

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

(11) Nº de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 120 432

(21) Nº d'enregistrement national :

22 01837

(51) Int Cl⁸ : F 28 D 1/04 (2022.01), C 25 D 1/02

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(54) ÉCHANGEUR DE CHALEUR ADDITIF ET PROCÉDÉ DE FORMATION.

(22) Date de dépôt : 03.03.22.

(30) Priorité : 04.03.21 US 17/192,027.

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

Demande(s) d'extension :

(71) Demandeur(s) : UNISON INDUSTRIES, LLC Société
de droit américain — US.

(43) Date de mise à la disposition du public
de la demande : 09.09.22 Bulletin 22/36.

(45) Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 20.09.24 Bulletin 24/38.

(72) Inventeur(s) : TAJIRI Gordon C., JONNALAGADDA
Dattu G.V., STORAGE Michael Ralph, PHELPS Emily
Marie et BURDETTE Jason Levi.

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

Se reporter à la fin du présent fascicule

(73) Titulaire(s) : UNISON INDUSTRIES, LLC Société de
droit américain.

(74) Mandataire(s) : CASALONGA.

FR 3 120 432 - B1



Description

Titre de l'invention : ÉCHANGEUR DE CHALEUR ADDITIF ET PROCÉDÉ DE FORMATION

[0001] RENVOI AUX DEMANDES CONNEXES

[0002] Cette demande revendique la priorité sur et le bénéfice de la demande de brevet U.S. n° 17/192 027, déposée le 3 mars 2021.

Domaine technique

[0003] La description concerne généralement un échangeur de chaleur, plus spécifiquement un échangeur de chaleur avec plus d'une voie de refroidissement pour une turbine qui utilise un procédé pour améliorer un fini de surface et une régulation d'épaisseur de paroi durant une électrodéposition.

[0004] CONTEXTE DE L'INVENTION

[0005] Les moteurs modernes, tels que ceux utilisés dans les aéronefs, produisent des quantités importantes de chaleur qui doivent être transférées loin du moteur d'une manière ou d'une autre. Les échangeurs de chaleur fournissent un moyen de transférer la chaleur loin de ces moteurs. Par exemple, des échangeurs de chaleur peuvent être agencés en cercle autour d'une portion d'une turbine.

[0006] De l'huile peut être utilisée pour dissiper la chaleur de composants de moteur, tels que des parliers réacteurs, des générateurs d'électricité et autres. La chaleur est typiquement transférée de l'huile à l'air par des refroidisseurs d'huile par air, et plus particulièrement des systèmes de radiateurs d'huile de revêtement refroidis par air pour maintenir des températures d'huile dans une plage souhaitée d'environ 100 °F à 300 °F. Dans de nombreux cas, un environnement peut descendre jusqu'à - 65 °F.

[0007] BRÈVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0008] Des aspects et avantages de l'invention seront présentés en partie dans la description suivante, ou peuvent être évidents à la lecture de la description, ou peuvent être appris à travers la pratique de l'invention.

[0009] Selon un aspect, la présente description concerne un procédé d'électroformage d'un échangeur de chaleur, le procédé comprenant : le polissage d'une surface conductrice d'un mandrin façonné comme au moins une portion de l'échangeur de chaleur ; l'électroformage de l'échangeur de chaleur sur la surface conductrice du mandrin ; et le retrait du mandrin de l'échangeur de chaleur électroformé.

[0010] Selon un mode de réalisation de l'invention, le polissage de la surface conductrice lisse la rugosité de surface (rms) conductrice jusqu'à moins de 32 micropouces (0,81 micromètre).

- [0011] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'électroformage de l'échangeur de chaleur comporte en outre l'électroformage de l'échangeur de chaleur pour avoir une épaisseur de paroi qui est inférieure à 4 millièmes de pouce (0,01 centimètre).
- [0012] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend : l'activation de la surface conductrice pour l'électroformage.
- [0013] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'activation comporte le traitement de la surface conductrice pour retirer des contaminants.
- [0014] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'échangeur de chaleur électroformé est traité le long de surfaces intérieures qui sont exposées lorsque le mandrin est retiré.
- [0015] Selon un mode de réalisation de l'invention, le traitement de l'échangeur de chaleur comporte le traitement des surfaces intérieures avec un agent d'attaque chimique.
- [0016] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend : la fixation d'un composant de collecteur au mandrin.
- [0017] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend : la métallisation du mandrin pour former la surface conductrice avant le polissage de la surface conductrice.
- [0018] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend : la formation du mandrin pour façonner jusqu'à au moins la portion de l'échangeur de chaleur avant la métallisation du mandrin.
- [0019] Selon encore un autre aspect, la présente invention concerne un procédé d'électroformage d'un composant, le procédé comprenant : le polissage d'une surface conductrice d'un mandrin façonné comme le composant ; et l'électroformage du composant sur la surface conductrice du mandrin ; et le retrait du mandrin du composant pour exposer une nouvelle surface du composant auparavant bordée par le mandrin ; dans lequel la nouvelle surface a une rugosité de surface (rms) qui est inférieure à 32 micropouces à la suite du polissage de la surface conductrice avant l'électroformage du composant.
- [0020] Selon un mode de réalisation de l'invention, le composant a en outre une épaisseur de paroi qui est entre 3 et 4 millièmes de pouce.
- [0021] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé d'électroformage d'un composant comprend : le traitement de la nouvelle surface avec un agent d'attaque chimique.
- [0022] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé d'électroformage d'un composant comprend : l'activation de la surface conductrice avant l'électroformage en traitant la surface conductrice pour retirer des contaminants.
- [0023] Selon un mode de réalisation de l'invention, le composant est fait d'un matériau qui a une porosité qui est inférieure à 50 micropouces.

- [0024] Selon encore un autre aspect, la présente invention concerne un procédé de formation d'un échangeur de chaleur, le procédé comprenant : la fourniture d'un mandrin amovible définissant le façonnage de l'échangeur de chaleur ; le revêtement de surfaces du mandrin avec un revêtement conducteur pour définir une cathode ; l'électroformage de l'échangeur de chaleur sur la cathode pour comporter des épaisseurs de paroi qui sont de 3 à 4 millièmes de pouce ; le retrait du mandrin de l'échangeur de chaleur électroformé ; et le traitement de l'échangeur de chaleur électroformé pour retirer tout revêtement conducteur restant de l'échangeur de chaleur électroformé.
- [0025] Ceux-ci et d'autres caractéristiques, aspects et avantages de la présente invention seront mieux compris en référence à la description suivante et aux revendications jointes. Les dessins accompagnants, qui sont incorporés dans et constituent une partie de cette description, illustrent des modes de réalisation de l'invention et, conjointement avec la description, servent à expliquer les principes de l'invention.

Brève description des dessins

- [0026] Dans les dessins :
- [0027] La [Fig.1] est une représentation schématique d'un bain d'électrodéposition avec un mandrin sous la forme d'un composant, avec une portion du composant enlevée.
- [0028] La [Fig.2] est un schéma de procédé illustrant un procédé d'électroformage d'un composant, tel qu'un échangeur de chaleur.
- [0029] La [Fig.3] est une vue en perspective d'un échangeur de chaleur formé par le procédé illustré à la [Fig.2] ayant des collecteurs reliés par une pluralité de tubes conformément à divers aspects décrits ci-après.
- [0030] La [Fig.4] est une vue transversale schématique d'un tube de la [Fig.3] pris le long d'une ligne IV-IV de la [Fig.3], conformément à divers aspects décrits ci-après.
- [0031] La [Fig.5] est une vue de dessus de l'échangeur de chaleur de la [Fig.3].
- [0032] La [Fig.6] est une vue transversale schématique d'une portion de l'échangeur de chaleur de la [Fig.3] comportant des portions des collecteurs et des tubes de liaison pris le long d'une ligne VI-VI de la [Fig.3], conformément à divers aspects décrits ci-après.
- [0033] La [Fig.7] est une vue en écorché partielle en perspective d'un échangeur de chaleur monolithique avec des tubes entrelacés fourchus, conformément à divers aspects décrits ci-après.
- [0034] La [Fig.8] est une vue en perspective d'un échangeur de chaleur monolithique sous la forme d'un ensemble de spirales imbriquées, conformément à divers aspects décrits ci-après.
- [0035] **DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES MODES DE RÉALISATION**

- [0036] La présente description concerne un échangeur de chaleur ayant des voies enchevêtrées pour des liquides de refroidissement. Plus spécifiquement, la description concerne un procédé d'électroformage d'un composant qui a un fini de surface amélioré et une régulation d'épaisseur de paroi améliorée, qui peuvent assurer un transfert de chaleur amélioré et moins de turbulence à des liquides passant le long de l'échangeur de chaleur. À des fins d'illustration, les aspects de la description exposés ci-après seront décrits avec un mandrin utilisé durant un procédé d'électroformage. Il est toutefois entendu que la description telle qu'exposée ci-après n'est pas limitée à cela et peut avoir une applicabilité générale sous des formes utilisées pour des procédés d'électroformage.
- [0037] Toutes les références à des directions (par exemple radial, supérieur, inférieur, vers le haut, vers le bas, gauche, droit, latéral, avant, arrière, de dessus, de dessous, au-dessus, en dessous, vertical, horizontal, dans le sens des aiguilles d'une montre, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) sont utilisées uniquement à des fins d'identification pour aider le lecteur à comprendre la description, et ne créent pas de limitations, en particulier quant à la position, l'orientation ou l'utilisation de celle-ci. Les références à des connexions (par exemple fixé, accouplé, relié et joint) doivent être interprétées au sens large et peuvent comprendre des organes intermédiaires entre une collection d'éléments et un mouvement relatif entre des éléments, sauf indication contraire. En tant que telles, les références à des connexions n'impliquent pas nécessairement que deux éléments sont directement reliés et dans une relation fixe l'un avec l'autre. Les dessins donnés à titre d'exemple ne servent qu'à des fins d'illustration et les dimensions, les positions, l'ordre et les tailles relatives reflétées dans les dessins ci-joints peuvent varier. Tel qu'utilisé ci-après, un « ensemble » peut comprendre n'importe quel nombre d'éléments, y compris un seul. « Corps monolithique d'un seul bloc » ou « corps monolithique » tel qu'utilisé ci-après signifie un seul corps qui est une seule pièce non séparable, ou formé comme une seule pièce unitaire lors de la fabrication, par opposition au fait d'être formé en combinant des éléments distincts en un durant la fabrication.
- [0038] Un système pour réaliser un procédé d'électroformage pour former un composant métallique 38 (représenté à l'intérieur d'une ligne en pointillé) est illustré au moyen d'un bain d'électrodéposition 40 à la [Fig.1]. Un réservoir à bain 50 donné à titre d'exemple porte une solution de liquide électrolytique 52 conductrice. La solution de liquide électrolytique 52, dans un exemple non limitatif, peut comporter un alliage d'aluminium portant des ions métalliques d'alliage. Dans un autre exemple non limitatif, la solution de liquide électrolytique 52 peut comporter un alliage de nickel portant des ions métalliques d'alliage.

- [0039] Une anode 54 espacée d'une cathode 56 est fournie dans le réservoir à bain 50. L'anode 54 peut être une anode sacrifiée ou une anode permanente. Bien qu'une anode 54 soit représentée, il doit être entendu que le réservoir à bain 50 peut comporter n'importe quel nombre d'anodes 54 souhaité. La cathode 56 peut être un mandrin 58 revêtu d'un matériau électroconducteur 62, comprenant, à titre d'exemples non limitatifs, du cuivre, de l'argent ou du nickel. Il est en outre envisagé qu'une pulvérisation, une peinture, un revêtement ou un traitement similaire avec un matériau conducteur 62 puisse être fourni au mandrin 58 pour faciliter la formation de la cathode 56. De plus, bien qu'une cathode 56 soit représentée, il doit être noté qu'une ou plusieurs cathodes sont envisagées pour une utilisation dans le réservoir à bain 50.
- [0040] Le mandrin 58 définit un corps 60 formé, à titre d'exemple non limitatif, à partir d'un matériau récupérable. Le corps 60 peut être fait d'un matériau récupérable qui peut être collecté après un procédé d'électroformage et réutilisé comme un autre corps dans un autre procédé d'électroformage. Des matériaux récupérables appropriés peuvent comprendre des cires, des plastiques, des mousses polymères, des métaux ou des matériaux déformables, tels que les matériaux qui peuvent être collectés via une fusion ou un lessivage dans des exemples non limitatifs. Après l'achèvement du procédé d'électroformage, le corps 60 peut être récupéré à partir du composant électroformé, par exemple par le biais d'un chauffage et d'une fusion du corps 60 à des températures rehaussées, pour récupérer le matériau structurel. De cette manière, les pertes de matériau sont réduites.
- [0041] Un dispositif de commande 64, qui peut comprendre une alimentation électrique, peut être couplé électriquement à l'anode 54 et à la cathode 56 par des conduites électriques 66 pour former un circuit 67 via la solution de liquide électrolytique 52. Optionnellement, un commutateur 68 ou un dispositif de commande auxiliaire peuvent être compris le long des conduites électriques 66, et peuvent être positionnés entre le dispositif de commande 64 et les anodes 54 et la cathode 56. Durant le fonctionnement, un courant peut être fourni de l'anode 54 à la cathode 56 via la solution de liquide électrolytique 52 pour électroformer un composant métallique monolithique 38 au niveau du mandrin 58. Durant l'alimentation en courant, le métal, tel que de l'aluminium, du fer, du cobalt ou du nickel, dans des exemples non limitatifs, à partir de la solution de liquide électrolytique 52 forme une couche métallique 70 par-dessus le mandrin 58. Dans un exemple non limitatif, le composant métallique monolithique 38 peut être un échangeur de chaleur 100.
- [0042] Une pompe (P) et un filtre (F) peuvent être utilisés pour filtrer et maintenir chimiquement la solution de liquide électrolytique 52 à une concentration d'ions particulière, ou pour retirer tout corps étranger. Le filtre (F) peut comporter, à titre d'exemple non limitatif, un milieu filtrant chimique. Un réchauffeur (H) est fourni

pour réguler une température du bain d'électrodéposition 40. Dans des exemples non limitatifs, le réchauffeur (H) peut être disposé dans le réservoir à bain 50 ou à proximité du réservoir à bain 50 extérieur au réservoir à bain 50. En variante, le réchauffeur (H) peut être en communication de liquide avec la pompe (P) pour réchauffer la solution de liquide électrolytique 52 tandis qu'elle est pompée par la pompe (P).

- [0043] La [Fig.2] illustre un procédé 400 pour former le composant métallique 38. Le procédé 400 est fourni à des fins d'illustration et peut se dérouler dans un ordre logique différent ou des étapes supplémentaires ou intermédiaires peuvent être comprises, sauf notation contraire. Bien que le procédé 400 soit décrit dans le contexte de la formation de l'échangeur de chaleur par électrodéposition sur un mandrin, le procédé 400 peut être utilisé d'une manière similaire pour former d'autres types de corps en utilisant d'autres formes appropriées.
- [0044] Le procédé 400 commence à 402 avec la génération du mandrin 58. Le mandrin 58 peut être formé de cire ou de plastique, par exemple, ou d'autres matériaux consommables. Le mandrin définit le façonnage de l'échangeur de chaleur 100. Dans un exemple non limitatif, le mandrin 58 peut être formé par fabrication additive ou dans un autre exemple non limitatif, par moulage par injection. Le mandrin 58 peut être amovible par rapport au composant électroformé fini, et peut être fait d'un matériau conducteur ou non conducteur. À 404, le mandrin 58 est métallisé avec un matériau électroconducteur 62 pour fournir une surface électroconductrice sur le mandrin 58. Lors de la métallisation, le mandrin 58 métallisé fait office de cathode dans le bain d'électrodéposition. Si le mandrin 58 est formé d'un matériau conducteur, l'étape de métallisation peut ne pas être nécessaire, bien qu'il soit envisagé qu'un mandrin métallique puisse également être traité avec une surface conductrice supplémentaire pour former la cathode.
- [0045] En outre à 404, la surface conductrice du mandrin 58 est polie de sorte que la rugosité de surface (rms) soit inférieure à 32 micropouces (0,81 micromètre, Ra = 29 micropouces), où rms est calculée comme la moyenne quadratique de la surface du mandrin 58 conformément à l'équation 1 comme défini dans ASME B46.1. Rms (R_q dans l'équation 1) est la moyenne quadratique des écarts de hauteur de profil par rapport à la ligne moyenne, enregistrée dans la longueur d'évaluation (L), où $Z(x)$ est une fonction de hauteur de profil. Dans un autre exemple, la rugosité de surface peut être inférieure à 30 micropouces.
- [0046]
$$Rq = \left[\left(\frac{1}{L} \right) \int_0^L Z(x)^2 dx \right]^{1/2} \quad (1)$$

[0047] En variante, la rugosité de surface peut être calculée comme Ra (équation 2), la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts de hauteur de profil par rapport à la ligne moyenne, enregistrée dans la longueur d'évaluation.

$$Ra = \left[\frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx \right]^{(2)}$$

[0049] En plus, il est envisagé que la rugosité de surface rms puisse être inférieure à 100 micropouces (2,5 micromètres, Ra = 91 micropouces). Optionnellement, la rugosité de surface rms peut être entre 10 et 50 micropouces (0,25 à 1,3 micromètre, Ra = 9 à 45 micropouces) ou entre 20 et 30 micropouces (0,51 à 0,76 micromètre, Ra = 18 à 27 micropouces), dans des exemples non limitatifs supplémentaires. Le lissage et le polissage ou l'émeulage du matériau conducteur 62 sur la surface du mandrin 58 permet à la rugosité de surface rms de l'échangeur de chaleur 100 d'être inférieure à environ 30 micropouces (0,51 micromètre, Ra = 27 micropouces). Il doit être noté qu'une surface plus lisse, telle que celle qui résulte du polissage du mandrin 58, peut aboutir à une surface plus lisse pour le composant électroformé achevé après le retrait du mandrin 58. Les paramètres d'électrodéposition peuvent être amenés à varier pour obtenir un niveling de rugosité de surface du mandrin 58 de sorte que la rugosité de surface soit inférieure à 30 micropouces avant le lissage. Des moyens de lissage donnés à titre d'exemple du mandrin 58 métallisé comprennent, mais ne sont pas limités à, un polissage électrolytique, un polissage électrochimique, un polissage chimique tel qu'un polissage à la vapeur d'acétone, un polissage manuel ou l'utilisation d'un décapage par polissage/au sable, ou d'autres procédés de polissage de surface qui sont connus dans l'art.

[0050] À 406, des composants supplémentaires nécessaires à la formation de l'échangeur de chaleur peuvent être ajoutés au mandrin 58. Dans un exemple, des composants de collecteur peuvent être formés pour faire partie du mandrin, par exemple en fixant des composants de collecteur au mandrin, bien qu'il soit envisagé que les collecteurs soient métalliques et soient usinés, et ensuite joints au mandrin 58 durant l'électrodéposition. Il est en outre envisagé que les composants de collecteur ou d'autres composants ajoutés puissent être formés pour faire partie du mandrin 58 de l'étape 402 ci-dessus. De même, il est également envisagé que le mandrin pour les collecteurs puisse également être métallisé pour préparer l'électrodéposition.

[0051] À 408, la surface du mandrin 58 métallisé est activée pour l'électrodéposition. Au cours de cette étape, la surface est traitée pour retirer des oxydes ou d'autres contaminants qui peuvent perturber le procédé d'électrodéposition. Cette étape, en plus du polissage du mandrin 58, crée une surface plus favorable ou plus idéale pour l'électrodéposition, au contraire d'un mandrin non traité.

- [0052] À 410, optionnellement, le mandrin 58 métallisé peut être relié structurellement à un cadre de support pour suspendre le mandrin 58 dans le bain d'électrodéposition. De même, le mandrin cathode, étant métallisé, peut être connecté électriquement au reste du système pour achever le circuit électrique dans le bain nécessaire au procédé d'électroformage. Dans un exemple, le mandrin 58 est connecté électriquement à des câbles pour une utilisation dans le bain d'électrodéposition.
- [0053] L'électrodéposition du composant du mandrin 58 métallisé commence à 412. Une couche métallique 70 est déposée sur le mandrin 58 métallisé cathodique pour créer l'échangeur de chaleur 100. Un ensemble de tubes définissant au moins une portion de l'échangeur de chaleur, tels que les tubes 110 de la [Fig.3], exposés ci-dessous, sont formés d'un seul bloc et de manière unitaire avec les collecteurs durant la déposition pour former un composant d'échangeur de chaleur unitaire monolithique. La couche métallique déposée peut être un alliage métallique et peut comprendre une épaisseur de paroi d'environ 3 à 4 millièmes de pouce (0,007 à 0,01 centimètre), par exemple, où un millième de pouce est égal à un millième d'un pouce. Il est en outre envisagé que des paramètres de bain soient régulés pour produire une morphologie de surface souhaitée, par exemple une température de bain ou sur la base d'un type de métal ou d'une concentration dans le liquide de bain électrolytique. L'épaisseur de paroi d'environ 3 à 4 millièmes de pouce (0,007 à 0,01 centimètre) qui est obtenue par ce procédé est inférieure à celle typiquement obtenue par des procédés additifs au laser, qui, pour comparaison, sont typiquement de 12 millièmes de pouce (0,03 centimètre). La réduction de l'épaisseur de paroi améliore le transfert de chaleur localement, tout en réduisant également le poids de composant. En outre, une porosité (ou taille de pores) de la couche métallique 70 formée par l'électrodéposition est d'environ 50 micropouces (1,3 micromètre). Pour comparaison, la porosité de surfaces formées par des procédés additifs au laser est typiquement de 20 à 40E-03 pouces (5,1E-02 à 10E-02 centimètres), ce qui est de plusieurs ordres de grandeur plus élevé que celle de la couche métallique formée par le procédé ci-décrit.
- [0054] À 414, le matériau consommable constituant le mandrin 58 est retiré de l'échangeur de chaleur 100 électroformé exposant une nouvelle surface intérieure, ou une surface 150 révélée. Dans un exemple non limitatif, un procédé de recuisson au four peut être utilisé, bien que tout procédé de retrait approprié soit envisagé, ce qui peut varier sur la base du matériau de mandrin particulier. En outre, le traitement du composant d'échangeur de chaleur électroformé comprend un rinçage avec un agent d'attaque chimique ou un autre solvant pour retirer tout matériau conducteur 62 restant de la surface 150 révélée de l'échangeur de chaleur 100 électroformé. Le traitement de la surface 150 révélée peut en outre comprendre d'autres moyens de retrait du matériau conducteur 62 tels qu'un décapage par polissage/au sable. Après le retrait

du mandrin et le rinçage avec l'agent d'attaque chimique, la rugosité de surface rms finale pour l'échangeur de chaleur 100 peut être de 20 à 30 micropouces (0,51 à 0,76 micromètre, Ra = 18 à 27 micropouces). Pour comparaison, la rugosité de surface rms d'un article formé par des procédés additifs au laser s'inscrit typiquement entre 60 et 100 micropouces (1,5 à 2,5 micromètres, Ra = 54 à 91 micropouces).

- [0055] Des étapes finales optionnelles 416 à 420 comprennent un examen visuel ou d'un autre type de la surface d'échangeur de chaleur. Des exemples d'examens peuvent comprendre un examen par pénétration de substance fluorescente pour des craquelures ou des imperfections, un durcissement par précipitation, et un test de débit et de pression dans des exemples non limitatifs.
- [0056] Une étape envisagée supplémentaire peut comprendre une action de post-polissage en plus du premier polissage. Plus spécifiquement, le polissage initial du mandrin 58 peut assurer une diminution d'une rugosité du mandrin 58 jusqu'à environ 30 micropouces ou moins. Un polissage supplémentaire de l'échangeur de chaleur final peut lisser davantage les surfaces, par exemple réduire la rugosité d'environ 50 %, de sorte qu'une rugosité de surface finale après le post-polissage puisse être entre 10 et 15 micropouces. Une si faible rugosité peut assurer une efficacité de débit améliorée et des pertes de pression diminuées. En outre, la surface lisse peut assurer l'utilisation de parois plus fines que ce qui serait possible autrement, de sorte que le poids de composant global puisse être diminué, ce qui peut améliorer l'efficacité de système globale.
- [0057] Un procédé de fabrication additive utilisant l'électrodéposition est décrit pour créer un échangeur de chaleur compact à haute température monolithique unitaire ayant des conduites de liquide intégrées à des logements de collecteur. Un mandrin consommable est utilisé pour créer la surface de déposition conductrice et pour configurer les orifices de liaison de liquide. Les conduites de liquide sont directement intégrées à des collecteurs au niveau des orifices de liaison de liquide durant le procédé d'électrodéposition, rendant inutile le brasage ou le sertissage mécanique pour relier les conduites aux collecteurs. Le mandrin est retiré par la suite après la déposition métallique et un rinçage avec un agent d'attaque chimique peut être utilisé pour retirer la surface de déposition conductrice des surfaces internes de l'échangeur de chaleur.
- [0058] D'une façon avantageuse, le procédé ci-décrit permet au composant électroformé d'être directement relié structurellement et intégré à des collecteurs durant le procédé d'électrodéposition, rendant inutile le sertissage mécanique, le brasage ou d'autres procédés de jonction de métaux. En outre, ce procédé fournit des parois qui sont environ 3 à 4 fois plus fines que des parois préparées par des procédés additifs traditionnels au laser ou par électroformage. Les parois plus fines du composant fourni par ce procédé facilitent le transfert de chaleur, augmentant l'efficacité et le

rendement de l'échangeur de chaleur, et diminuant le poids global du composant. Puisque ce procédé nécessite moins de matériaux, les coûts de production diminuent. Le traitement de lissage du mandrin dans la préparation de l'électrodepositio aboutit à ce que le composant ait une surface qui est nettement plus lisse (par exemple une rugosité de surface environ trois fois plus faible) par rapport à l'utilisation d'un mandrin 58 non traité rugueux. Le fait que le lissage de la surface de composant soit amélioré réduit la perte de charge durant l'utilisation de l'article final, ainsi qu'une turbulence réduite, une traînée aérodynamique ou d'autres inefficacités résultant d'une surface non lissée. En outre, le procédé assure la génération d'un composant qui a une porosité diminuée. La porosité diminuée offerte par le procédé accroît la conductivité thermique effective et augmente la résistance au forgeage, ce qui lutte contre la fatigue mègacyclique. Globalement, cette simplification de procédé de fabrication réduit le temps, le coût et les défauts, et peut assurer une amélioration globale du produit final, telle que l'efficacité d'un échangeur de chaleur, par rapport à celle d'un composant similaire formé par un procédé différent.

- [0059] Comme le montre en détail la [Fig.3], le mandrin 58 tel que décrit ci-dessus et utilisé dans le procédé 400 peut avoir la forme d'un échangeur de chaleur 100 qui comporte un premier collecteur 102, un second collecteur 104 et un ensemble de tubes 110 qui s'étend entre le premier collecteur 102 et le second collecteur 104 dans une direction longitudinale ou première direction 112. Le premier collecteur 102 et le second collecteur 104 sont accouplés par un liquide par l'ensemble de tubes 110 qui se joignent aux premier et second collecteurs 102, 104 au niveau de raccords 113 de liaison de liquide, fournissant une conduite ou un passage de liquide F1 pour un écoulement de liquide de refroidissement interne entre le premier collecteur 102 et le second collecteur 104. Selon un aspect, le premier collecteur 102, le second collecteur 104 et l'ensemble de tubes 110 sont formés comme un corps monolithique unitaire. Il doit être noté qu'il est inutile que les raccords 113 de liaison de liquide soient des éléments distincts ou supplémentaires, mais peuvent simplement être formés comme une portion de l'ensemble de tubes 110 qui rencontre le collecteur 102, 104 particulier. Il est en outre envisagé qu'il soit inutile d'inclure des raccords 113 avec l'échangeur de chaleur 100.
- [0060] L'ensemble de tubes 110 est agencé de sorte que les tubes 111 soient organisés en rangées dans une direction axiale ou deuxième direction 122 et empilés dans une troisième direction 132, où les empilements de rangées sont soit alignés soit en quinconce de l'avant à l'arrière de l'échangeur de chaleur 100. L'espace entre chaque tube 111 de l'ensemble de tubes 110 définit un trajet d'écoulement F2 de l'avant vers l'arrière de l'échangeur de chaleur 100. Ensemble, le passage de liquide F1 et le trajet d'écoulement F2 permettent un échange de chaleur entre un premier liquide 114

passant par l'intérieur de l'ensemble de tubes 110 et un second liquide 116 passant le long du trajet d'écoulement F2 par-dessus la surface extérieure de l'ensemble de tubes 110.

- [0061] En passant maintenant à la [Fig.4], une vue transversale le long d'une ligne de coupe IV à la [Fig.3], chaque tube 111 est façonné en aile ou en goutte d'eau. Il est entendu que cette description comprend, mais n'est pas limitée à, des façonnages en goutte d'eau et des façonnages en aile asymétriques, semi-symétriques et symétriques tels que des façonnages d'aile en écoulement laminaire, lenticulaires, Clark Y, double biseau, avancés, tardifs, à fond plat, en sous-cambrure, en goutte d'eau, cambrés et supercritiques, et n'est pas limitée au façonnage montré à la [Fig.3]. En outre, chaque tube 111 a un bord d'attaque 120 et un bord de fuite 121 définissant la direction axiale ou deuxième direction 122 entre eux. Une surface de dessus 124 et une surface de dessous 126 sont en outre comprises dans chaque tube 111, définissant une troisième direction 132 perpendiculaire à la fois à la première direction 112 et la deuxième direction 122. Une superficie en coupe transversale 134 axiale du tube 111 est ainsi bornée par le bord d'attaque 120, le bord de fuite 121, la surface de dessus 124 et la surface de dessous 126.
- [0062] L'ensemble de tubes 110 comprend une couche métallique 70 ayant une épaisseur de paroi 136 qui est, dans un exemple non limitatif, de 3 à 4 millièmes de pouce (0,003 à 0,004 pouce ; 0,007 à 0,01 centimètre). L'épaisseur de paroi 136 est suffisante pour que l'échangeur de chaleur 100 soit autoporteur durant le fonctionnement, et limite la quantité de matériaux nécessaires durant la fabrication. En outre, l'épaisseur de paroi 136 permet au poids global de l'échangeur de chaleur d'être réduit par rapport à des échangeurs de chaleur traditionnels avec des épaisseurs de paroi traditionnelles.
- [0063] Le bord d'attaque 120 de chacun de l'ensemble de tubes 110 rencontre le second liquide 116 entrant dans l'échangeur de chaleur 100 tandis qu'il suit le trajet d'écoulement F2 dans la direction axiale 122. Le trajet d'écoulement F2 traverse la surface extérieure de l'ensemble de tubes 110 façonné en goutte d'eau allongée qui a une plus grande superficie pour un transfert de chaleur amélioré. En outre, la chute de pression à travers l'ensemble de tubes 110 est réduite au minimum par le façonnage en aile qui réduit le profil frontal et réduit au minimum la traînée à travers la surface de dessus 124 et la surface de dessous 126 de l'ensemble de tubes 110, et profite d'un rattachement d'écoulement amélioré aux surfaces, qui améliore le transfert de chaleur global. Le profil d'aile et réduit le début du détachement tourbillonnaire anticipé en déplaçant l'écoulement vers le bord de fuite 121 avec le rattachement amélioré le long du profil d'aile.
- [0064] En passant maintenant à la [Fig.5], le bord de fuite 121 a une forme sinuuse 128 définie dans la première direction 112. La forme sinuuse 128 peut être n'importe

quel façonnage incurvé se répétant tel qu'une géométrie sinusoïdale. Chaque tube 111 de l'ensemble de tubes 110 a une largeur 130 axiale dans la deuxième direction axiale. La largeur 130 axiale varie à plusieurs reprises entre un maximum 130 a et un minimum 130 b qui correspondent au maximum et au minimum de la forme sinusoïdale 128. Puisque la largeur 130 axiale du tube 111 varie, la superficie en coupe transversale 134 axiale pour chaque tube 111 varie également lorsqu'elle est définie le long de la première direction longitudinale 112. Selon un autre aspect, le maximum 130 a et le minimum 130 b de la largeur 130 axiale peuvent être approximativement identiques, auquel cas la superficie en coupe transversale 134 axiale pour chaque tube 111 de l'ensemble de tubes 110 est approximativement uniforme, ou de $\pm 10\%$. La superficie en coupe transversale peut être gardée approximativement identique tout en changeant les dimensions les plus grandes et les plus petites de la coupe transversale quasi-elliptique. Lorsqu'elle est gardée uniforme ou approximativement uniforme, la superficie en coupe transversale constante diminue les pertes de pression à travers le canal et aboutit à moins de turbulence. Toutefois, il doit être entendu qu'une superficie en coupe transversale variable est également envisagée. Une superficie en coupe transversale variable produit des vitesses d'écoulement pulsatoires faibles et élevées, créant une turbulence, aboutissant à un coefficient de transfert de chaleur h plus élevé et un transfert de chaleur amélioré. Ainsi, il doit être noté qu'un équilibre peut être trouvé entre la coupe transversale constante ou la coupe transversale variable, avec une coupe transversale plus constante où les pertes de pression sont plus avantageuses, ou une coupe transversale plus variable si un transfert de chaleur local est plus avantageux. De cette manière, il est en outre envisagé que des portions de l'échangeur de chaleur aient des coupes transversales différentes, à la fois variables et constantes, mais placées séparément.

- [0065] Toujours en référence à la [Fig.5], un premier liquide 114 s'écoule à travers le premier collecteur 102 pour entrer dans l'ensemble de tubes 110 et suivre le passage de liquide F1 pour sortir de l'ensemble de tubes 110 et entrer dans le second collecteur 104. Le trajet d'écoulement F2 traverse la surface extérieure de l'ensemble de tubes 110 de l'avant à l'arrière de l'échangeur de chaleur 100. Un second liquide 116 suit le trajet d'écoulement F2 en entrant dans l'échangeur de chaleur 100 à l'avant, passant par-dessus et entre l'ensemble de tubes 110 pour un échange de chaleur avec le premier liquide 114, et sort à l'arrière de l'échangeur de chaleur 100. Comme le montre la [Fig.5], l'ensemble de tubes 110 peut avoir un alignement en quinconce.
- [0066] En référence maintenant à la [Fig.6], la surface de dessus 124 peut avoir un profil de dessus 140 et la surface de dessous 126 peut avoir un profil de dessous 142 où le profil de dessus 140 et le profil de dessous 142 sont décrits en répétant régulièrement une géométrie incurvée, telle qu'un façonnage sinusoïdal. L'alignement du profil de

dessus 140 et du profil de dessous 142 définit des portions épaisses 144 et des portions fines 146 du tube 111. Il est envisagé que le profil de dessus 140 puisse être décalé par rapport au profil de dessous 142, par exemple de la moitié d'une période sinusoïdale. En outre, les portions épaisses 144 s'alignent sur des portions du bord de fuite 121 où la largeur 130 axiale a un maximum 130 a selon la forme sinueuse 128, et les portions fines 146 s'alignent sur des portions du bord de fuite 121 où la largeur 130 axiale a un minimum 130 b selon la forme sinueuse 128.

- [0067] Le profil de dessus 140 et le profil de dessous 142 du tube 111 peuvent être amenés à varier pour améliorer le mélange de liquide interne et réduire au minimum la perte de charge. Le façonnage de l'ensemble de tubes 110 est conçu pour comporter une composante de vitesse transverse périodique quant à l'écoulement de liquide pour augmenter le transfert de chaleur. La superficie en coupe transversale 134 partout dans chacun de l'ensemble de tubes 110 est conçue pour être approximativement uniforme pour réduire au minimum les changements de vitesse et les pertes de pression hydraulique associées. Cette uniformité peut être obtenue par le biais d'un équilibrage des changements de la superficie en coupe transversale par la largeur 130 variable ainsi que les épaisseurs variables des portions épaisses et fines 144, 146, de sorte que les augmentations d'épaisseur soient alignées sur les diminutions de largeur 130, ou vice versa, de sorte qu'une superficie en coupe transversale sensiblement uniforme soit obtenue. La coupe transversale sensiblement uniforme assure une réduction des changements de vitesse ou des pertes de pression, ce qui maintient l'efficacité tout en améliorant le transfert de chaleur global.
- [0068] Selon un autre aspect, les passages de liquide peuvent être formés comme un ensemble de tubes 210 triples entrelacés comme le montre la [Fig.7]. Dans le cas des tubes 210 triples les jonctions ont un agencement tétraédrique de sorte que chaque trajet d'écoulement ait de nombreux coude. Selon encore un autre aspect, les passages de liquide peuvent être formés comme un ensemble de spirales imbriquées 310 comme le montre la [Fig.8]. Le procédé 400 permet à ces structures géométriquement complexes d'être formées avec une épaisseur de paroi, un lissage de surface, une faible porosité et peu de défauts, qui sont avantageux, et sans que des liaisons d'étanchéité individuelles ou un assemblage de parties par soudure ou brasage ne soient utiles. Les collecteurs 102, 104 sont joints aux tubes 110, 210, 310 de conduites de liquide in situ durant l'électrodéposition, réduisant les possibilités de défauts d'étanchéité ou les occasions de défaillances.
- [0069] Les avantages associés à la description ci-dessus comprennent, mais ne sont pas limités à, la géométrie complexe et la configuration entrelacée de tubes qui augmentent le transfert de chaleur, réduisent la traînée de liquide ou aérodynamique, et améliorent la rigidité structurelle ou la résistance au forgeage qui empêchent la

fatigue mgacyclique. Comme l’ensemble de tubes 110 est formé d’un seul bloc avec les collecteurs, il y a moins d’occasions de points faibles dans la structure. Les parois electroformes du composant qui sont formées par le procédé décrit ci-dessus sont sensiblement plus fines que des parois de composants formées par d’autres procédés. Les parois plus fines du composant accroissent le transfert de chaleur, réduisent la tranee ou les pertes de charge, et améliorent l’intégrité structurelle du composant. En outre, le fait que le lissage des surfaces de composant soit amélioré réduit le frottement et améliore l’écoulement de liquide à travers l’article final en même temps que la tranee aérodynamique, le détachement d’écoulement ou les pertes de charge sont réduits. Les défauts de surface réduits et la porosité réduite du composant electroform améliorent la résistance et les propriétés de transfert de chaleur du composant.

- [0070] Des aspects supplémentaires de la description sont fournis par le sujet des clauses suivantes :
- [0071] Un procédé d’electroformage d’un ´changeur de chaleur, le procédé comprenant : le polissage d’une surface conductrice d’un mandrin façonné comme au moins une portion de l’échangeur de chaleur, l’electroformage de l’échangeur de chaleur sur la surface conductrice du mandrin, et le retrait du mandrin de l’échangeur de chaleur electroform.
- [0072] Le procédé selon une quelconque clause prcidente dans lequel le polissage de la surface conductrice lisse la rugosité de surface (rms) conductrice jusqu’`a moins de 32 micropouces (0,81 micromètre, Ra = 29 micropouces).
- [0073] Le procédé selon une quelconque clause prcidente dans lequel l’electroformage de l’échangeur de chaleur comprend en outre l’electroformage de l’échangeur de chaleur pour avoir une ´paisseur de paroi qui est inférieure `a 4 millièmes de pouce (0,01 centimètre).
- [0074] Le procédé selon une quelconque clause prcidente comprenant en outre l’activation de la surface conductrice pour l’electroformage.
- [0075] Le procédé selon une quelconque clause prcidente dans lequel l’activation comprend le traitement de la surface conductrice pour retirer des contaminants.
- [0076] Le procédé selon une quelconque clause prcidente dans lequel l’échangeur de chaleur electroform est traité le long de surfaces intérieures qui sont exposées lorsque le mandrin est retiré.
- [0077] Le procédé selon une quelconque clause prcidente dans lequel le traitement de l’échangeur de chaleur comprend le traitement des surfaces intérieures avec un agent d’attaque chimique.
- [0078] Le procédé selon une quelconque clause prcidente comprenant en outre la fixation d’un composant de collecteur au mandrin.

- [0079] Le procédé selon une quelconque clause précédente comprenant en outre la métallisation du mandrin pour former la surface conductrice avant le polissage de la surface conductrice.
- [0080] Le procédé selon une quelconque clause précédente comprenant en outre la formation du mandrin pour façonner jusqu'à au moins la portion de l'échangeur de chaleur avant la métallisation du mandrin.
- [0081] Un procédé d'électroformage d'un échangeur de chaleur, le procédé comprenant : le polissage d'une surface conductrice d'un mandrin façonné comme l'échangeur de chaleur, l'électroformage du composant sur la surface conductrice du mandrin, et le retrait du mandrin de l'échangeur de chaleur pour exposer une nouvelle surface du composant auparavant bordée par le mandrin, dans lequel la nouvelle surface a une rugosité de surface (rms) qui est inférieure à 32 micropouces ($Ra = 29$ micropouces) à la suite du polissage de la surface conductrice avant l'électroformage du composant.
- [0082] Le procédé selon une quelconque clause précédente dans lequel le composant a en outre une épaisseur de paroi qui est entre 3 et 4 millièmes de pouce.
- [0083] Le procédé selon une quelconque clause précédente comprenant en outre le traitement de la nouvelle surface avec un agent d'attaque chimique.
- [0084] Le procédé selon une quelconque clause précédente comprenant en outre l'activation de la surface conductrice avant l'électroformage en traitant la surface conductrice pour retirer des contaminants.
- [0085] Le procédé selon la revendication 11 dans lequel le composant est fait d'un matériau qui a une porosité qui est inférieure à 50 micropouces.
- [0086] Un procédé de formation d'un échangeur de chaleur, le procédé comprenant : la fourniture d'un mandrin amovible définissant le façonnage de l'échangeur de chaleur, le revêtement de surfaces du mandrin d'un revêtement conducteur pour définir une cathode, l'électroformage de l'échangeur de chaleur sur la cathode pour comporter des épaisseurs de paroi qui sont de 3 à 4 millièmes de pouce, le retrait du mandrin de l'échangeur de chaleur électroformé, et
- [0087] le traitement de l'échangeur de chaleur électroformé pour retirer tout revêtement conducteur restant de l'échangeur de chaleur électroformé.
- [0088] Le procédé selon une quelconque clause précédente comprenant en outre le polissage du revêtement conducteur avant l'électroformage.
- [0089] Le procédé selon une quelconque clause précédente dans lequel le polissage assure la création d'une rugosité de surface (rms) pour l'échangeur de chaleur qui est inférieure à 32 micropouces.
- [0090] Le procédé selon une quelconque clause précédente dans lequel l'électroformage comprend en outre la formation d'un échangeur de chaleur monolithique unitaire

comportant un premier collecteur, un second collecteur, et un ensemble de tubes accouplant le premier collecteur au second collecteur.

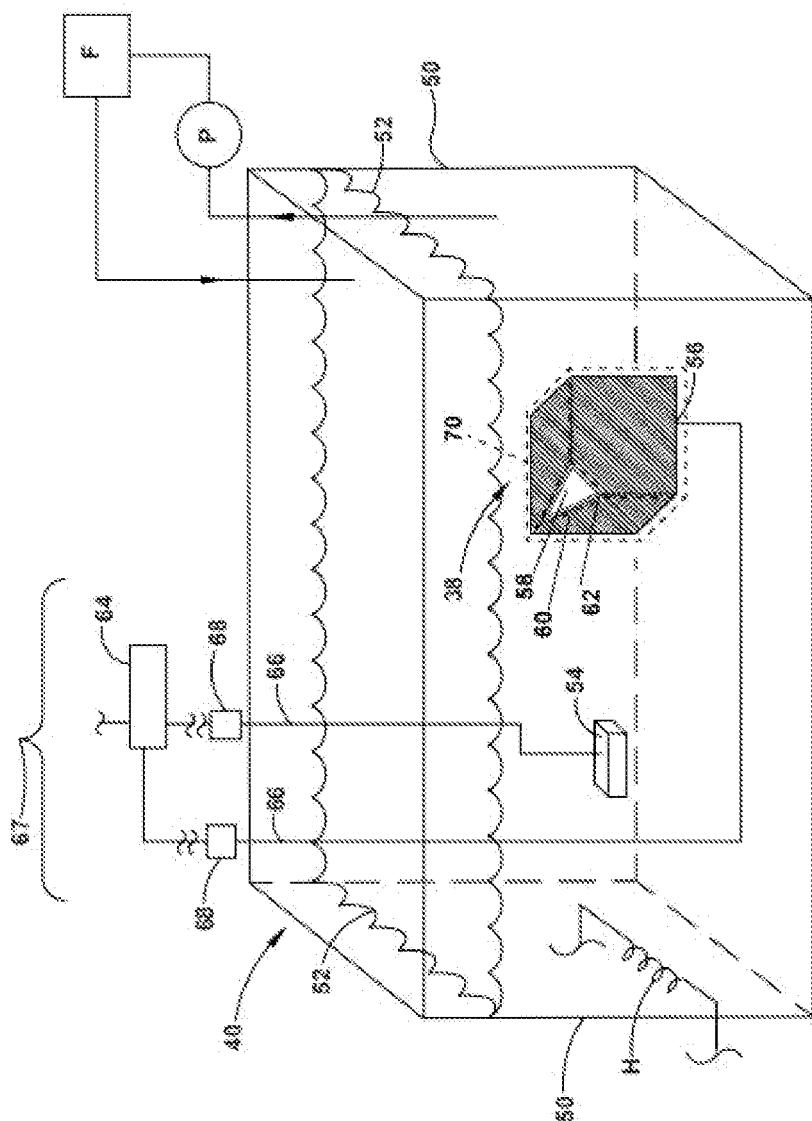
- [0091] Le procédé selon une quelconque clause précédente dans lequel le traitement du revêtement conducteur restant comprend l'utilisation d'un agent d'attaque chimique.
- [0092] Dans la mesure qui n'est pas déjà décrite, les différentes caractéristiques et structures des divers aspects peuvent être utilisées en association les unes avec les autres selon ce qui est souhaité. Qu'une caractéristique ne puisse pas être illustrée dans tous les aspects n'est pas destiné à être interprété comme l'impossibilité de le faire, mais a lieu pour la concision de la présentation. Ainsi, les diverses caractéristiques des différents aspects peuvent être mélangées et mises en correspondance selon ce qui est souhaité pour former de nouveaux exemples, que les nouveaux exemples soient expressément décrits ou non. Des combinaisons ou permutations de caractéristiques décrites ci-dessus sont couvertes par cette description. De nombreux autres modes de réalisation et configurations possibles en plus de ceux représentés dans les dessins ci-dessous sont envisagés par la présente description.
- [0093] Cette présentation rédigée utilise des exemples pour décrire des aspects de la description décrite ci-dessus, y compris le meilleur mode, et également pour permettre à l'homme du métier de mettre en pratique des aspects de la description, y compris la fabrication et l'utilisation de n'importe quels dispositifs ou systèmes et la réalisation de n'importe quels procédés incorporés. La portée brevetable d'aspects de la description est définie par les revendications, et peut comprendre d'autres exemples qui viennent à l'esprit de l'homme du métier. Ces autres exemples sont destinés à s'inscrire dans la portée des revendications s'ils comportent des éléments structurels qui ne diffèrent pas du langage littéral des revendications, ou s'ils comportent des éléments structurels équivalents présentant des différences de moindre importance par rapport au langage littéral des revendications.

Revendications

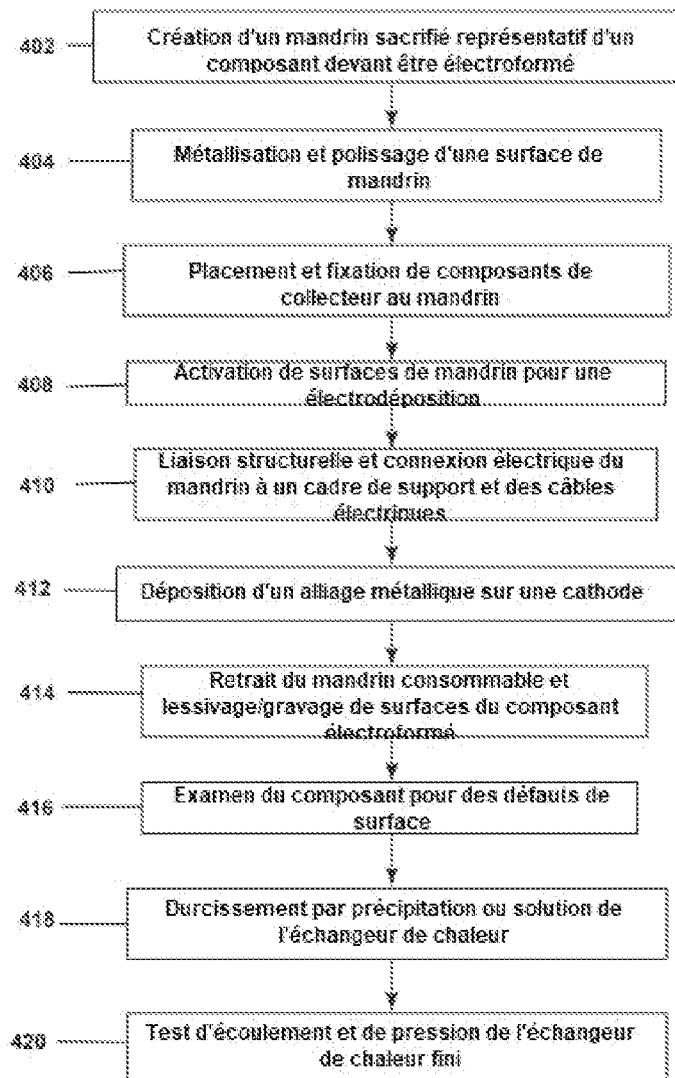
- [Revendication 1] Procédé (400) d'électroformage d'un échangeur de chaleur (100), le procédé comprenant :
le polissage (402) d'une surface conductrice (62) d'un mandrin (58) façonné comme au moins une portion de l'échangeur de chaleur (100) ;
l'électroformage (412) de l'échangeur de chaleur (100) sur la surface conductrice (62) du mandrin (58) ; et
le retrait (414) du mandrin (58) de l'échangeur de chaleur (100) électroformé ;
caractérisé en ce que l'échangeur de chaleur (100) électroformé est traité le long de surfaces (150) intérieures qui sont exposées lorsque le mandrin (58) est retiré.
- [Revendication 2] Procédé (400) selon la revendication 1 dans lequel le polissage (402) de la surface conductrice (62) lisse la rugosité de surface (rms) conductrice jusqu'à moins de 32 micropouces (0,81 micromètre).
- [Revendication 3] Procédé (400) selon la revendication 2 dans lequel l'électroformage (412) de l'échangeur de chaleur (100) comprend en outre l'électroformage de l'échangeur de chaleur (100) pour avoir une épaisseur de paroi qui est inférieure à 4 millièmes de pouce (0,01 centimètre).
- [Revendication 4] Procédé (400) selon la revendication 1 comprenant en outre l'activation (408) de la surface conductrice (62) pour l'électroformage.
- [Revendication 5] Procédé (400) selon la revendication 4 dans lequel l'activation (408) comprend le traitement de la surface conductrice (62) pour retirer des contaminants.
- [Revendication 6] Procédé (400) selon la revendication 1 dans lequel le traitement de l'échangeur de chaleur (100) comprend le traitement des surfaces (150) intérieures avec un agent d'attaque chimique.
- [Revendication 7] Procédé (400) selon la revendication 1 comprenant en outre la fixation d'un composant de collecteur (102) au mandrin (58).
- [Revendication 8] Procédé (400) selon la revendication 1 comprenant en outre la métallisation (404) du mandrin (58) pour former la surface conductrice (62) avant le polissage (404) de la surface conductrice (62).

- [Revendication 9] Procédé (400) selon la revendication 8 comprenant en outre la formation (402) du mandrin (58) pour façonner jusqu'à au moins la portion de l'échangeur de chaleur (100) avant la métallisation du mandrin (58).
- [Revendication 10] Procédé (100) d'électroformage d'un composant (38), le procédé comprenant :
le polissage (404) d'une surface conductrice (62) d'un mandrin (58) façonné comme le composant (38) ;
l'électroformage (412) du composant (38) sur la surface conductrice (62) du mandrin (58) ; et
le retrait (414) du mandrin (58) du composant (38) pour exposer une nouvelle surface (150) du composant (38) auparavant bordée par le mandrin (58) ;
dans lequel la nouvelle surface (150) a une rugosité de surface (rms) qui est inférieure à 32 micropouces à la suite du polissage (404) de la surface conductrice (62) avant l'électroformage (412) du composant (38) ;
caractérisé en ce que le composant (38) électroformé est traité le long de surfaces (150) intérieures qui sont exposées lorsque le mandrin (58) est retiré.
- [Revendication 11] Procédé (400) selon la revendication 10 dans lequel le composant (38) a en outre une épaisseur de paroi qui est entre 3 et 4 millièmes de pouce.
- [Revendication 12] Procédé (400) selon la revendication 10 comprenant en outre le traitement de la nouvelle surface (150) avec un agent d'attaque chimique.
- [Revendication 13] Procédé (400) selon la revendication 10 comprenant en outre l'activation (408) de la surface conductrice (62) avant l'électroformage (412) en traitant la surface conductrice (62) pour retirer des contaminants.
- [Revendication 14] Procédé (400) selon la revendication 10 dans lequel le composant (38) est fait d'un matériau qui a une porosité qui est inférieure à 50 micropouces.

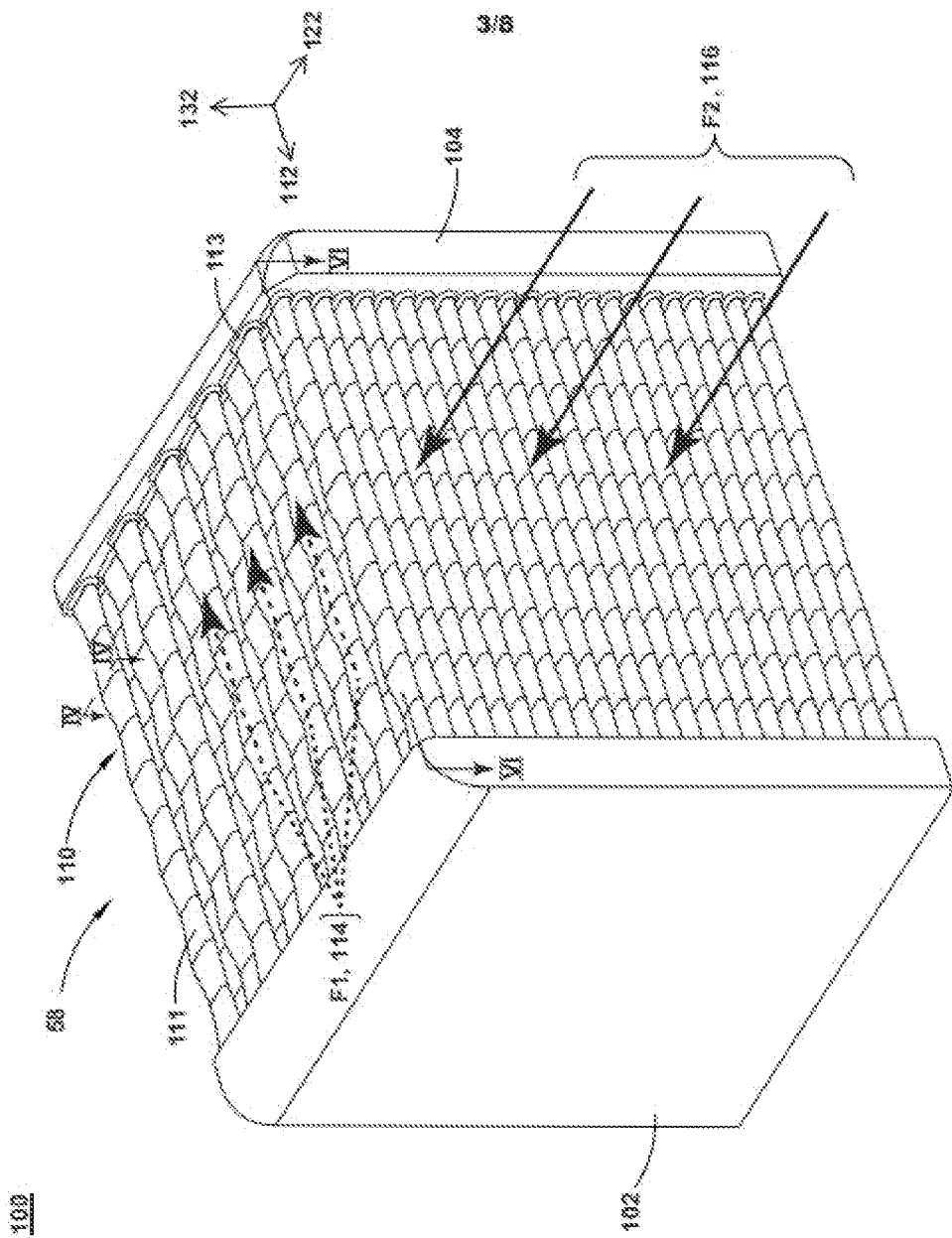
[Fig. 1]



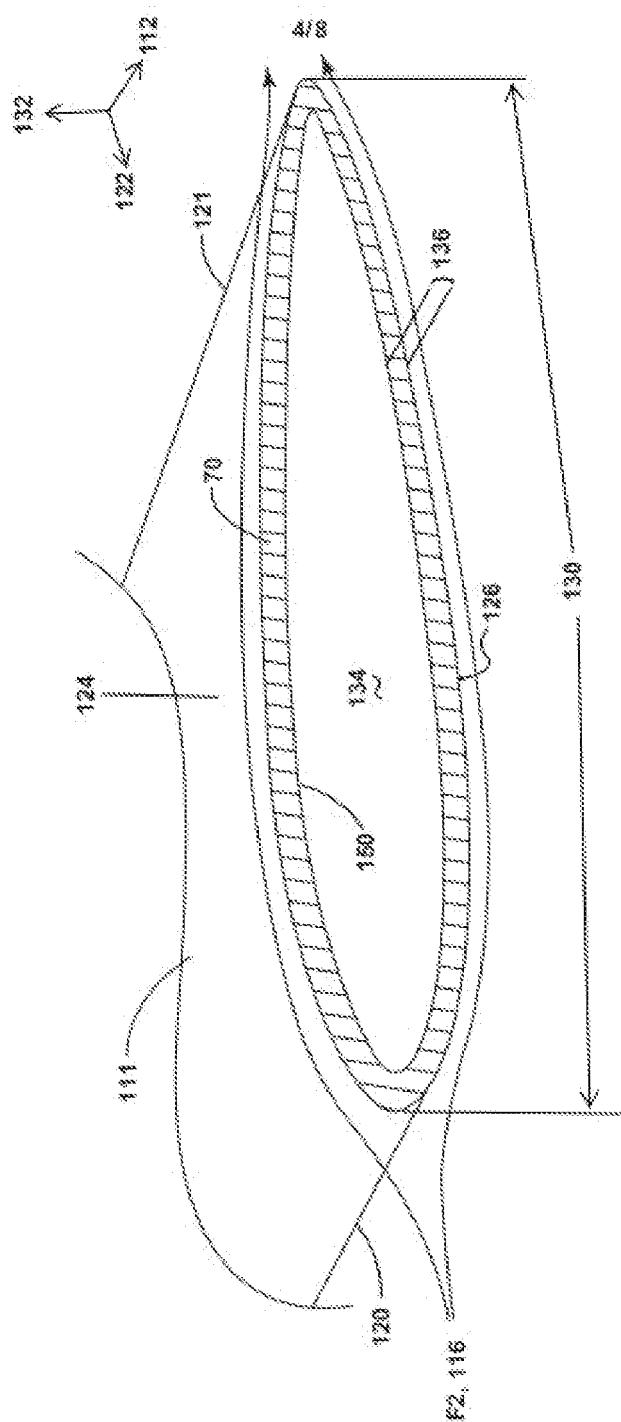
[Fig. 2]



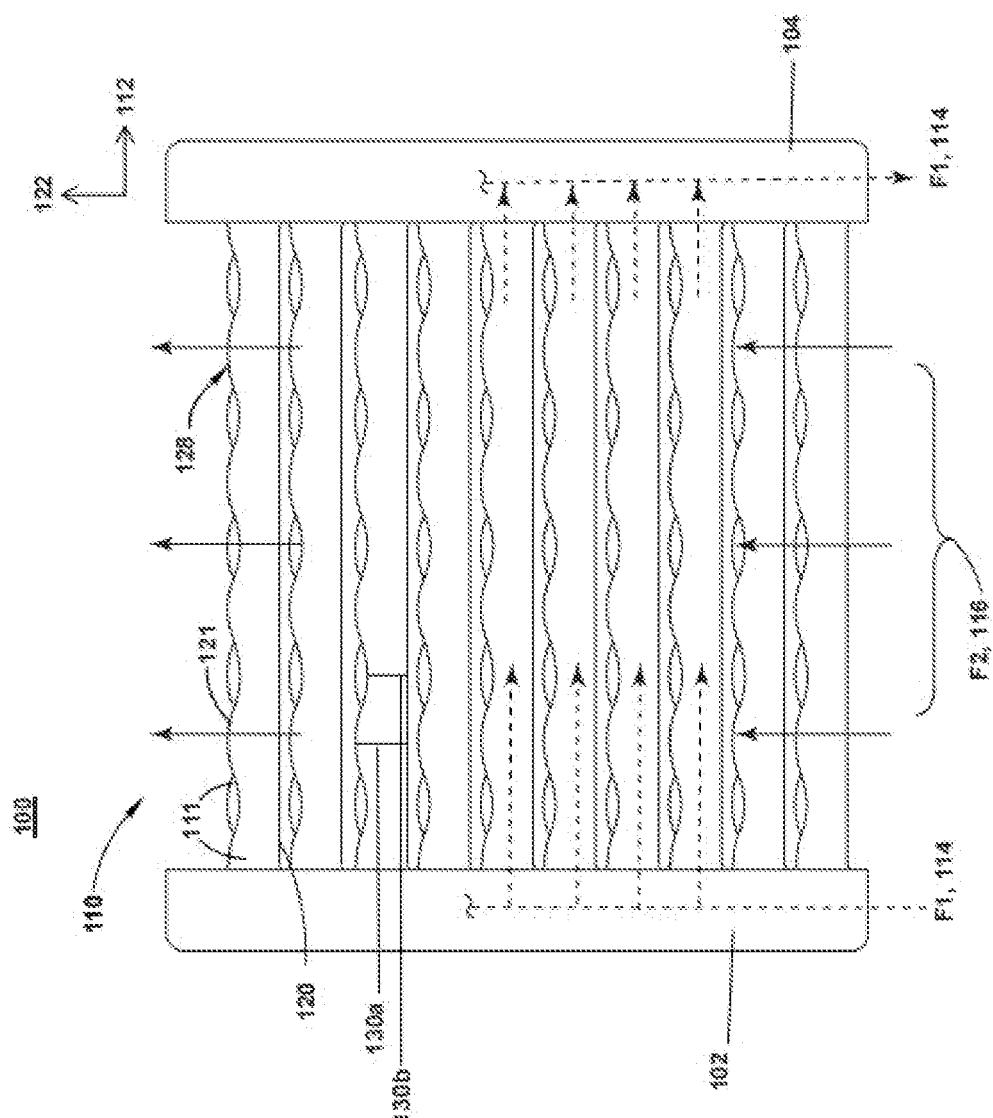
[Fig. 3]



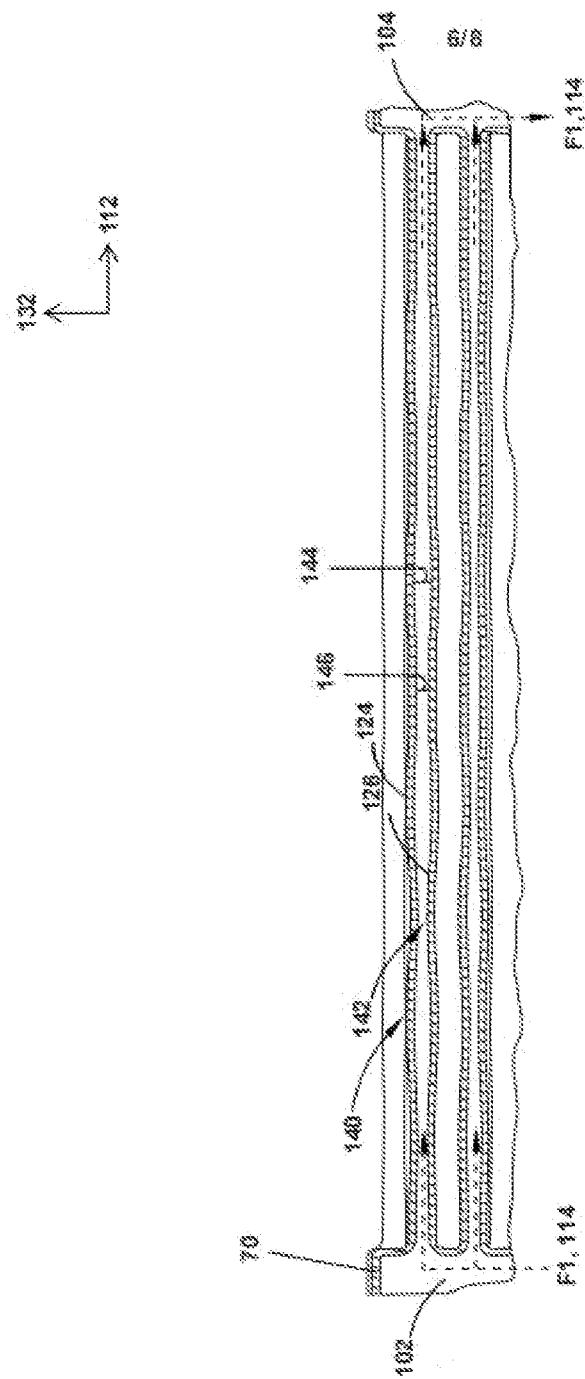
[Fig. 4]



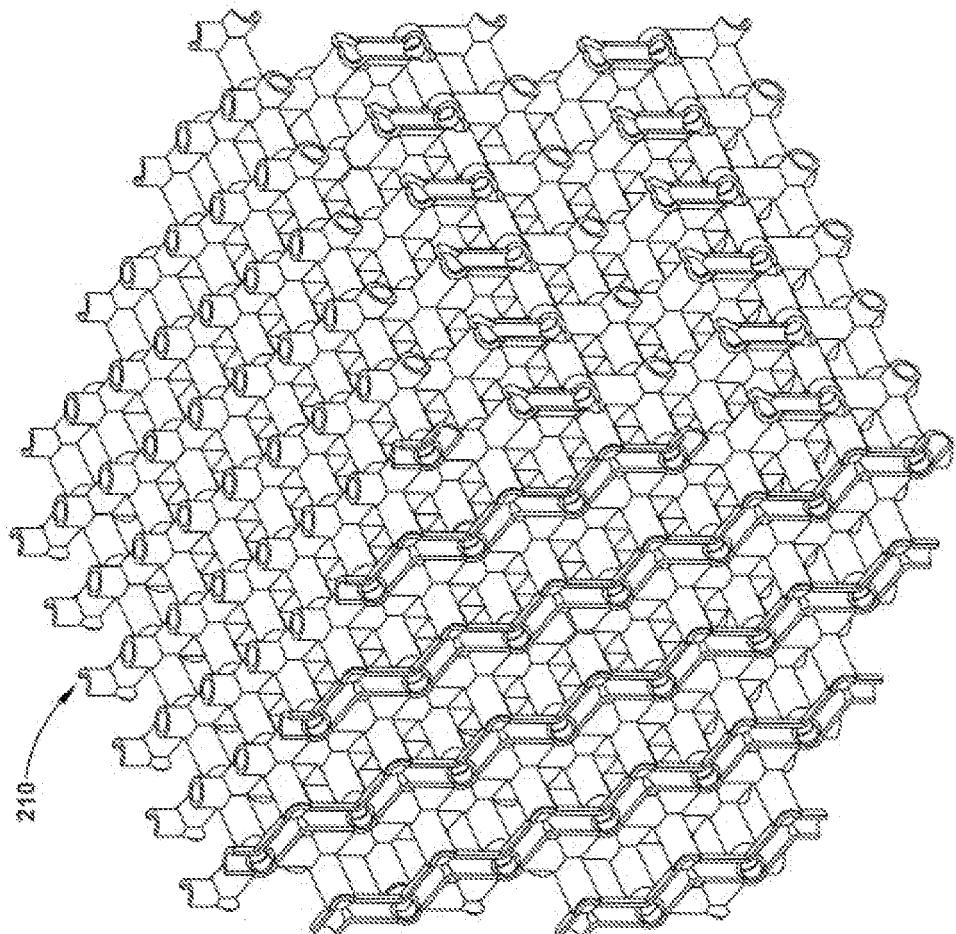
[Fig. 5]



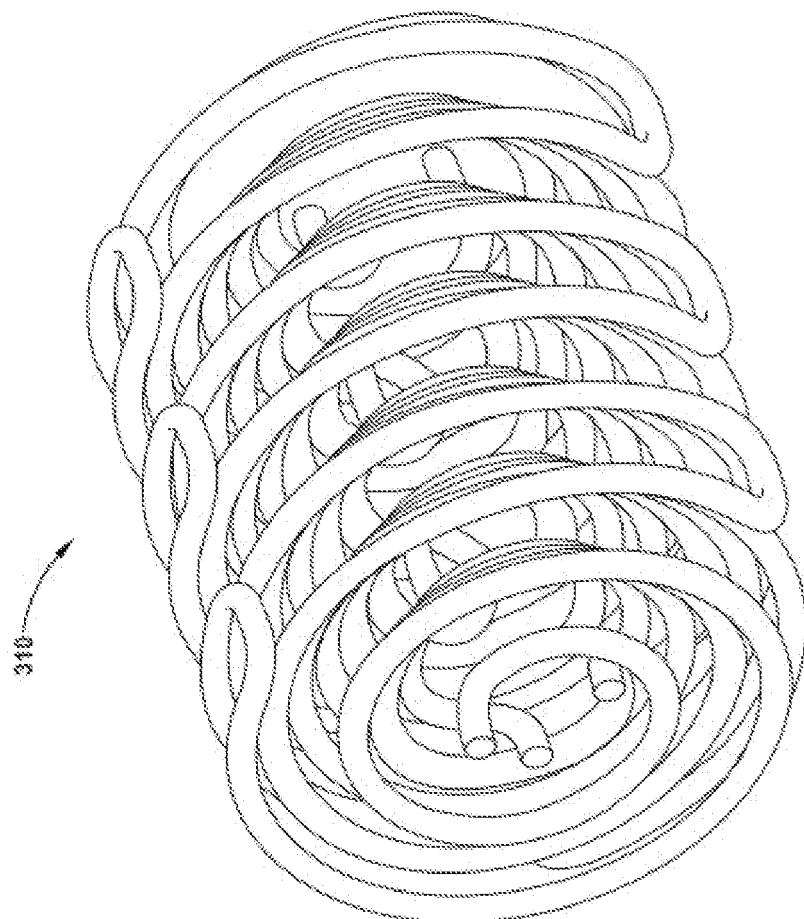
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



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.

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 2 417 555 A1 (INCO EUROP LTD [GB]) 14 septembre 1979 (1979-09-14)

EP 3 434 389 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 30 janvier 2019 (2019-01-30)

US 2014 272 458 A1 (RUAN SHIYUN [US] ET AL.) 18 septembre 2014 (2014-09-18)

EP 3 476 981 A1 (UNISON IND LLC [US]) 1 mai 2019 (2019-05-01)

EP 2 025 427 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 18 février 2009 (2009-02-18)

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

NEANT

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

NEANT