

⑤④ PROCÉDE DE FABRICATION ADDITIVE AVEC ENLEVEMENT DE MATIERE ENTRE DEUX COUCHES.

②② Date de dépôt : 08.07.16.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *MECACHROME FRANCE Société
par actions simplifiée* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 12.01.18 Bulletin 18/02.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 14.04.23 Bulletin 23/15.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : ROZENBAUM JEAN-PHILIPPE et
MARTIN OLIVIER.

⑦③ Titulaire(s) : MECACHROME FRANCE Société par
actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BENECH.



PROCEDE DE FABRICATION ADDITIVE AVEC ENLEVEMENT DE MATIERE ENTRE DEUX COUCHES

La présente invention concerne le domaine
5 technique de la fabrication additive.

On désigne classiquement par ce terme l'ensemble
des procédés permettant de fabriquer par ajout de
matière, couche par couche, un objet physique à
partir d'un objet numérique, préalablement défini.

10 Ces procédés de fabrication additive sont à
l'opposé des procédés par retrait de matière ou
soustractifs, qui permettent d'obtenir des objets
métalliques à partir de plaques épaisses ou de
cylindre creux.

15 Des objets métalliques peuvent également être
obtenus à partir de bruts ébauchés en forgeage ou de
bruts de fonderie proches des côtes.

Cependant, tous ces procédés nécessitent
l'utilisation d'une quantité de matière importante
20 par rapport à celle présente dans la pièce finale. Le
rapport correspondant peut aller jusqu'à 30 :1,
notamment dans le domaine de l'aéronautique, où il
est dénommé « Buy to Fly ratio » dans la terminologie
anglaise.

25 De plus, ils nécessitent la mise en œuvre de
moyens industriels lourds et entraînent des coûts de
réalisation très importants qui augmentent avec les
dimensions de l'objet à fabriquer.

C'est pourquoi se développent des procédés de
30 fabrication additive pour obtenir des objets
métalliques qui procèdent par apport local de métal
par exemple sous forme de poudre ou de fil, et
d'énergie par exemple sous forme d'un faisceau laser,

d'un faisceau d'électrons, d'un arc électrique ou de plasma. Ces procédés sont communément dénommés DMD (Direct Metal Deposition) dans la terminologie anglaise.

5 On peut ainsi prévoir un flux de gaz entraînant de la poudre métallique, se déplaçant au-dessus d'un support métallique avec un faisceau laser qui provoque la fusion de la poudre, laquelle se dépose dans l'état fondu sur le support lui-même légèrement
10 fondu et se solidifie sur celui-ci. Chaque déplacement des faisceaux permet de créer une couche qui se superpose aux précédentes. De façon générale, l'épaisseur de chaque couche après fusion est inférieure à la largeur du cordon déposé.

15 Ces procédés sont notamment proposés dans le domaine de l'aéronautique pour réduire la quantité de matière totale utilisée par rapport à celle de la pièce finale et réduire de façon générale les coûts de fabrication.

20 Ces procédés présentent cependant des inconvénients.

En effet, le dépôt de métal en fusion entraine de fortes contraintes lors de sa solidification et donc des déformations du support.

25 De plus, le contrôle de la fusion est difficile et la matière déposée peut, après solidification, présenter des défauts. C'est pourquoi il est nécessaire de pratiquer un contrôle non destructif de tout volume construit sur le support.

30 Enfin, on constate que les états de surface macroscopique et microscopique ne sont pas très bons du fait de la présence de gouttelettes, de ressauts

ou encore de creux et que la surface est souvent polluée.

Pour y remédier, il a été envisagé de mieux régler les différents paramètres de mise en œuvre de ces procédés, notamment la puissance de l'apport
5 énergétique, la stratégie de construction ou encore la température par l'introduction d'un refroidissement externe ou d'un préchauffage du substrat. Il a été également expérimenté différents
10 types de matériaux d'apport dont les caractéristiques ont été modifiées en ce qui concerne par exemple leur granulométrie ou morphologie pour les matériaux en poudre, ou leur dimension pour les matériaux sous forme de fil. Les procédés ont enfin été mis en œuvre
15 sous atmosphère protectrice pour éviter les pollutions de surface.

Ces modifications sont cependant d'un effet limité et entraînent des surcoûts importants notamment du fait des pertes de matière d'apport et de temps de
20 cycle relativement longs.

L'invention a pour objet de pallier ces inconvénients en proposant une solution radicalement différente et d'une grande efficacité en introduisant une ou plusieurs étapes intermédiaires de rattrapage
25 des cotes lors de la fabrication de l'ébauche.

Ainsi, l'invention concerne un procédé de fabrication additive d'une ébauche d'un objet métallique comprenant un empilement de couches superposées, à partir d'un objet numérique, ledit
30 procédé comprenant des étapes successives de réalisation d'une couche par apport de matière métallique sur un support lui-même métallique, combiné à un apport d'énergie, caractérisé en ce

qu'il comprend une étape de définition et de mémorisation d'une surface repère pour l'empilement et au moins une étape d'enlèvement de la matière réalisée à sec entre deux couches successives n et n+1 de l'empilement, cette étape consistant à enlever de la matière sur la face supérieure de la couche n pour créer une surface de référence pour le dépôt de la couche n+1, la distance entre la surface de référence et la surface repère étant sensiblement constante le long de la couche n.

Ce procédé permet ainsi de s'affranchir des déformations du support métallique et de réduire les défauts des états de surface lors de la formation de l'empilement de couches, pour assurer la qualité de l'ébauche obtenue tout en optimisant la productivité par l'utilisation de paramètres simplifiés.

De plus, l'enlèvement de matière à sec permet d'éviter toute contamination due à un lubrifiant et il est performant.

Dans des modes de réalisation avantageux, on a de plus recours à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- l'enlèvement de matière est du type cryogénique ;
- l'enlèvement de matière est réalisé avec un apport d'azote liquide ou de CO₂ ;
- au moins une couche est réalisée par apport de poudre métallique ;
- au moins une couche est réalisée par apport de fil métallique ;
- au moins une couche est réalisée par soudage d'éléments de surface discrets ;

- ladite couche présentant une épaisseur déterminée, lesdits éléments de surface discrets présentent au moins une dimension supérieure à ladite épaisseur ;

5 - ladite couche est obtenue avec des éléments soudés successivement, une étape complémentaire d'enlèvement de matière réalisée à sec étant réalisée après le soudage d'un élément, pour au moins une partie desdits éléments ;

10 - ladite couche est obtenue par soudage d'une première série d'éléments dont au moins deux sont espacés et d'une deuxième série d'éléments venant s'intercaler dans le ou les espaces formés entre les éléments de la première série, une étape
15 complémentaire d'enlèvement de matière réalisée à sec étant prévue dans ledit ou lesdits espaces, entre le soudage de la première série et celui de la deuxième série ;

- le soudage est réalisé sans fusion ;

20 - lesdits éléments et ledit support proviennent de la même pièce ;

- la surface repère correspond à la surface du support avant toute étape d'apport de matière.

L'invention concerne également un dispositif de
25 fabrication additive d'une ébauche d'un objet métallique comprenant un empilement de couches superposées, à partir d'un objet numérique, ledit dispositif comprenant des moyens pour réaliser successivement une couche par apport de matière
30 métallique sur un support lui-même métallique, combiné à un apport d'énergie, des moyens de mémorisation d'une surface repère et des moyens pour

l'enlèvement de matière sur la face supérieure d'une couche de l'empilement.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un objet métallique à partir d'une
5 ébauche obtenue par le procédé selon l'invention, ce procédé de fabrication comprenant une étape d'usinage de cette ébauche pour obtenir cet objet métallique.

Elle concerne aussi une ébauche d'un objet métallique ainsi qu'un objet métallique obtenus par
10 les procédés selon l'invention.

En particulier, l'invention concerne un composant métallique d'un aéronef obtenu par les procédés selon l'invention, c'est-à-dire un composant de la structure de l'aéronef ou de ses moyens de
15 propulsion.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, avantages et caractéristiques de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit d'exemples non limitatifs de
20 mise en œuvre de l'invention, faite au regard des dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 comprend les figures 1A à 1E qui illustrent le dépôt successif de couches par un procédé classique de fabrication additive, avec un
25 apport de matière sous forme de poudre ou de fil métallique.

La figure 2 comprend les figures 2A à 2E qui illustrent la mise en œuvre du procédé selon l'invention sur un support plan avec un apport de
30 matière sous forme de poudre ou de fil métallique.

Les figures 3 et 4 sont des vues en perspective illustrant la mise en œuvre du procédé selon

l'invention sur un support plan avec un apport de matière sous forme d'éléments de surface discrets.

Les éléments communs aux différentes figures seront désignés par les mêmes références.

5 Il est tout d'abord fait référence à la figure 1 qui illustre schématiquement différentes étapes d'un procédé classique de fabrication additive comportant le dépôt de quatre couches successives par apport de matière métallique sur un support 1, pour obtenir un
10 empilement.

La ligne en traits pointillés 10 matérialise le plan dans lequel s'étend la face supérieure 11 du support sur laquelle une première couche va être déposée. Ce plan définit une surface repère qui est
15 mémorisée.

La figure 1B illustre le support 1 et cette première couche 12 qui est obtenue par un apport local de métal, par exemple sous forme de poudre ou de fil, et d'énergie, par exemple sous forme d'un
20 faisceau laser, d'un faisceau d'électrons ou de plasma. Il en est de même des différentes couches qui vont être décrites.

Dans tous les cas, le métal est déposé sur le support 1 alors qu'il est en fusion, ce qui entraîne
25 une déformation du support.

La figure 1B montre ainsi que la face supérieure 11 du support 1 présente une forme concave, dont la concavité est tournée vers la première couche 12, la hauteur maximale entre la face supérieure 11 et le
30 plan 10 étant identifiée par la hauteur h_1 .

La première couche 12 épouse la géométrie du support 1 et présente donc également une forme

légèrement concave dont la concavité est tournée à l'opposé du support 1.

La figure 1C illustre l'étape suivante dans laquelle une deuxième couche 13 est formée sur la face supérieure 120 de la première couche 12, c'est-à-dire la face opposée au support.

La figure 1C montre que, lors du dépôt de la deuxième couche, la déformation du support 1 et de la première couche 11 est amplifiée du fait de la chaleur apportée, la hauteur maximale h_2 entre la face supérieure 11 du support et le plan 10 étant supérieure à h_1 .

La deuxième couche 13 épouse, là encore, la géométrie de la première couche 12 et présente une concavité plus accentuée que la première couche illustrée à la figure 1B.

La figure 1D illustre l'étape suivante du dépôt de la troisième couche 14 sur la face supérieure 130 de la deuxième couche 13, opposée au support 1.

Là encore, la déformation du support 1 s'accroît, la hauteur maximale h_3 entre sa face supérieure 11 et le plan 10 étant supérieure à la hauteur h_2 . De même, s'accroît la concavité de la troisième couche 14 qui épouse la géométrie de la deuxième couche 13.

Enfin, la figure 1E illustre le dépôt d'une quatrième couche 15 sur la face supérieure 140 de la troisième couche 14.

L'apport de cette quatrième couche amplifie la déformation du support et des couches déjà déposées, du fait de l'apport de chaleur lors de la formation de cette quatrième couche.

La figure 1E montre que la concavité du support 1 s'accroît, la hauteur h_4 entre la face supérieure 11 du support et le plan 10 étant supérieure à h_3 .

La quatrième couche 15 épouse la géométrie de la troisième couche 14.

En pratique, la déformation de l'ensemble obtenu peut atteindre plusieurs millimètres et nécessite alors une reprise mécanique. De plus, pour obtenir la géométrie souhaitée, il est nécessaire de déposer de la matière en excès.

Il est maintenant fait référence aux figures 2A à 2E qui illustrent un exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention.

La figure 2A est identique à la figure 1A.

Cette figure 2A illustre une première étape du procédé dans laquelle est définie et mémorisée une surface repère pour l'empilement.

Cette surface repère consiste ici en la face supérieure 11 du support 1, avant tout dépôt de couche métallique et elle est matérialisée par la ligne en traits pointillés 10.

La figure 2B est similaire à la figure 1B et illustre le dépôt d'une première couche 21 sur la face supérieure 11 du support.

Cette première couche 21 est réalisée par apport local de métal, par exemple sous forme de poudre ou de fil, et d'énergie, par exemple sous forme d'un faisceau laser, d'un faisceau d'électrons d'un arc électrique ou de plasma.

Il en est de même pour les autres couches qui seront décrites en référence aux figures 2C à 2E.

On connaît de nombreux dispositifs capables de réaliser de telles couches métalliques. On peut

notamment citer la machine commercialisée par la société BeAM, sous la dénomination Magic 2.0 ; par la société Oerlikon Metco sous la dénomination Metco-Clad ; par la société Trumpf sous la dénomination Tru- Laser LMD ou encore par la société Sciaky sous la dénomination EBAM.

Avant le dépôt de la deuxième couche 22, la face supérieure 210 de la couche 21, face libre opposée au support, subit une étape d'enlèvement de matière, telle qu'un usinage, de façon à créer une surface de référence 211 pour le dépôt de la couche 22.

Cet enlèvement de matière est réglé de telle sorte que la distance entre cette surface de référence 211 et la surface repère 10 soit constante tout au long de la couche 21.

Cette étape d'enlèvement de matière est réalisée à sec, de façon à ne pas polluer le support.

De préférence, l'enlèvement de matière est du type assisté par un fluide cryogénique, par exemple de l'azote liquide ou du CO₂.

Du fait du refroidissement induit par cette étape d'enlèvement de matière, le dépôt de la deuxième couche 22 sur la surface de référence 211 entraîne une déformation limitée du support.

La figure 2D illustre une étape suivante du procédé, correspondant au dépôt de la troisième couche 23.

Avant le dépôt de cette troisième couche, la face supérieure 220 de la deuxième couche 22, face libre opposée au support 1, est soumise à une étape d'enlèvement de matière pour créer une surface de référence 221 sur laquelle sera déposée la troisième couche 23. Cette surface de référence 221 est définie

de telle sorte que la distance entre cette surface 221 et la surface repère représentée par la ligne 10 est constante tout au long de la deuxième couche 22.

La figure 2D illustre la troisième couche 23,
5 après son dépôt sur la surface de référence 221.

Comme indiqué précédemment, l'étape d'enlèvement de matière conduisant à l'obtention de la surface de référence 221 est, de préférence, assistée par un fluide du type cryogénique. Ainsi, le dépôt de la
10 troisième couche 23 génère peu de déformation des première et deuxième couches 21 et 22, du fait du refroidissement induit.

La figure 2E illustre le dépôt d'une quatrième couche 24 sur la troisième couche 23.

15 Comme précédemment, ce dépôt n'intervient pas sur la face supérieure 230 de la couche 23, c'est-à-dire la face libre de la couche 23 opposée au support 1.

Là encore, une étape d'enlèvement de matière est prévue pour créer une surface de référence 231, sur
20 laquelle sera déposée la quatrième couche 24.

Cette surface de référence est obtenue par une étape d'enlèvement de matière, de préférence assistée par un fluide cryogénique.

De ce fait, le dépôt de la quatrième couche 24
25 entraîne peu de déformation des couches inférieures, grâce au refroidissement induit lors de la réalisation de la surface de référence 231.

La figure 2E illustre l'empilement obtenu. Il apparaît que la face libre 240 de la quatrième couche
30 24, opposée au support 1, est sensiblement parallèle à la surface repère matérialisée par la ligne 10.

On comprend donc qu'un empilement de couches, obtenu par le procédé selon l'invention ne nécessite

pas une reprise mécanique importante, contrairement à l'empilement de couches illustré à la figure 1E et obtenu avec un procédé classique. Par ailleurs, il n'est pas utile de déposer de la matière en excès
5 pour obtenir un empilement présentant la géométrie souhaitée.

L'invention n'est cependant pas limitée au mode de réalisation qui a été décrit.

En particulier, une étape d'enlèvement de matière
10 n'intervient pas systématiquement entre deux couches successives de l'empilement.

En pratique, le procédé peut consister, après chaque dépôt d'une couche, à mesurer avec un capteur la distance entre la face libre, opposée au support, de la dernière couche de l'empilement et la surface repère 10. Lorsque cette distance est supérieure à une valeur seuil, préalablement identifiée, l'étape d'enlèvement de matière est alors mise en œuvre pour réaliser une surface de référence.
15

Une autre solution consiste à modéliser le comportement de l'empilement lors de sa réalisation, en fonction par exemple de l'épaisseur du substrat, de l'apport énergétique ou encore des matériaux utilisés. Cette modélisation permet de connaître par
20 avance les déformations induites lors du dépôt des couches successives et donc de prévoir entre quelles étapes de formation des couches une étape de prélèvement de matière devra être réalisée pour former une surface de référence.

Cette étape d'enlèvement de matière peut consister
30 en un usinage, une rectification ou une découpe laser et être réalisée par des dispositifs classiques.

On peut notamment citer des machines commercialisées par la société Mazak sous la dénomination commerciale HV800, par la société Fives sous la dénomination Flexiiax. On peut également citer
5 une machine de tournage commercialisée par la société Mazak sous la dénomination A 16, ou une machine de tournage et fraisage également commercialisée par la société Mazak, sous la dénomination Integrex 1550 RAM.

10 De plus, il convient de noter que la surface de référence n'est pas nécessairement plane, comme dans l'exemple de mise en œuvre du procédé illustré à la figure 2.

En effet, le substrat peut être plan mais
15 également cylindrique ou encore présenter une forme gauche.

Par ailleurs, les étapes d'enlèvement de matière sont, de préférence, prévues de telle sorte qu'en en point donné de la couche de l'empilement sur laquelle
20 la matière est enlevée la perte de hauteur est inférieure à la hauteur de la couche en question.

Un autre procédé de réalisation d'une couche d'un empilement va maintenant être décrit en référence aux figures 3 et 4.

25 Dans ce procédé, la première couche de l'empilement réalisée sur le support 3 est formée à base d'éléments de surface discrets 4, et 4'.

Dans l'exemple illustré aux figures 3 et 4, les éléments de surface discrets 4 et 4' présentent une
30 section en forme de trapèze isocèle.

L'élément 4 est défini par deux faces 46 formant un trapèze isocèle, avec deux bases parallèles 40 et

41, la longueur L de la base 40 étant supérieure à la longueur $\underline{l}$ de la base 41.

Les deux bases 40 et 41 sont reliées par deux côtés 42 et 43 présentant la même inclinaison par rapport à la base 40 et par rapport à la base 41.

Chaque élément 4 présente une hauteur h correspondant à la distance entre les bases 40 et 41.

Chaque élément 4 présente également une épaisseur e qui est comptée entre les deux faces 46 ou encore dans un plan sensiblement perpendiculaire à celui défini par la hauteur h et la longueur L ou $\underline{l}$.

Dans l'exemple illustré sur les figures 3 et 4, la hauteur h et la longueur L ou $\underline{l}$ sont supérieures à l'épaisseur e .

De façon générale, la hauteur h des éléments 4 est supérieure à leur épaisseur e . Les éléments de surface discrets sont alors réalisés, par exemple par découpe dans une tôle métallique qui peut être constituée par le support 3 lui-même.

La figure 3 illustre une première étape du procédé dans laquelle des éléments 4 métalliques sont soudés sur le support 3, également métallique, selon un premier arc de cercle. Il s'agit d'un assemblage en T (ou en L).

Les éléments 4 sont soudés sur le support 3 par leur face 47 définie par les bases 40, c'est-à-dire selon leur grande longueur L .

Par ailleurs, ils sont espacés les uns des autres d'une distance correspondant à leur petite longueur $\underline{l}$.

Cette étape correspond à une première série d'éléments 4.

Le soudage des éléments 4 peut être réalisé par tous procédés appropriés et notamment un procédé de soudage par friction linéaire (LFW pour Linear Friction Welding dans la terminologie anglaise) ou
5 encore un procédé de frittage sous pression utilisant des plasmas à haute température (SPS pour Spark Plasma Sintering dans la terminologie anglaise).

De façon connue, un procédé de soudage par friction linéaire est un procédé de soudage en phase
10 solide, les matériaux n'étant pas portés à fusion, et qui ne nécessite pas de matériaux d'apport.

L'assemblage est réalisé en frottant l'une contre l'autre les surfaces à assembler, sous une pression contrôlée. Les avantages du soudage à l'état solide
15 sont la conservation des propriétés des matériaux ainsi que la possibilité de réaliser des assemblages entre des matériaux hétérogènes.

Cependant, le procédé de soudage par friction linéaire conduit à la formation de bavures à
20 l'interface les pièces soudées, ici entre les éléments 4 et le support 3.

De façon également connue, un procédé du type SPS est basé sur l'utilisation de plasmas à haute température, momentanément générés entre des
25 particules de poudre, par une décharge électrique. Les vitesses de chauffe et de refroidissement sont élevées et le maintien en température est généralement court. La densification du matériau peut donc se faire à une température relativement basse,
30 ce qui permet de qualifier ce procédé de procédé de soudage sans fusion.

Il présente donc les mêmes avantages que les procédés de soudage sans fusion. Par rapport à un

procédé du type LFW, il présente l'avantage supplémentaire d'éviter le refoulement de matière au niveau de l'interface entre deux pièces soudées et donc la constitution de bavures.

5 Une fois les éléments 4 soudés sur le support 3, comme illustré à la figure 1, l'étape suivante du procédé consiste en un enlèvement de matière, tel qu'un usinage, sur les éléments 4. L'enlèvement de matière peut également être réalisé par rectification
10 ou par découpe laser.

Cette étape d'enlèvement de matière est réalisée à sec. Elle peut notamment être assistée par un fluide cryogénique, c'est-à-dire avec un apport d'azote liquide ou encore de CO₂.

15 Cette étape d'enlèvement de matière a pour objet d'enlever les bavures pouvant résulter de l'étape précédente de soudage et, de façon générale, de préparer les faces latérales 44 et 45 des éléments 1 déjà soudés qui vont se trouver en contact avec
20 d'autres éléments qui seront ultérieurement soudés sur le support.

Dans le procédé illustré aux figures 3 et 4, au moins les faces 44 et 45 en regard de deux éléments 4 successifs de la première série d'éléments soudés sur
25 le support seront usinées. De même, le support 3 sera soumis à une étape d'enlèvement de matière, tel qu'un usinage, entre deux éléments 1 successifs de cette première série et selon une direction sensiblement perpendiculaire à celle dans laquelle s'étendent ces
30 éléments 4. Cette étape permettra le passage de la matière qui s'échappera de l'interface entre les éléments 4' soudés ensuite et le support 3.

La figure 4 illustre l'étape suivante du procédé, dans lequel est soudée une deuxième série d'éléments 4' qui viennent s'intercaler dans les espaces formés entre les éléments 4 de la première série, illustrés à la figure 3. Ceci est rendu possible par le fait que tous les éléments 4, 4' présentent la même forme et que les éléments 4 sont espacés d'une longueur 1.

Ces éléments 4' sont identiques aux éléments 4 et les références concernant les éléments 4' seront les mêmes que celles concernant les éléments 4, affectées de l'indice « ' ».

La figure 4 illustre ainsi les éléments 4 de la première série et les éléments 4' de la deuxième série qui sont tous soudés sur le support 3 à l'exception d'un seul élément 4'.

La figure 4 montre que les éléments 4' sont soudés sur le support 3 par leur petite longueur 1, ou encore par leur surface 48' définie entre leurs bases 41', et sur les faces 45, 44 des éléments 1 adjacents par leurs faces 45' et 44'. Les éléments 4 et 4' sont donc disposés tête-bêche.

Les éléments 4' sont soudés à la fois sur le support et sur les éléments 4 par tout procédé de soudage approprié et, de préférence, par un procédé de soudage sans fusion, tel que décrit précédemment.

Avec cette étape du procédé, un arc de cercle complet 30 est obtenu qui forme une couche de l'empilement.

En fonction de la géométrie de l'ébauche que l'on souhaite obtenir, les couches qui seront formées sur la couche 30 obtenue seront réalisées à partir d'éléments de surface discrets ou encore par apport de poudre métallique ou de fil métallique.

Avant le dépôt d'une autre couche sur la couche 30, la face supérieure 300 de la couche 30, face libre opposée au support, subit une étape d'enlèvement de matière, tel qu'un usinage, de façon à créer une surface de référence pour le dépôt de la couche suivante. Comme expliqué précédemment, cet enlèvement de matière est réglé de telle sorte que la distance entre la surface de référence et la surface repère consistant en la face supérieure 31 du support, avant tout dépôt d'élément de surface discret, soit constante tout au long de la couche 30.

Comme expliqué précédemment, cette étape d'enlèvement de matière est réalisée à sec, de façon à ne pas polluer le support.

De préférence, cet enlèvement de matière est du type assisté par un fluide cryogénique, par exemple de l'azote liquide ou du CO₂.

La réalisation d'une couche, à partir d'éléments discrets n'est pas nécessairement obtenue par le soudage de deux séries d'éléments mais avec des éléments soudés successivement l'un après l'autre sur le support 3 ou avec des séries comportant un nombre inférieur d'éléments.

Par ailleurs, une couche peut être obtenue à partir d'éléments de surface présentant une forme différente de celle illustrée aux figures 3 et 4

Comme il va de soi et comme il résulte également de ce qui précède, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation plus particulièrement décrits. Elle en embrasse au contraire toutes les variantes.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication additive d'une ébauche
5 d'un objet métallique comprenant un empilement de
couches superposées, à partir d'un objet numérique,
ledit procédé comprenant des étapes successives de
réalisation d'une couche (21 à 24) par apport local
de matière métallique sur un support (1) lui-même
10 métallique, combiné à un apport local d'énergie,
caractérisé en ce qu'il comprend une première étape
de définition et de mémorisation d'une surface repère
(10) pour l'empilement et au moins une étape
d'enlèvement de matière réalisée à sec entre deux
15 couches successives n et n+1 de l'empilement, cette
étape consistant à enlever de la matière sur la face
supérieure de la couche n pour créer une surface de
référence pour le dépôt de la couche n+1, la distance
entre la surface de référence et la surface repère
20 étant sensiblement constante le long de la couche n.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé
en ce que l'enlèvement de matière est du type assisté
par un fluide cryogénique.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé
25 en ce que l'enlèvement de matière est réalisé avec un
apport d'azote liquide ou de CO₂.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3,
caractérisé en ce qu'au moins une couche (21 à 24)
est réalisée par apport de poudre métallique.

30 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4,
caractérisé en ce qu'au moins une couche (21 à 24)
est réalisée par apport de fil métallique.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'au moins une couche est réalisée par soudage d'éléments de surface discrets (4, 4').

5 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite couche (30) présentant une épaisseur déterminée, lesdits éléments de surface discrets présentent au moins une dimension supérieure à ladite épaisseur.

10 8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que ladite couche est obtenue avec des éléments soudés (4, 4') successivement, une étape complémentaire d'enlèvement de matière réalisée à sec étant réalisée après le soudage d'un élément, pour au moins une partie des dits éléments.

15 9. Procédé selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que ladite couche est obtenue par soudage d'une première série d'éléments (4) dont au moins deux sont espacés et d'une deuxième série d'éléments (4') venant s'intercaler dans le ou les
20 espaces formés entre les éléments de la première série, une étape complémentaire d'enlèvement de matière réalisée à sec étant prévue dans ledit ou lesdits espaces, entre le soudage de la première série et celui de la deuxième série.

25 10. Procédé selon l'une des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que l'enlèvement de matière réalisée à sec est du type assisté par un fluide cryogénique.

30 11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'enlèvement de matière réalisée est réalisé avec un apport d'azote liquide ou de CO₂.

12. Procédé selon l'une des revendications 6 à 11, caractérisé en ce que le soudage est réalisé sans fusion.

13. Procédé selon l'une des revendications 6 à 12, caractérisé en ce que lesdits éléments (4, 4') et ledit support (3) proviennent de la même pièce.

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que la surface repère correspond à la surface du support avant toute étape d'apport de matière.

15. Dispositif de fabrication additive d'une ébauche d'un objet métallique, à partir d'un objet numérique, par réalisation d'un empilement de couches superposées, ledit dispositif comprenant des moyens pour réaliser successivement une couche de l'empilement par apport local de matière métallique sur un support lui-même métallique, combiné à un apport local d'énergie, des moyens de mémorisation d'une surface repère et des moyens pour l'enlèvement de matière sur la face supérieure d'une couche de l'empilement.

16. Procédé de fabrication d'un objet métallique à partir d'une ébauche obtenue par le procédé selon l'une des revendications 1 à 14, comprenant une étape d'usinage de cette ébauche pour obtenir ledit objet métallique.

17. Ebauche d'un objet métallique obtenue par le procédé selon l'une des revendications 1 à 14, mis en œuvre avec un support cylindrique ou de forme gauche.

18. Objet métallique obtenu par le procédé selon la revendication 16 mis en œuvre avec un support cylindrique ou de forme gauche.

Fig.1A

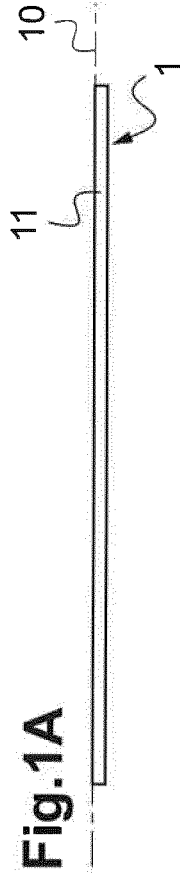


Fig.1B

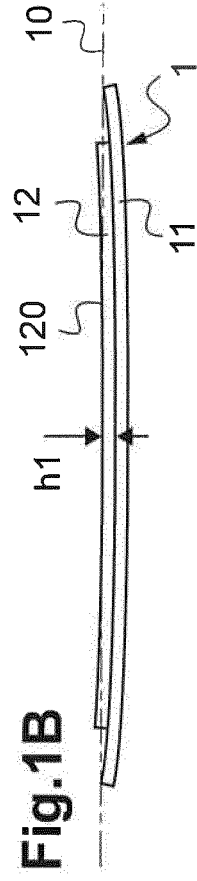


Fig.1C

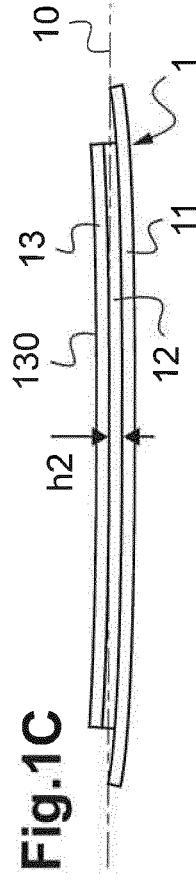


Fig.1D

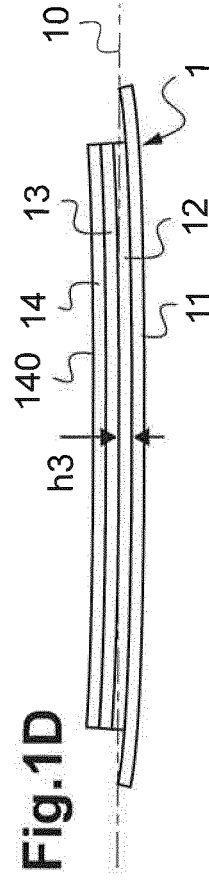


Fig.1E

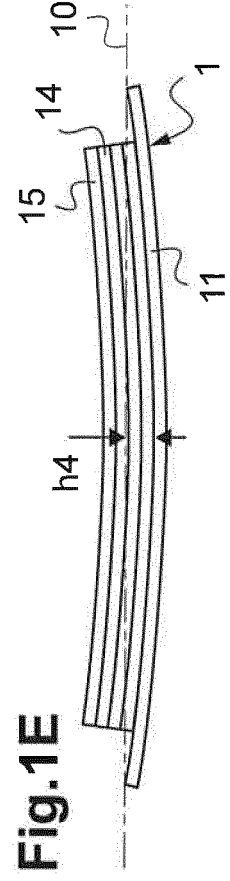


Fig.2A

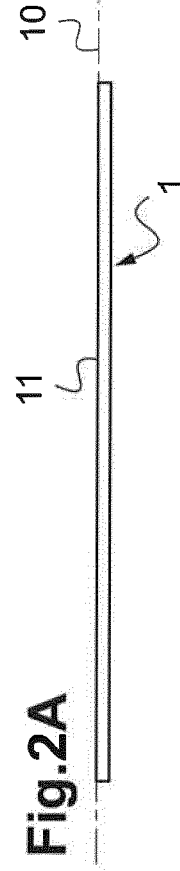


Fig.2B

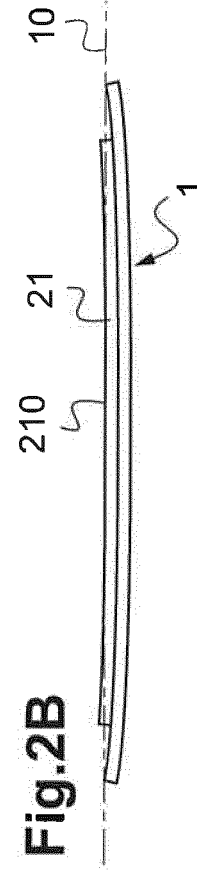


Fig.2C

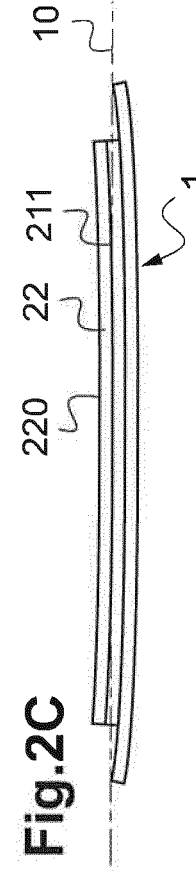


Fig.2D

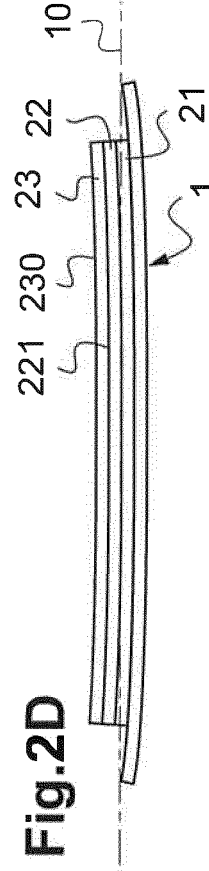


Fig.2E

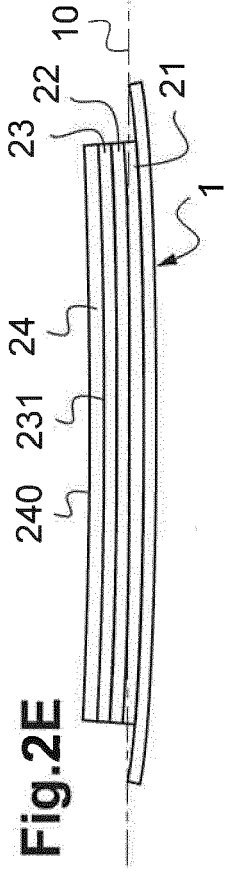


Fig.3

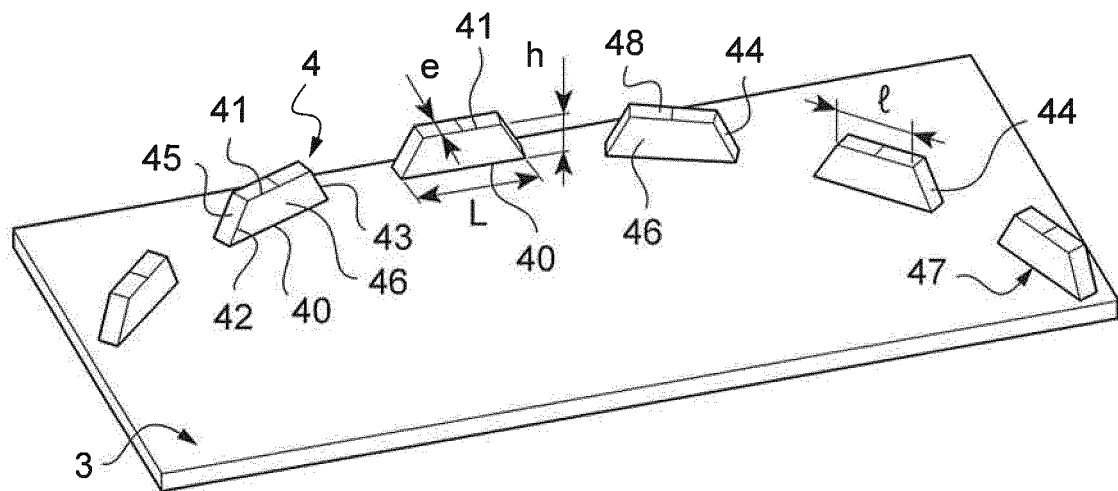


Fig.4

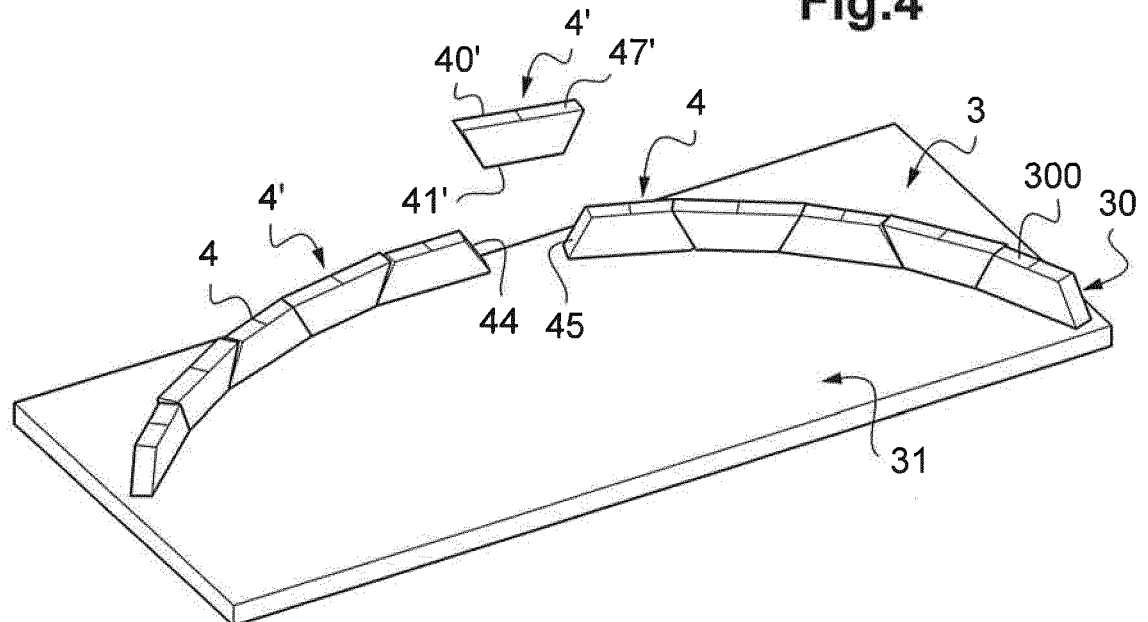
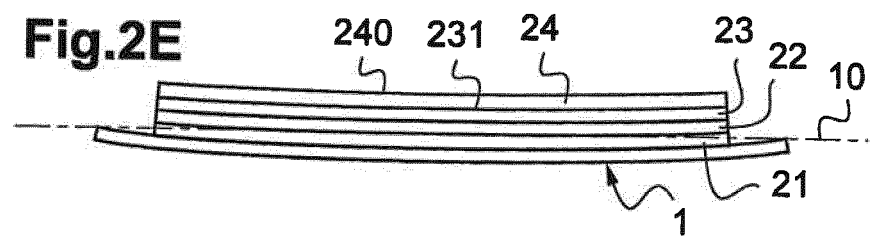


FIGURE D'ABREGE



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 (nouveau) 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

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ 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.

☒ 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

CN 104 959 603 A (GUANGZHOU OGGI3D ELECTROMECHANICAL CO LTD) 7 octobre 2015 (2015-10-07)

EP 0 529 816 A1 (PRINZ FRITZ B [US]; WEISS LEE E [US]) 3 mars 1993 (1993-03-03)

US 2010/047470 A1 (ABE SATOSHI [JP] ET AL) 25 février 2010 (2010-02-25)

US 2015/183165 A1 (ABE SATOSHI [JP] ET AL) 2 juillet 2015 (2015-07-02)

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

EP 2 837 444 A1 (BAE SYSTEMS PLC [GB]) 18 février 2015 (2015-02-18)

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

NEANT