basée aussi sur des essais de routine.

Le procédé de modélisation selon la revendication 9, dans lequel le modèle de détermination de la vitesse de consommation de matière et éventuellement de l'épaisseur maximale implique l'utilisation d'intelligence artificielle.

Le choix d'utiliser l'intelligence artificielle pour effectuer la modélisation ne requiert aucune activité inventive, car il s'agit d'une possibilité connue de l'homme du métier.

Bien qu'il soit clair que certains des résultats de la modélisation par l'intelligence artificielle sont potentiellement meilleurs, il n'y a pas d'activité inventive à se prévaloir d'un tel outil et les résultats ne sont pas de nature surprenante ou inattendue. Tout cela fait partie de l'activité d'optimisation de routine de l'homme du métier.

Ad point VIII

Certaines observations relatives à la demande

La revendication 1 définit "paramètre géométrique z" et donc un large domaine de possibilités puisqu'il se réfère à des rayons entre des points non spécifiquement définis de la périphérie de la section de soudure. La revendication ne définit pas une forme de ladite section, pas même si elle est plane ou si elle est tridimensionnelle.

La revendication couvre donc un vaste domaine et la description n'indique d'exemples qui tombent dans le domaine couvert. Or, même si dans certains cas, un très vaste domaine peut être couvert de manière suffisante par un nombre limité d'exemples, dans ces cas-là, la demande doit contenir, outre les exemples, suffisamment d'informations pour que l'homme du métier puisse, en s'aidant de ses connaissances générales, réaliser l'invention dans l'intégralité du domaine revendiqué sans déployer des efforts excessifs, ni faire preuve d'esprit inventif. Dans ce contexte, l'intégralité du domaine

revendiqué" désigne fondamentalement tout mode de réalisation entrant dans le champ d'une revendication, même s'il convient d'admettre les tâtonnements dans une mesure limitée, par exemple lorsqu'il s'agit d'un domaine encore inexploré ou lorsque de nombreuses difficultés techniques se présentent.

A cet égard, il faut également remarquer que la demande ne donne aucun exemple de dimension de la section de soudure et de sa forme ou de la position des points "i". Les dessins présentent quelques exemples de la section transversale de la forme du profil aérodynamique et des points à partir desquels les rayons sont mesurés. Le nombre de ces points est pratiquement infini, de même que le nombre de rayons.

La demande ne divulgue pas l'invention de manière suffisamment claire et complète pour que l'homme du métier puisse, en s'aidant de ses connaissances générales, réaliser l'invention dans l'intégralité du domaine revendiqué sans déployer des efforts excessifs, ni faire preuve d'esprit inventif.

Les revendications 1 et 10 se réfèrent à un procédé de modélisation et à un procédé de soudage, alors qu'elles contiennent exactement les mêmes étapes. Il n'est donc pas évident de déterminer en quoi elles diffèrent les unes des autres.