(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 124 251**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **21 06525**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 B 11/06*** *(2020.12), G 01 J 3/46, G 01 J 3/52*

(12) **BREVET D'INVENTION** **B1**

(54) PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE DÉTERMINATION DE L'ÉPAISSEUR D'UN REVÊTEMENT PAR COLORIMÉTRIE.

(22) **Date de dépôt :** 18.06.21.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 23.12.22 Bulletin 22/51.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 03.11.23 Bulletin 23/44.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES SAS* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** BONNEMASON, Marine, CRESTIN, Alexis Alejandro, GRUNENWALD, Anthony et ROMERO, Jean-Louis.

(73) **Titulaire(s) :** SAFRAN AIRCRAFT ENGINES SAS.

(74) **Mandataire(s) :** GEVERS & ORES.

FR 3 124 251 - B1

Description

Titre de l'invention : PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE DÉTERMINATION DE L'ÉPAISSEUR D'UN REVÊTEMENT PAR COLORIMÉTRIE

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne un procédé et un dispositif de détermination de l'épaisseur d'un revêtement appliqué sur la surface d'un substrat. La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'une aube en matériau composite.

Arrière-plan technique

[0002] Il est connu de coller des renforts métalliques sur des pièces en matériau composite avec un film d'adhésif qui peut être en époxy. De telles opérations sont par exemple utilisées pour renforcer le bord d'attaque des aubes de turbine afin d'en augmenter la résistance. Afin d'améliorer l'adhésion de la colle ou du film sur le renfort métallique, un primaire de collage peut être utilisé.

[0003] De manière générale, l'épaisseur du primaire appliqué sur le renfort métallique avant collage impacte directement les propriétés d'adhésion. Il est donc particulièrement important de pouvoir contrôler l'épaisseur du primaire afin de garantir la robustesse du collage.

[0004] Il existe plusieurs procédés pour déterminer l'épaisseur du primaire dont un basé sur la méthode des courants de Foucault. Cependant, cette méthode n'est pas satisfaisante notamment lorsque la surface du renfort métallique présente une rugosité importante. Dans ce cas, la méthode des courants de Foucault indique uniquement si un primaire est présent ou pas sur la surface sans pour autant permettre des mesures quantitatives de l'épaisseur de ce primaire.

[0005] Par ailleurs, il est généralement observé un changement de couleur lors de l'application du primaire sur un substrat, lequel est fonction de l'épaisseur du revêtement déposé. L'augmentation de l'épaisseur du revêtement se traduit par un changement de sa couleur d'un gris clair à un vert foncé en passant par du gris foncé et du vert clair. Ainsi, il a déjà été envisagé de réaliser un nuancier de référence, comme celui représenté sur la [Fig.1], à partir d'échantillons de différentes épaisseurs de primaire connus mesurées par coupes micrographiques, et de comparer un échantillon revêtu au nuancier pour déterminer l'épaisseur du revêtement déposé.

[0006] Toutefois, cette méthode n'est pas entièrement satisfaisante. Tout d'abord, elle n'offre pas toujours un degré de précision suffisant, notamment lorsque la couleur ne varie que légèrement avec l'épaisseur du revêtement. De plus, il a été constaté que la couleur du nuancier varie au cours du temps et il est donc nécessaire de réaliser de

nouveaux nuanciers fréquemment. Enfin, cette méthode est subjective à l'utilisateur qui compare l'échantillon revêtu au nuancier.

[0007] Il est alors connu, notamment de la demande FR-A1-3097314, de réaliser des mesures directes par colorimétrie du substrat revêtu. Il s'agit de mesures des composantes a, b et L de l'espace de couleur CIELAB correspondant à l'espace défini par la norme NF E N ISO 11664-4, tel que représenté sur les figures 2 et 3. L représente la clarté. Ces mesures sont utilisées pour déterminer un écart de couleur entre celles-ci et une couleur définie par des valeurs de référence d'un substrat non revêtu. Un écart de couleur, éventuellement marqué avec des indices ou des exposants, entre deux couleurs de composantes respectives a_1, b_1, L_1 et a_2, b_2 et L_2 est déterminé comme la distance euclidienne entre ces deux couleurs. La formule de cet écart de couleur est :

[Math. 1]

$$\Delta Ep = \sqrt{(a_1 - a_{ref})^2 + (b_1 - b_{ref})^2 + (L_1 - L_{ref})^2}.$$

[0008] Cet écart de couleur peut alors être comparé à des valeurs d'écart de couleurs de nuancier compris dans une base de données. Ces valeurs d'écart de couleur de nuancier correspondent à une pluralité de substrats revêtus ayant des revêtements de différentes épaisseurs déjà connues.

[0009] Cependant, ce procédé présente plusieurs limites liées à la répétabilité des calculs d'écart de couleur. En effet, il a été observé que les écarts de couleur déterminés évoluaient en fonction des nuanciers de la base de données. Par ailleurs, la valeur des écarts de couleurs reste très sensible à la couleur de référence d'un substrat non revêtu. Cette sensibilité peut être due au brillant du substrat non revêtu qui peut varier d'un échantillon à l'autre.

[0010] La présente invention propose un perfectionnement à cette technologie, qui reste simple, efficace et économique.

Résumé de l'invention

[0011] La présente invention propose un procédé de détermination de l'épaisseur d'un revêtement à la surface d'un substrat revêtu, ledit procédé comprenant

[0012] la succession d'étapes suivantes :

- une première étape de mesure, mise en œuvre par un colorimètre, des composantes d'une couleur d'une zone du substrat revêtu ;
- une étape de calcul d'un écart de couleur entre la couleur représentée par les composantes mesurées à la première étape de mesure et une couleur d'une zone de référence d'un substrat non revêtu, ladite couleur étant représentée par des composantes de référence ;
- une étape de comparaison de la valeur de l'écart de couleur calculée avec des valeurs d'écart de couleur déterminées comprises dans une base de données, chacune

desdites valeurs déterminées d'écart de couleur correspondant à une valeur déterminée d'épaisseur d'un revêtement sur un substrat revêtu ; et

- une étape de détermination de l'épaisseur du revêtement sur le substrat revêtu lorsque la valeur de l'écart de couleur est sensiblement égale à une des valeurs déterminées d'écart de couleur.

[0013] Le procédé est remarquable en ce que ledit écart de couleur est définie par

[0014] [Math.2]

$$\Delta E = \sqrt{(a_p - a_{ref})^2 + (b_p - b_{ref})^2}$$

.

[0015] Ainsi, grâce à l'invention, l'écart de couleur calculé ne dépend pas des valeurs de clarté des couleurs du substrat revêtu comme du substrat non revêtu. La comparaison à un nuancier d'une base de données devient ainsi moins sensible aux variations des couleurs avec le temps et/ou avec les échantillons. Cela améliore la répétabilité du procédé industriel.

[0016] Le procédé de détermination selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

- ledit procédé comprend, également, une seconde étape de mesure, mise en œuvre par un colorimètre, des composantes de référence de la couleur d'une zone d'un substrat non revêtu,
- une couleur est définie par une moyenne d'au moins cinq mesures des composantes de couleur d'une zone de substrat,
- le substrat est une pièce métallique, et
- le revêtement est un primaire configuré pour permettre le collage d'une pièce métallique sur une pièce en matériau composite.

[0017] La présente invention concerne également un dispositif de détermination de l'épaisseur d'un revêtement à la surface du substrat revêtu, pour la mise en œuvre d'un procédé de détermination tel que décrit ci-dessus, ledit dispositif comportant :

- un colorimètre configuré pour mesurer des valeurs de composantes de la couleur d'une zone d'un substrat revêtu ;
- un module de calcul dudit écart de couleur configuré pour calculer ledit écart de couleur entre la couleur représentée par les composantes mesurées par le colorimètre et une couleur d'une zone de référence d'un substrat non revêtu ;
- une base de données comportant une pluralité de valeurs d'écart de couleur déterminées et une pluralité de valeurs déterminées d'épaisseur de revêtement sur un substrat revêtu, chacune des valeurs déterminées d'épaisseur de revêtement correspond à une valeur déterminée d'écart de couleur ; et

- un module de comparaison et de détermination configuré pour comparer la valeur de l'écart de couleur avec chacune des valeurs d'écart de couleur déterminées et déterminer l'épaisseur du revêtement sur le substrat revêtu lorsque la valeur de l'écart de couleur est sensiblement égale à la valeur d'écart de couleur déterminée.

[0018] Avantageusement, le colorimètre est également configuré pour mesurer des composantes de référence de la couleur d'une zone d'un substrat non revêtu.

[0019] L'invention concerne, par ailleurs, un procédé de fabrication d'une aube en matériau composite à bord d'attaque métallique rapporté pour une turbomachine d'aéronef, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- une étape de réalisation d'une aube en matériau composite ;
- une étape d'application d'un primaire sur une portion de bord d'attaque d'aube en matériau composite destinée à recevoir un renfort métallique ; et
- une étape de collage du renfort métallique sur l'aube,

[0020] caractérisé en ce qu'il comprend, entre l'étape d'application du primaire et l'étape de collage, la détermination de l'épaisseur du primaire conformément au procédé de détermination tel que décrit ci-dessus.

[0021] Ladite portion de bord d'attaque est de préférence une cavité de ce bord d'attaque.

[0022] La présente invention concerne, en outre, l'application du procédé de fabrication exposé ci-dessus à la fabrication d'une aube de soufflante, d'une aube directrice de sortie, d'une aube directrice d'entrée ou d'une aube à angle de calage variable pour une turbomachine d'aéronef.

Brève description des figures

[0023] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaitront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :

[0024] [Fig.1] La [Fig.1] est un exemple de la couleur d'un substrat revêtu pour, de gauche à droite, un nombre croissant de couche de revêtement.

[Fig.2] La [Fig.2] représente un système de coordonnées (a,b,L) de couleurs dans le référentiel CIELAB.

[Fig.3] La [Fig.3] représente une projection du système de coordonnées (a,b,L) de couleurs du référentiel CIELAB.

[Fig.4] La [Fig.4] représente une variation d'écart de couleur en fonction d'une épaisseur de revêtement de substrat pour trois nuanciers différents.

[Fig.5] La [Fig.5] représente trois échantillons différents de zones de référence de substrat sans revêtement.

[Fig.6] La [Fig.6] représente la variation d'écart de couleur en fonction d'une épaisseur de revêtement de substrat pour trois zones de référence différentes.

[Fig.7] La [Fig.7] représente un procédé de détermination d'épaisseur selon l'invention.

[Fig.8] La [Fig.8] représente un écart de couleur selon un mode de réalisation de l'invention en fonction de l'épaisseur de revêtement d'un substrat pour trois nuanciers différents.

[Fig.9] La [Fig.9] représente la variation d'un écart de couleur selon un mode de réalisation de l'invention en fonction de l'épaisseur de revêtement d'un substrat obtenue à partir de trois zones de références d'échantillons différents.

[Fig.10] La [Fig.10] représente la variation de la composante ap de couleur en fonction de l'épaisseur de revêtement d'un substrat pour trois nuanciers différents

[Fig.11] La [Fig.11] représente la variation de la composante bp de couleur en fonction de l'épaisseur de revêtement d'un substrat pour trois nuanciers différents.

[Fig.12] La [Fig.12] représente un dispositif de détermination selon un mode de réalisation de l'invention.

[Fig.13] La [Fig.13] représente un procédé de fabrication selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0025] Le procédé de détermination selon l'invention permet de déterminer et de contrôler les mesures d'épaisseur e d'un revêtement déposé à la surface d'un substrat. Le procédé selon l'invention s'appuie sur la corrélation entre la couleur d'un revêtement et son épaisseur e sur le substrat. L'épaisseur e peut varier entre 0,5 micromètre et 5 micromètres.

[0026] On connaît des procédés de détermination de l'épaisseur e de revêtement d'un substrat revêtu qui s'appuie sur des mesures des composantes a_1, b_1 et L_1. Ces trois composantes représentent, dans le système de coordonnées CIELAB représenté sur les figures 2 et 3, respectivement les nuances de couleur allant du vert au rouge, les nuances de couleur allant du bleu au jaune et la clarté. Les mesures de ces trois composantes sont effectuées par un colorimètre 21 au cours d'une première étape de mesure. Le colorimètre 21 est placé à proximité de la surface du substrat revêtu d'un revêtement dont on cherche à connaître l'épaisseur. Ces valeurs de mesures sont ensuite comparées à des valeurs de composantes a_{ref}, b_{ref} et L_{ref} d'une zone de référence d'un substrat non revêtu. À partir de ces valeurs, il est possible de déterminer un écart de couleur standard ΔEp défini par la distance euclidienne entre la couleur du revêtement et la couleur de la zone de référence :

[Math. 1]

$$\Delta Ep = \sqrt{(a_1 - a_{ref})^2 + (b_1 - b_{ref})^2 + (L_1 - L_{ref})^2}.$$

[0027] Dans la présente demande, on entend par écart de couleur standard, un écart de couleur prenant en compte la différence de clarté entre les couleurs.

[0028] L'écart de couleur standard ΔEp est ensuite comparée à des valeurs d'écart de couleur déterminées préalablement et qui forment des nuanciers et dont les valeurs correspondent à des épaisseurs e de revêtement.

[0029] Dans le cadre de l'invention, on entend par nuancier un ensemble de couleurs définies par des valeurs déterminées des composantes a, b et L.

[0030] Comme représenté sur la figure 4, l'écart de couleur standard ΔE varie en fonction de l'épaisseur e du revêtement. Cependant, les valeurs de l'écart de couleur standard ΔE pour une même valeur de l'épaisseur change en fonction du nuancier T1, T2 ou T3, ces nuanciers ayant été acquis à des moments différents (T1 en 2019, T2 en février 2020 et T3 en novembre 2020).

[0031] Comme représenté sur la [Fig.5], les composantes a_{ref}, b_{ref} et la clarté L_{ref} peuvent être mesurées par le colorimètre 21 sur des zones de références d'échantillons différents. Il est également possible que les valeurs des composantes de la zone de référence soient déjà en mémoire.

[0032] Il peut s'agir d'une zone de référence R0 du substrat 26 avant le dépôt de revêtement 25. Dans un autre mode de réalisation, la zone de référence R1 peut servir aux mesures des composantes a_{ref}, b_{ref} et L_{ref} par un colorimètre 21 après le revêtement du substrat, mais sur une zone du substrat 26 n'ayant pas été revêtue. Ce mode de réalisation permet d'assurer que la mesure des composantes a_{ref}, b_{ref} et la clarté L_{ref} soit réalisée sur un substrat qui ait été soumis à des conditions semblables à celle du substrat 26 revêtu, par exemple, les conditions thermochimiques du procédé de revêtement. En variante, la zone de référence R2 peut correspondre à un substrat de même nature que le substrat revêtu. Ce mode de réalisation permet de conserver vierge l'échantillon de substrat ayant permis de réaliser les mesures de référence, et ainsi pouvoir les mesurer à nouveau en cas de besoin.

[0033] Comme représenté sur la figure 6, l'écart de couleur standard ΔE varient en fonction de l'épaisseur du revêtement mais ne présente pas les mêmes valeurs selon la zone de référence R0, R1 ou R2 qui a été prise en compte dans le calcul de l'écart de couleur standard ΔE.

[0034] La présente invention vise donc à améliorer le procédé précédent en utilisant un écart de couleur ne prenant pas en compte la clarté des couleurs.

[0035] Le procédé selon l'invention comprend une succession d'étapes E1, E2, E3, E4 et E5 représenté sur la [Fig.7]

[0036] Au cours d'une première étape E1 de calcul, un colorimètre 21 exécute plusieurs mesures des composantes a_p et b_p sur une zone du substrat 26 revêtu. Le nombre de mesures peut au moins être égal à cinq afin de limiter les erreurs de mesure.

[0037] Au cours d'une seconde étape E2 de mesures, le colorimètre 21 exécute une pluralité de mesures des composantes a_{ref} et b_{ref} sur une zone de référence R0, R1 ou R2. En

variante, les valeurs de ces composantes sont stockées dans le colorimètre 21 de sorte à limiter le nombre de mesures qu'il doit effectuer.

[0038] Au cours d'une étape E3 de calcul, une valeur de l'écart de couleur ΔE_p est calculée à partir des valeurs moyennes des composantes a_p, b_p, a_{ref} et b_{ref} suivant la formule suivante :

[0039] [Math. 2]

$$\Delta E = \sqrt{(a_p - a_{ref})^2 + (b_p - b_{ref})^2}.$$

[0040] Cet écart de valeur ne prend pas en compte la clarté de chaque couleur.

[0041] Au cours d'une étape E4 de comparaison, la valeur de l'écart de couleur ΔE_p obtenue à l'étape E3 précédente est comparée à des valeurs déterminées d'écart de couleur qui sont comprises dans une base de données.

[0042] Chacune des valeurs déterminées d'écart de couleur correspond à une valeur déterminée d'épaisseur e de revêtement 25.

[0043] Au cours d'une étape E5 de détermination, et lorsque la valeur de l'écart de couleur calculé à l'étape E3 est sensiblement égal à une des valeurs déterminées de l'écart de couleur de la base de données, une valeur de l'épaisseur e sur le substrat 26 est déterminée.

[0044] Comme représenté sur la figure 8, l'écart de couleur ΔE décroit pour des épaisseurs inférieures à 2 micromètres puis augmente linéairement avec l'épaisseur e du revêtement pour les nuanciers T1 et T2. La différence majeure avec le comportement du nuancier T3 tient à une concentration en pigment différentes des autres. Cependant, on constate tout de même qu'en ne prenant pas en compte la clarté des couleurs, on obtient une moindre sensibilité du procédé de détermination de l'épaisseur de revêtement au vieillissement des nuanciers.

[0045] Comme représenté sur la figure 9, l'écart de couleur ΔE augmente linéairement avec l'épaisseur e du revêtement pour des épaisseurs e dont la valeur est supérieure ou égale à 2 micromètres. Cette augmentation est sensiblement identique quelle que soit la zone de référence R0, R1 ou R2 prise en compte dans le calcul de l'écart de couleur ΔE. Ainsi, l'écart de couleur ΔE permet de rendre moins sensible aux variations de brillance des échantillons de référence.

[0046] La colorimétrie déterminée à partir de valeurs moyennées de plusieurs mesures des composantes a_p et b_p montrent des courbes qui tendent à être linéaires et ne présentent pas de changement de comportements pour des épaisseurs e de revêtement supérieur à 2,5 micromètres.

[0047] Comme représenté sur la [Fig.10], le comportement de la valeur moyenne (faites sur cinq mesures) de la composante a_p qui représente les nuances de couleur allant du vert au rouge, est décroissant lorsque l'épaisseur e augmente. Ce comportement reste stable

peu importe le nuancier T1, T2 ou T3.

[0048] Comme représenté sur la [Fig.11], le comportement de la valeur moyenne (faite sur cinq mesures) de la composante b_p, qui représente les nuances de couleur allant du bleu au jaune, est croissant de manière linéaire avec l'augmentation de l'épaisseur e. Néanmoins il existe des écarts de comportement en fonction des nuanciers T1, T2 et T3. Ces écarts sont dus au changement de pigmentation entre le nuancier T3 et les nuanciers T1 et T2, le nuancier T3 étant le plus récent.

[0049] L'étude des comportements des composantes a_p et b_p présente l'avantage de ne plus avoir de contraintes liées aux zones de référence R0, R1 et R2.

[0050] Comme précisé ci-dessus, l'invention concerne également un dispositif 20 de détermination de l'épaisseur e du revêtement 25 à la surface du substrat 26 (ci-après « dispositif 20 ») permettant de réaliser le procédé précité.

[0051] Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif 20 peut renseigner directement l'épaisseur e du revêtement 26 par l'intermédiaire d'un écran d'affichage 24.

[0052] Dans un autre mode de réalisation particulier, le dispositif 20 peut être mis en œuvre de manière entièrement automatisée. À titre d'exemple, il est possible de faire défiler des substrats 26 revêtus à contrôler en regard d'un dispositif fixe, ce dispositif 20 réalisant la mesure de l'épaisseur e de chacun des substrats 26 revêtus.

[0053] Dans un autre mode de réalisation particulier, le dispositif 20 est programmé pour avertir un utilisateur si l'épaisseur e de revêtement 25 mesurée est conforme ou non à une plage de valeurs prédéterminées. Dans un tel mode de réalisation, le dispositif 20 peut être muni de voyants lumineux.

[0054] La [Fig.12] représente schématiquement un dispositif 20 selon un mode de réalisation. Le dispositif 20 comporte un colorimètre 21 qui mesure au moins cinq valeurs des composantes a_p et b_p sur une zone du substrat 26 revêtu. Dans un mode de réalisation particulier, le colorimètre 21 mesure également des valeurs des composantes a_{ref} et b_{ref} d'une zone de référence sur laquelle le substrat 26 n'est pas revêtu. En variante, le colorimètre 21 mesure les valeurs des composantes a_{ref} et b_{ref} de la zone de référence d'un substrat non revêtu différent du substrat comportant une zone revêtue.

[0055] Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif 20 comporte également un module de calcul 22 qui détermine une valeur moyenne de chacune des composantes a_p et b_p mesurées par le colorimètre 21. Le module de calcul 22 calcule également, à partir de la valeur moyenne des composantes a_p et b_p et de valeurs des composantes a_{ref} et b_{ref} de la zone de référence, une valeur de l'écart de couleur entre la couleur de la zone du substrat 26 revêtu et la couleur de la zone de référence R0, R1, R2.

[0056] Le dispositif 20 comporte, en outre, une base de données 27 qui comporte une pluralité de valeurs déterminées d'écarts de couleur ΔE. Chacune des valeurs déterminées d'écart de couleur ΔE correspond à une valeur de l'épaisseur e du re-

vêtement 25 d'un substrat 26.

[0057] Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif 20 comporte, de plus, un module de comparaison et de détermination 23 qui compare la valeur d'écart de couleur ΔE à chacune des valeurs déterminées d'écarts de couleur ΔEp. Lorsque la valeur de l'écart de couleur ΔE est sensiblement égale à une des valeurs déterminées d'écarts de couleur ΔEp, le module 23 détermine à valeur d'épaisseur e correspondante. Le résultat de la mesure de l'épaisseur e peut ensuite être affiché sur l'écran d'affichage 24.

[0058] Comme représenté sur la [Fig.12], le colorimètre 21, le module de calcul 22 et le module de comparaison et de détermination 23 sont connectés par des fils. Dans un autre mode de réalisation, la liaison entre ces éléments peut être faite sans fils.

[0059] Dans le mode de réalisation représenté sur la [Fig.12], toutes les étapes du procédé peuvent être réalisées sans avoir besoin d'une action de l'utilisateur, comme par exemple le transfert de données depuis un composant vers un autre, et il en résulte une utilisation facilitée du dispositif.

[0060] Le dispositif 20 peut également comprendre un dispositif d'affichage 24 permettant, par exemple d'afficher l'épaisseur e du substrat déterminée. Par exemple, le dispositif d'affichage 24 peut être un écran.

[0061] Un tel dispositif d'affichage 24 n'est aucunement essentiel et peut être remplacé par exemple par un ou plusieurs voyants lumineux. Dans un autre mode de réalisation, la mesure est enregistrée dans un moyen de stockage des données et peut être lue ultérieurement par un appareil faisant ou non partie du dispositif 20.

[0062] Dans le mode de réalisation représenté, le dispositif 20 peut être mobile, c'est-à-dire adapté à être facilement transporté.

[0063] L'utilisation du dispositif 20 permet une mesure aisée de l'épaisseur e d'un revêtement 25 à la surface d'un substrat 26.

[0064] Comme précisé ci-dessus, le substrat 26 est de préférence une aube de turbine pour une turbomachine aéronautique et le revêtement 25 est de préférence un primaire de collage.

[0065] L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une aube de turbine tel que décrit ci-dessus.

[0066] Dans ce mode de réalisation, l'aube en matériau composite est obtenue à partir d'un renfort fibreux densifié dans une matrice. Dans ce cas, elle est fabriquée à partir d'une préforme fibreuse pouvant être obtenue de différentes façons connues de l'homme du métier. Typiquement, l'aube peut être obtenue directement par tissage tridimensionnel (3D) de fils (formés par exemple de fibres de carbone) ou par drapage de tissus fibreux bidimensionnels. La fabrication d'une aube en matériau composite obtenue à partir d'un renfort fibreux réalisé par tissage tridimensionnel et densifié par une matrice est

notamment décrite dans le document US 2014/0349538. Dans l'exemple décrit ici, l'aube est obtenue à partir d'un renfort fibreux en fibres de carbone réalisé par tissage tridimensionnel, le renfort ayant été imprégné avec une résine thermodurcissable, par exemple une résine époxy. La préforme d'aube peut également être obtenue à partir d'une pluralité de strates ou plis bidimensionnels (tissu 2D) en fibres de carbone pré-imprégnés et drapés.

[0067] Le procédé de fabrication comprend une succession d'étapes EA, EB, EC et ED et est représenté sur la [Fig.13]. L'étape EC correspond aux étapes du procédé de détermination tel que décrit ci-dessus. Le procédé de fabrication peut être réalisé en utilisant un dispositif 20 tel que décrit ci-dessus et schématisé en [Fig.12] entre les étapes EB et ED.

[0068] De plus, dans le cas où l'épaisseur e n'est pas conforme à celle souhaitée, l'utilisateur devra réaliser une retouche de la pièce par décapage chimique complet de la surface et dépose d'une couche conforme de primaire.

[0069] Le procédé de fabrication permet donc d'obtenir une aube avec des renforts métalliques rapportés dont l'épaisseur de primaire de collage est contrôlée.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de détermination de l'épaisseur d'un revêtement (25) à la surface d'un substrat (26) revêtu, ledit procédé comprenant la succession d'étapes suivantes :
- une première étape (E1) de mesure, mise en œuvre par un colorimètre (21), des composantes (a_p, b_p) d'une couleur d'une zone du substrat (26) revêtu ;
- une étape (E3) de calcul d'un écart de couleur (ΔE) entre la couleur représentée par les composantes mesurées à la première étape (E1) de mesure et une couleur d'une zone de référence (R0, R1, R2) d'un substrat non revêtu, ladite couleur étant représentée par des composantes de référence (a_{ref}, b_{ref}) ;
- une étape (E4) de comparaison de la valeur de l'écart de couleur calculée avec des valeurs d'écart de couleur déterminées comprises dans une base de données (27), chacune desdites valeurs d'écart de couleur déterminées correspondant à une valeur déterminée d'épaisseur (e) d'un revêtement (25) sur un substrat (26) revêtu ; et
- une étape (E5) de détermination de l'épaisseur (e) du revêtement (25) sur le substrat (26) revêtu lorsque la valeur de l'écart de couleur est sensiblement égale à la valeur d'écart de couleur déterminée,
les composantes (a_p, b_p, a_{ref}, b_{ref}) désignant les composantes chromatiques des couleurs définies dans l'espace de couleur CIELAB,
ledit procédé étant caractérisé en ce que ledit écart de couleur est définie par
[Math.2]

$$\Delta E = \sqrt{(a_p - a_{ref})^2 + (b_p - b_{ref})^2}$$

.

[Revendication 2] Procédé de détermination selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend, également, une seconde étape (E2) de mesure, mise en œuvre par un colorimètre (21), des composantes de référence (a_{ref}, b_{ref}) de la couleur d'une zone d'un substrat non revêtu.

[Revendication 3] Procédé de détermination selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'une couleur est définie par une moyenne d'au moins cinq mesures des composantes (a_p, b_p, a_{ref}, b_{ref}) de couleur d'une zone de substrat.

[Revendication 4] Procédé de détermination selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le substrat (26) est une pièce mé-

tallique.

[Revendication 5] Procédé de détermination selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le revêtement (25) est un primaire configuré pour permettre le collage d'une pièce métallique sur une pièce en matériau composite.

[Revendication 6] Dispositif de détermination de l'épaisseur (e) d'un revêtement (25) à la surface du substrat (26) revêtu, pour la mise en œuvre d'un procédé de détermination selon l'une quelconque des revendications précédentes, ledit dispositif (20) comportant :

- un colorimètre (21) configuré pour mesurer des valeurs de composantes (a_p, b_p) de la couleur d'une zone d'un substrat (26) revêtu ;
- un module de calcul (22) dudit écart de couleur (ΔE) configuré pour calculer ledit écart de couleur (ΔE), tel que défini dans la revendication 1, entre la couleur représentée par les composantes (a_p, b_p) mesurées par le colorimètre (21) et une couleur d'une zone de référence (R0, R1, R2) d'un substrat non revêtu ;
- une base de données (27) comportant une pluralité de valeurs d'écart de couleur (ΔEp) déterminées et une pluralité de valeurs déterminées d'épaisseur (e) de revêtement (25) sur un substrat (26) revêtu, chacune des valeurs déterminées d'épaisseur (e) de revêtement (25) correspond à une valeur déterminée d'écart de couleur (ΔE) ; et
- un module de comparaison et de détermination (23) configuré pour comparer la valeur de l'écart de couleur (ΔEp) avec chacune des valeurs déterminée d'écart de couleur (ΔE) et déterminer l'épaisseur (e) du revêtement (25) sur le substrat (26) revêtu lorsque la valeur de l'écart de couleur (ΔE) est sensiblement égale à une des valeurs déterminées d'écart de couleur (ΔEp).

[Revendication 7] Dispositif de détermination selon la revendication 6, caractérisé en ce que le colorimètre (21) est également configuré pour mesurer des composantes de référence (a_{ref}, b_{ref}) de la couleur d'une zone d'un substrat non revêtu.

[Revendication 8] Procédé de fabrication d'une aube en matériau composite à bord d'attaque métallique rapporté pour une turbomachine d'aéronef, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

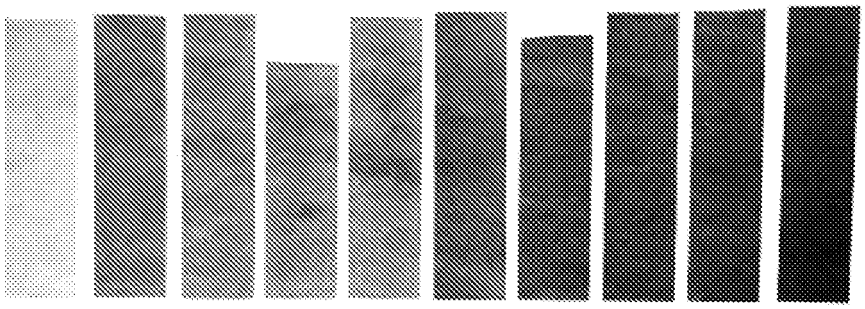
- une étape (EA) de réalisation d'une aube en matériau composite ;
- une étape (EB) d'application d'un primaire sur une portion de bord d'attaque d'aube en matériau composite destinée à recevoir un renfort métallique ; et

- une étape (ED) de collage du renfort métallique sur l'aube,

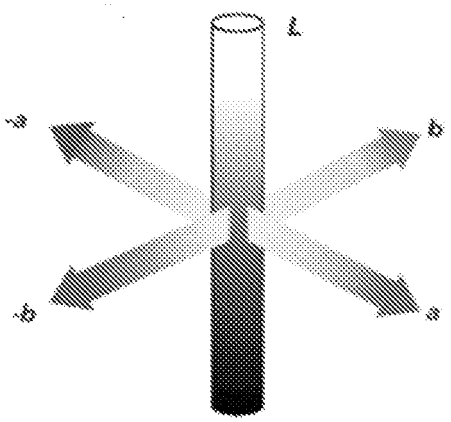
caractérisé en ce qu'il comprend, entre l'étape d'application du primaire et l'étape de collage, la détermination de l'épaisseur du primaire conformément au procédé de détermination (EC) selon la revendication 5.

[Revendication 9] Application du procédé de fabrication selon la revendication 8 à la fabrication d'une aube de soufflante, d'une aube directrice de sortie, d'une aube directrice d'entrée ou d'une aube à angle de calage variable pour une turbomachine d'aéronef.

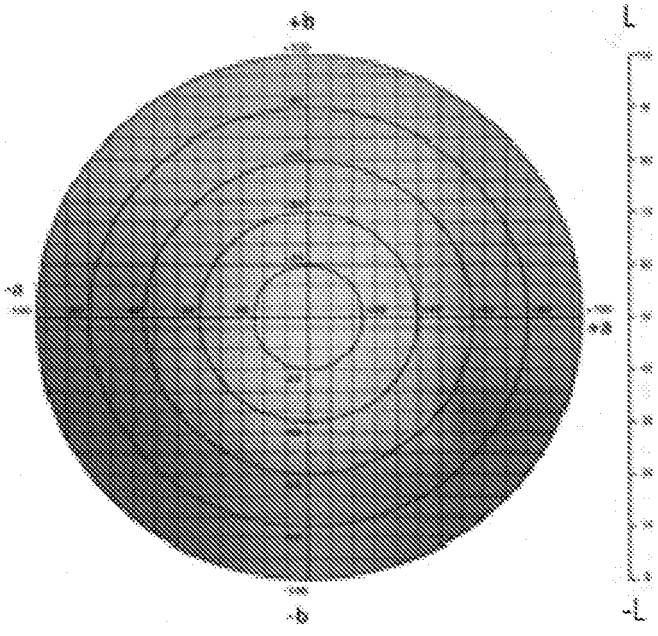
[Fig. 1]



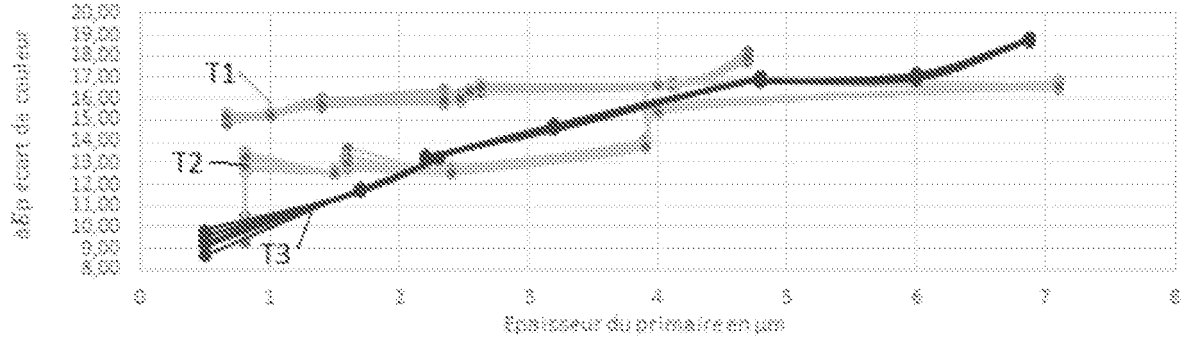
[Fig. 2]



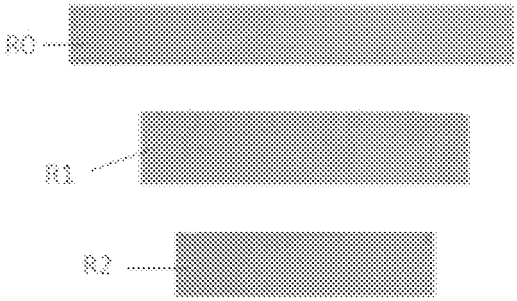
[Fig. 3]



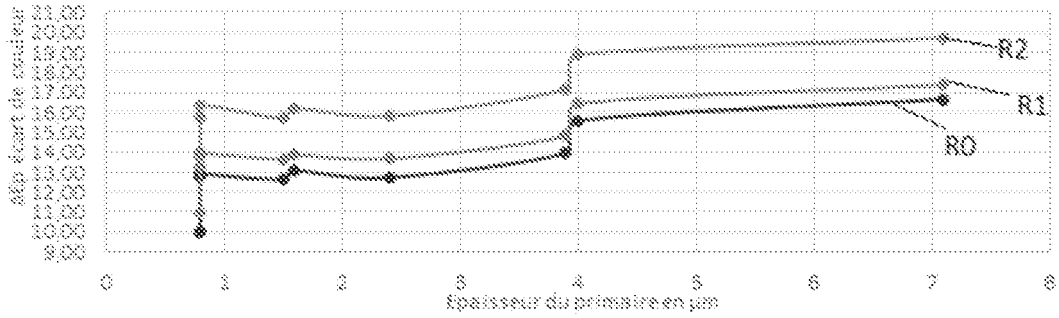
[Fig. 4]



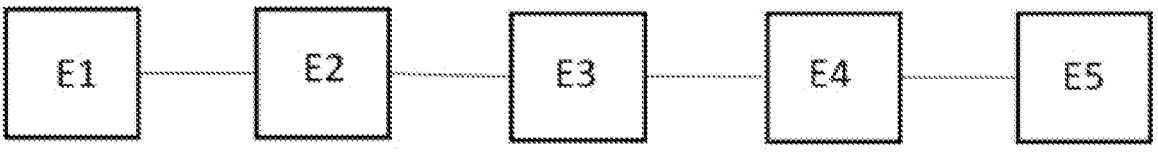
[Fig. 5]



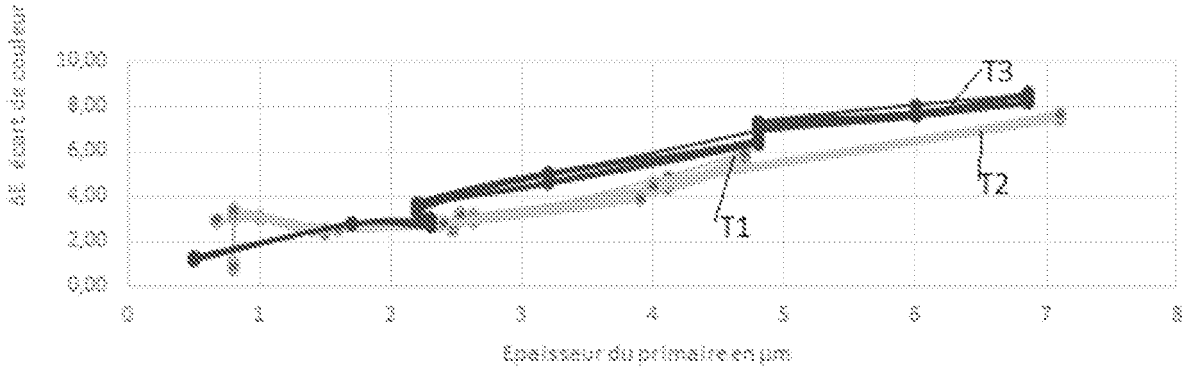
[Fig. 6]



[Fig. 7]



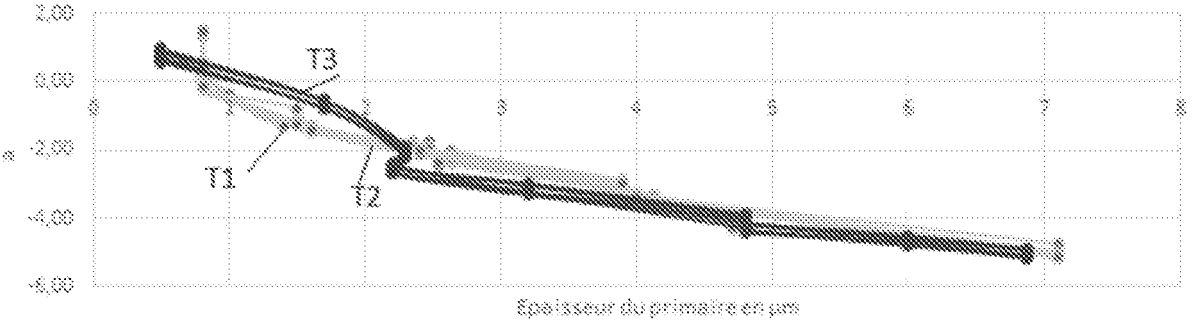
[Fig. 8]



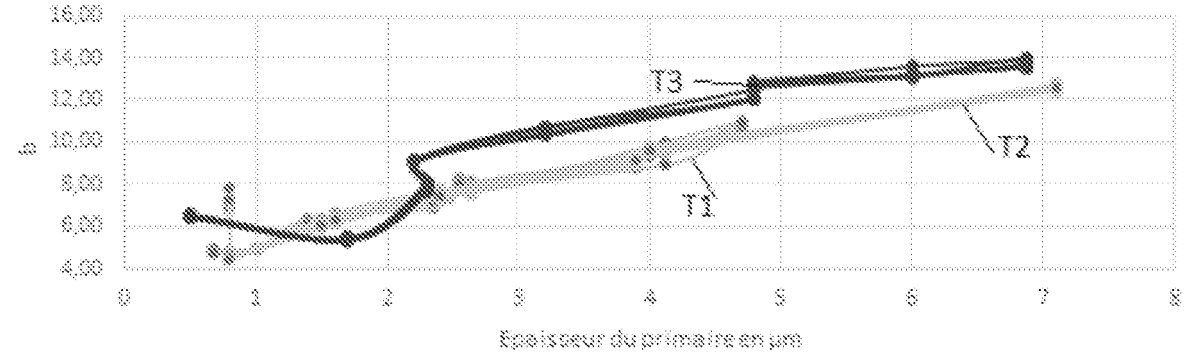
[Fig. 9]



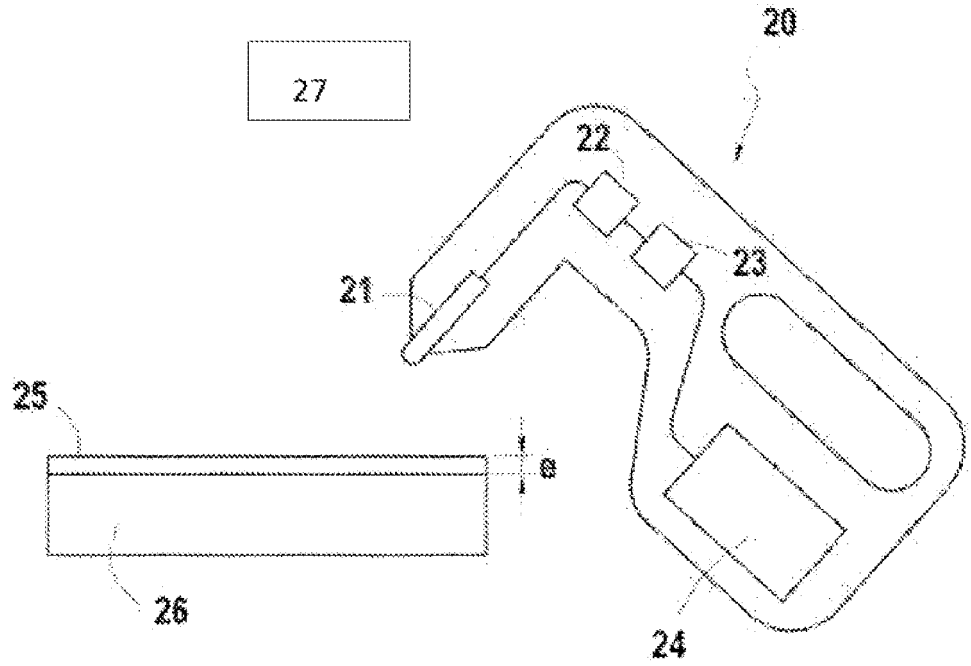
[Fig. 10]



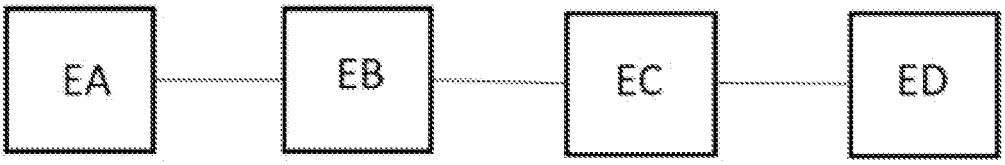
[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.
Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION
FR 3 097 314 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]) 18 décembre 2020 (2020-12-18) JP 2003 147581 A (DAIDO STEEL CO LTD) 21 mai 2003 (2003-05-21) JP H07 3388 B2 (TEIJIN LTD) 18 janvier 1995 (1995-01-18)
2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL
JP S57 52806 A (RICOH KK) 29 mars 1982 (1982-03-29)
3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES
NEANT