

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 978 687**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **11 57181**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 22 F 3/24 (2013.01), C 23 C 26/00**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 **Date de dépôt** : 05.08.11.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 08.02.13 Bulletin 13/06.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire** : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

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

⑦1 **Demandeur(s)** : SNECMA Société anonyme — FR.

⑦2 **Inventeur(s)** : BAUDIMONT CYRILLE.

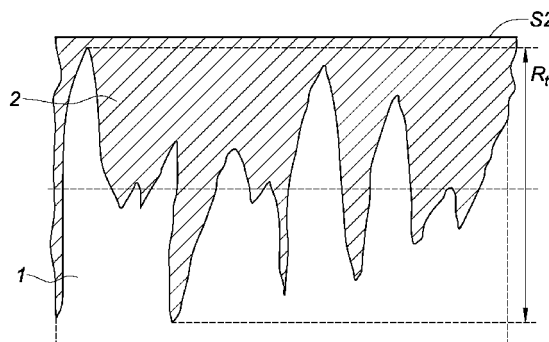
⑦3 **Titulaire(s)** : SNECMA Société anonyme.

⑦4 **Mandataire(s)** : GEVERS FRANCE Société par actions simplifiée.

⑤4 **PROCEDE DE FINITION DE PIECES REALISEES EN METALLURGIE DES POUDRES PAR DEPOT D'UN REVETEMENT.**

⑤7 Procédé de réalisation en métallurgie des poudres d'une pièce de turbomachine, ledit procédé comportant une opération de finition destinée à réduire la rugosité d'au moins une surface de ladite pièce (1), ladite rugosité étant préalablement mesurée, perpendiculairement à l'orientation de ladite surface, sur une pièce de faisabilité ayant subi le même procédé de réalisation hors ladite finition, et étant définie comme étant égale à l'amplitude (R_t) existant entre les points les plus saillants et les points les plus rentrants sur cette surface,

caractérisé en ce qu'il comprend la réalisation de ladite pièce par métallurgie des poudres avec une sous-épaisseur par rapport au positionnement recherché pour ladite surface, qui est égale à ladite amplitude, l'opération de finition comprenant une étape de dépôt d'un revêtement (2) sur une hauteur égale au moins à cette même amplitude de façon à atteindre une surface peu rugueuse (S2).



FR 2 978 687 - A1



Le domaine de la présente invention est celui de la fabrication des pièces métalliques et plus particulièrement celui du traitement de finition pour l'obtention d'un bon état de surface sur des pièces réalisées en métallurgie des poudres.

5 Des techniques existent qui permettent de réaliser des pièces dites de prototypage rapide, c'est-à-dire des pièces de forme complexe qu'il convient de réaliser en peu de temps et en série de petite quantité. Ces pièces peuvent être réalisées à partir de poudres soit par frittage soit par projection de poudres. Le frittage est un procédé par lequel les poudres sont, dans un premier temps, agglomérées par divers procédés pour
10 constituer une préforme, puis chauffée pour acquérir une certaine cohésion. Une des techniques de chauffage couramment utilisées pour la réalisation de pièces métalliques par frittage est celle dite de la fusion laser. La répétition d'un apport de poudre et de la fusion de celle-ci par le laser permet de faire épaisir progressivement la pièce et, par le choix d'un schéma approprié de balayage par le laser, d'obtenir les formes souhaitées.

15 Un des inconvénients associés à ces techniques est que les pièces produites sont très rugueuses. Des précautions particulières sont cependant prises lors de la fabrication des pièces pour minimiser leur rugosité, en fonction des exigences imposées pour l'état de surface et les dimensions de la pièce. A titre d'exemple, l'orientation de la pièce dans une fabrication par projection de poudre est choisie de façon à éviter les effondrements
20 de poudre qui pourraient provenir du fait de la gravité, ce qui augmenterait la rugosité de la pièce finale.

La rugosité moyenne obtenue se situe entre $8\mu\text{m}$ et $20\mu\text{m}$ alors que celle obtenue par des procédés classiques sont nettement plus faibles : en fonderie on obtient des valeurs proches des $3\mu\text{m}$ après un léger sablage, et en usinage on atteint entre $1\mu\text{m}$ et
25 $2\mu\text{m}$ suivant les paramètres de coupes. Ces pièces en métallurgie des poudres sont donc difficilement utilisables telles quelles pour l'industrialisation de pièces aéronautiques, qui exigent, au contraire, des rugosités de l'ordre de quelques microns, cette valeur pouvant d'ailleurs varier selon la destination prévue pour la pièce et devant notamment être inférieure à $3\mu\text{m}$ pour des profils aérodynamiques.

30 Dans l'art antérieur les pièces obtenues à partir de poudres doivent donc faire l'objet d'une étape de finition pour en réduire la rugosité. La technique la plus couramment employée consiste à construire une pièce de faisabilité et à mesurer, après-coup, la rugosité maximale rencontrée sur sa surface. A partir de cette mesure de la rugosité

maximale obtenue sur la pièce de faisabilité, les pièces de série sont produites avec une surépaisseur égale à cette rugosité maximale ; elles subissent ensuite des opérations de parachèvement qui consistent en des reprises mécaniques par enlèvement de copeaux sur une épaisseur égale a priori à la rugosité maximale mesurée sur la pièce de faisabilité, afin d'obtenir les critères d'état de surface recherchés.

Cette technique comporte un certain nombre d'inconvénients, tels que la nécessité d'un centre d'usinage pour effectuer cet enlèvement de copeaux avec précision. Ensuite cet enlèvement ne garantit pas que la rugosité sera au niveau recherché, notamment si, comme on peut le voir sur la figure 1, par suite d'une mauvaise estimation de la rugosité maximale, l'épaisseur enlevée n'est pas suffisante pour éliminer tous les creux qui existent sur la surface de la pièce. Il se peut également, comme on peut le voir sur la figure 2, que cet enlèvement de matière soit trop important et que la cote finale obtenue soit en dessous de la cote nominale fixée à la pièce ; celle-ci se retrouve alors en dehors des tolérances de fabrication et doit être mise au rebut.

L'ensemble des opérations à conduire et des précautions à prendre conduit à des cycles de production qui sont très consommateurs de temps et qui nécessitent des moyens et des investissements importants, ce qui va à l'encontre de l'objectif poursuivi, à savoir réaliser des pièces par construction rapide.

La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients en proposant un procédé de réalisation de pièces à construction rapide à partir de poudres métalliques, qui ne présente pas certains des inconvénients de l'art antérieur et qui, en particulier, permette d'obtenir des états de surface de grande qualité, sans investissements ou temps de réalisation importants.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de réalisation en métallurgie des poudres d'une pièce de turbomachine, ledit procédé comportant une opération de finition destinée à réduire la rugosité d'au moins une surface de ladite pièce, ladite rugosité étant préalablement mesurée, perpendiculairement à l'orientation de ladite surface, sur une pièce de faisabilité ayant subi le même procédé de réalisation hors ladite finition, et étant définie comme étant égale à l'amplitude R_t existant entre les points les plus saillants et les points les plus rentrants sur cette surface, caractérisé en ce qu'il comprend la réalisation de ladite pièce par métallurgie des poudres avec une sous-

épaisseur par rapport au positionnement recherché pour ladite surface, qui est égale à ladite amplitude, l'opération de finition comprenant une étape de dépôt d'un revêtement sur une hauteur égale au moins à cette même amplitude.

5 Le dépôt d'un revêtement permet d'obtenir des surfaces à faible rugosité, sans risquer les problèmes d'insuffisance d'enlèvement de matière ou de dépassement des cotes lors d'un usinage.

Avantageusement le revêtement est déposé sur une épaisseur juste suffisante pour faire disparaître toute trace des points les plus saillants sur la surface avant finition. On est ainsi sûr que la rugosité sera minimale, les points saillants ayant été immergés dans
10 le revêtement.

Dans un mode particulier de réalisation le revêtement est déposé par projection selon une direction qui correspond à celle de la plus grande profondeur des creux de la pièce. De façon préférentielle, le procédé étant appliqué à une pièce aérodynamique de ladite turbomachine, le revêtement est déposé par projection selon une direction qui
15 correspond à celle du flux dans lequel ladite pièce est destinée à être plongée en utilisation.

De façon plus préférentielle le revêtement est constitué par des billes de peinture epoxy, le dépôt étant suivi d'une opération de polymérisation dudit revêtement.

20 L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description explicative détaillée qui va suivre, d'un mode de réalisation de l'invention donné à titre d'exemples purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés.

Sur ces dessins :

- 25 - la figure 1 est une vue en coupe de la surface d'une pièce réalisée à partir de poudres métalliques, avant et après une opération d'usinage selon l'art antérieur ;
- la figure 2 est une vue en coupe de la surface de la même pièce dans une seconde configuration, avant et après une autre opération d'usinage selon l'art antérieur;
- la figure 3 est une vue en coupe de la surface de la même pièce, lors d'une opération
30 de finition par projection d'un revêtement sous forme de billes, selon un procédé conforme à l'invention.
- la figure 4 est une vue en coupe de la surface de la figure 3, après l'opération de finition.

En se référant à la figure 1, on voit en coupe et à très fort grossissement la surface d'une pièce 1 obtenue en métallurgie des poudres, par frittage ou par projection de poudres. Cette surface présente un certain nombre de pics et de creux qui s'étendent perpendiculairement à la surface moyenne de la pièce et dont l'amplitude entre le pic le plus haut et le creux le plus profond, qui caractérise la rugosité de la surface, est égal à une valeur dite R_t .

Sur la figure 1 est également représentée la surface obtenue S1 après une reprise d'usinage pour en réduire la rugosité. Pour aboutir au résultat représenté la pièce a été préalablement réalisée avec une surépaisseur égale à la valeur de rugosité R_t , cette valeur ayant préalablement été mesurée sur une pièce de faisabilité qui est destinée à mettre au point la gamme de fabrication des pièces de série. L'usinage de finition été effectué sur une machine à commande numérique qui a été programmée pour effectuer un enlèvement d'une épaisseur de matière égale à R_t . Du fait d'une mauvaise évaluation de la rugosité sur la pièce de faisabilité, l'enlèvement de matière est insuffisant sur la pièce de série de la figure 1 et des creux subsistent sur la surface usinée. La rugosité de cette pièce reste dégradée et n'est pas conforme aux objectifs souhaités.

La figure 2 montre un deuxième exemple de résultat incorrect après l'opération d'usinage de finition de l'art antérieur. Dans ce cas la surépaisseur prise en compte lors de la fabrication de la pièce de série a été insuffisante et l'enlèvement de matière effectué par la machine à commande numérique aboutit à ce que la surface usinée S1 soit en dessous de la cote minimale C prévue pour la pièce. L'épaisseur de la pièce produite étant insuffisante celle-ci ne peut qu'être mise au rebut, avec les conséquences en perte de temps et en perte financière associées.

La figure 3 montre une étape de l'opération de finition selon l'invention, pratiquée sur une pièce de série. Celle-ci a été préalablement réalisée en métallurgie des poudres avec, cette fois-ci, une sous-épaisseur par rapport à la cote nominale, qui est égale à R_t . Au lieu d'ôter de la matière par un usinage, l'invention prévoit de déposer un revêtement dans les creux de la surface de la pièce. Dans le cas de l'étape montrée sur la figure 3, des billes 3 de peinture epoxy sont projetées contre la surface de la pièce et tendent à remplir les creux laissés par la fabrication de celle-ci en métallurgie des poudres. Cette projection est effectuée selon une direction préférentielle qui correspond à celle de la plus grande profondeur des creux de la pièce 1.

La figure 4 montre l'état final de la pièce 1 après application du revêtement 2 et la surface retouchée S2 dont la rugosité est fortement améliorée et, en tout état de cause, conforme aux attentes des concepteurs de la pièce.

5 On va maintenant décrire le déroulement du procédé selon l'invention, qui permet d'aboutir à des rugosités faibles sans risquer les problèmes de creux résiduels ou de rebuts qui ont été rencontrés dans l'art antérieur.

Le principe sur lequel se base l'invention consiste à remarquer que les surfaces à forte rugosité présentent l'avantage de former d'excellentes surfaces d'accroche pour un revêtement de finition. L'accroche d'un revêtement sur ces surfaces rugueuses va permettre de combler les creux jusqu'à niveler la surface et à aboutir à une surface retouchée S2 relativement plane. Après accroche du revêtement, qui est choisi en cohérence avec la fonction retenue pour la pièce (besoin de résistance avec une dureté donnée, de tenue à une température ou respect d'un critère maximal de rugosité...), on obtient des surfaces lissées avec des niveaux de rugosité très fins (pouvant aller, selon le type de revêtement, jusqu'à des écarts moyens arithmétiques Ra sur le profil évalué qui sont inférieurs à 0.4µm).

Les différentes étapes de réalisation du procédé selon l'invention peuvent être décrites de la façon suivante :

20 L'étape 1 consiste à choisir le revêtement en fonction des caractéristiques recherchés pour la surface de la pièce, qui sont à définir en cohérence avec la fonction prévue pour la pièce (critère de dureté, de température à supporter, d'objectif pour l'état de surface Ra...). A titre d'exemple, pour une amélioration de la rugosité du profil aérodynamique d'un aubage pour un test sur un banc à froid, on sélectionnera une peinture époxy qui polymérise à 200°C.

L'étape 2 consiste dans la construction d'une pièce de faisabilité en mettant en œuvre le procédé de construction rapide sur lit de poudre ou par projection de poudre, qui, est prévu pour la fabrication des pièces de série.

30 Au cours d'une étape 3, qui fait également partie de la gamme de fabrication des pièces de série, est pratiquée une projection de particules abrasives (par exemple, par sablage) sur l'ensemble de la pièce de faisabilité afin d'homogénéiser au maximum ses états de surface. Pour les profils aérodynamiques, c'est à dire ayant pour fonction principale d'orienter un flux gazeux, on pratique un sablage dirigé, qui consiste en une projection des particules abrasives dans la direction et le sens du flux gazeux, dans une

direction et un sens identiques à ceux définis pour le fonctionnement de la pièce lors de son utilisation.

Une quatrième étape consiste dans la mesure de la rugosité maximum R_t rencontrée sur la surface de la pièce de faisabilité. Cette valeur servira à indiquer quelle doit être l'épaisseur du revêtement 2 qui permettra de recouvrir les crêtes de rugosité de la surface de la pièce 1 et éviter que celles-ci ne dépassent de la surface retouchée S_2 , dégradant ainsi sa rugosité.

L'étape 5 consiste à modifier le modèle de définition de la pièce à réaliser en appliquant à la gamme de fabrication des pièces de série, une sous-épaisseur sur les profils de la surface de la pièce, qui est égale à la valeur R_t .

L'étape 6 consiste dans la fabrication de la pièce de série en lui appliquant la gamme modifiée, c'est-à-dire avec des sous-épaisseurs.

Puis, au cours d'une étape 7, est effectuée l'application d'un revêtement 2 sur la surface à aplanir. Un accrochage homogène est pratiqué, soit par projection en plaçant la pièce dans la direction et le sens du flux gazeux puis polymérisation, soit par trempage ou immersion dans un bain. L'opération est renouvelée jusqu'à faire disparaître de la surface toute trace du matériau initial de construction. On s'assure ainsi que les crêtes de la surface sont bien recouvertes par le revêtement 2 et que l'épaisseur de ce revêtement a bien atteint la valeur R_t . A titre d'exemple la rugosité d'un profil aérodynamique d'un aubage de test sur banc à froid peut être réduite par une projection au pistolet de petites billes de peinture époxy, dans la direction et le sens du flux aérodynamique. L'accroche homogène est obtenue par un effet magnétique et/ou une auto-saturation de la surface par un dépôt des billes dans les creux de la surface (comme explicité sur la figure 3), suivi d'une polymérisation à 200°C .

Finalement on constate que plus la rugosité est forte, plus l'accroche des billes est favorisée et donc mieux seront comblées les cavités résultant du profil d'état de la surface. Des tests en atelier ont montré qu'à partir d'une surface rugueuse, issue brute de fabrication par métallurgie des poudres avec une valeur R_t de 77 microns et dont l'écart moyen de rugosité R_a est de 11 microns, on arrive à une surface retouchée S_2 dont le R_a n'est plus que 0,08 microns.

La dernière étape, ou étape 8, du processus consiste classiquement dans un contrôle géométrique des profils de surface pour vérifier qu'ils respectent bien les tolérances définies par le couple sous-épaisseur/accroche du revêtement. Si toutefois le contrôle révélait une surépaisseur locale ou globale, une solution de réparation est possible,

7

avec une reprise par enlèvement de copeaux pour les fortes épaisseurs (> 0.1mm) ou une reprise par abrasion ou polissage pour les faibles épaisseurs (< 0.1mm).

- 5 L'apport de l'invention consiste à utiliser la dégradation de l'état de surface qui a été subie lors de la fabrication par la métallurgie des poudres pour bénéficier d'une accroche par un revêtement de grande qualité, quel que soit le besoin en faible rugosité nécessité pour le fonctionnement de la pièce dans son environnement. L'invention se distingue en ce qu'elle définit un lien entre l'amplitude de la rugosité R_t et la sous-
- 10 épaisseur à donner à la surface en question lors de sa réalisation en métallurgie des poudres. Elle préconise également, pour les surfaces à fonction aérodynamique, que les opérations de dépôt du revêtement soient effectués selon la direction et le sens du flux gazeux auquel les surfaces en question seront soumises au cours de leur utilisation.

15

REVENDEICATIONS

- 5 1. Procédé de réalisation en métallurgie des poudres d'une pièce de turbomachine, ledit procédé comportant une opération de finition destinée à réduire la rugosité d'au moins une surface de ladite pièce (1), ladite rugosité étant préalablement mesurée, perpendiculairement à l'orientation de ladite surface, sur une pièce de faisabilité ayant subi le même procédé de réalisation hors ladite finition, et étant définie
10 comme étant égale à l'amplitude (Rt) existant entre les points les plus saillants et les points les plus rentrants sur cette surface,
caractérisé en ce qu'il comprend la réalisation de ladite pièce par métallurgie des poudres avec une sous-épaisseur par rapport au positionnement recherché pour ladite surface, qui est égale à ladite amplitude, l'opération de finition comprenant une étape
15 de dépôt d'un revêtement (2) sur une hauteur égale au moins à cette même amplitude.
2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel le revêtement (2) est déposé sur une épaisseur juste suffisante pour faire disparaître toute trace des points les plus saillants sur la surface avant finition.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2 dans lequel le revêtement est
20 déposé par projection selon une direction qui correspond à celle de la plus grande profondeur des creux de la pièce (1).
4. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2 appliqué à une pièce aérodynamique de ladite turbomachine, dans lequel le revêtement est déposé par projection selon une direction qui correspond à celle du flux dans lequel ladite pièce (1)
25 est destinée à être plongée en utilisation.
5. Procédé selon l'une des revendications 3 ou 4 dans lequel le revêtement est constitué par des billes de peinture epoxy, le dépôt étant suivi d'une opération de polymérisation dudit revêtement.

1 / 2

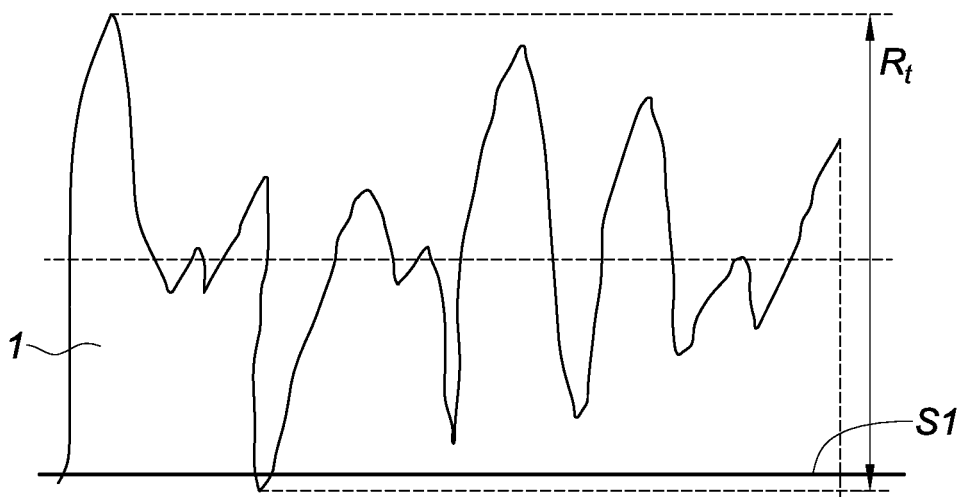


Fig. 1

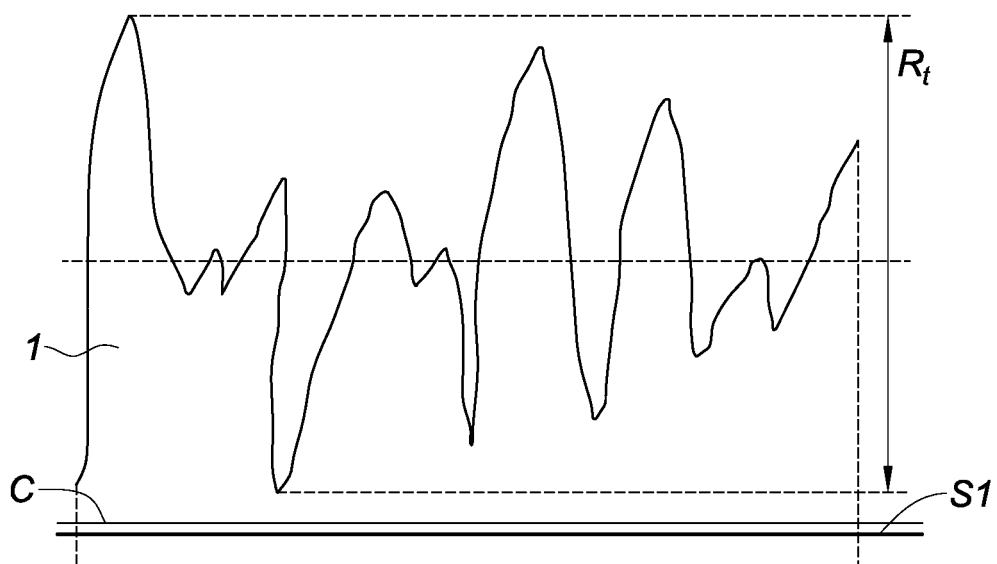
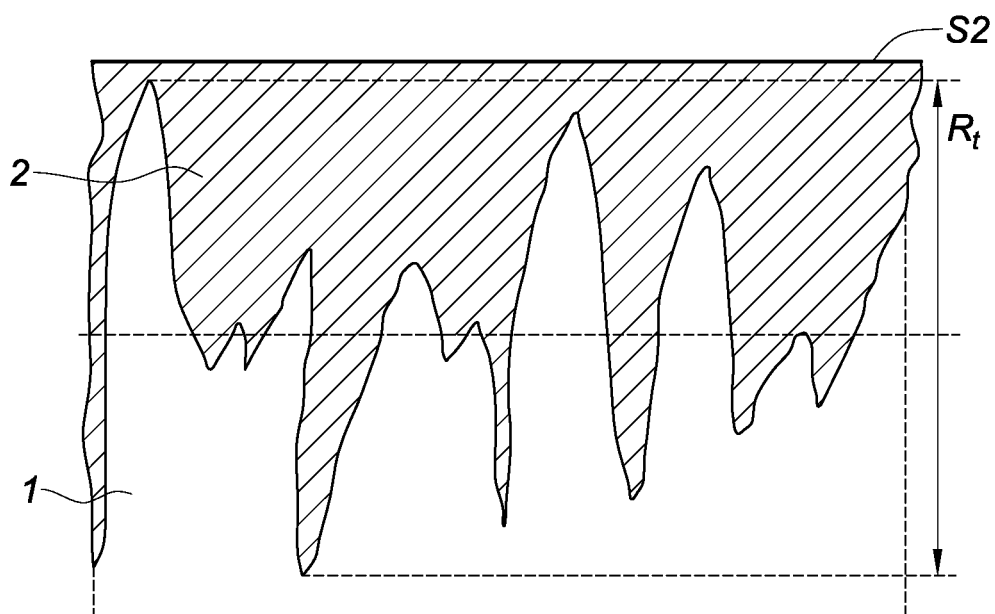
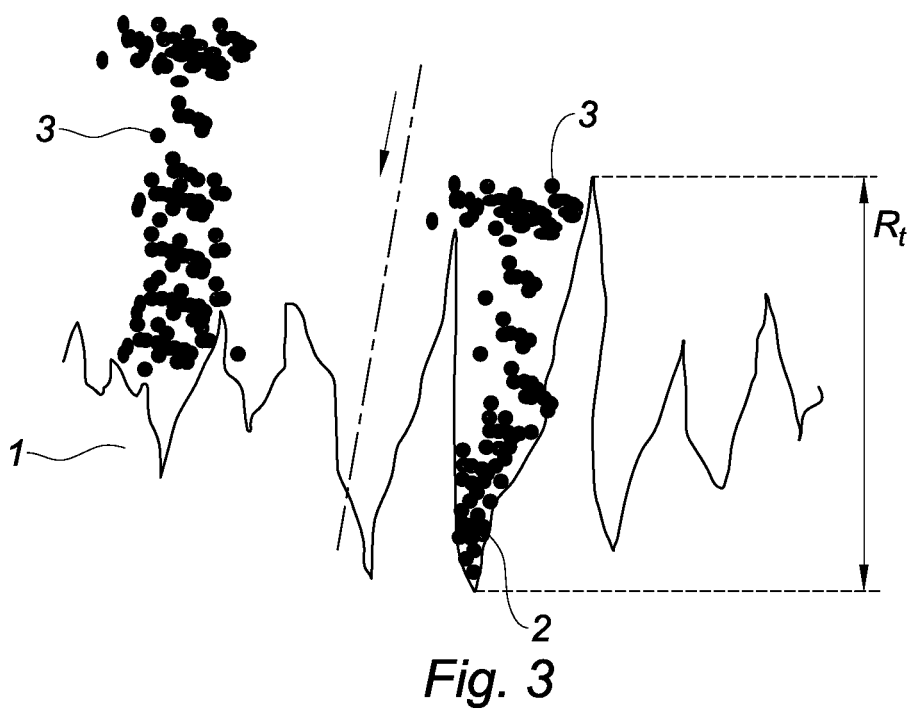


Fig. 2

2 / 2




**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications
dépôtées avant le commencement de la recherche

 N° d'enregistrement
national

 FA 754366
FR 1157181

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	DE 10 2008 047823 A1 (HITACHI POWDERED METALS [JP]) 9 avril 2009 (2009-04-09) * revendications 1-9; figures 1-5 * -----	1-5	B22F3/24 C23C26/00 DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B22F B23P
X	JP 2004 190105 A (MITSUBISHI MATERIALS CORP) 8 juillet 2004 (2004-07-08) * abrégé; figures 1-4 * -----	1-5	
X	US 2004/112172 A1 (SHIMIZU TERUO [JP] ET AL) 17 juin 2004 (2004-06-17) * alinéa [0066]; figures 1-19 * -----	1-5	
A	WO 2007/044007 A1 (STRATASYS INC [US]; ZINNIEL ROBERT L [US]; CRUMP STEVEN SCOTT [US]; BA) 19 avril 2007 (2007-04-19) * figures 1-7 * -----	1-5	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 juin 2012		Liu, Yonghe	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1157181 FA 754366**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **01-06-2012**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102008047823 A1	09-04-2009	DE 102008047823 A1 JP 2009074113 A	09-04-2009 09-04-2009
JP 2004190105 A	08-07-2004	AUCUN	
US 2004112172 A1	17-06-2004	CN 1495280 A DE 10341547 A1 JP 2004124258 A KR 20040023775 A US 2004112172 A1	12-05-2004 11-03-2004 22-04-2004 18-03-2004 17-06-2004
WO 2007044007 A1	19-04-2007	CA 2625771 A1 CN 101287574 A EP 1943051 A1 JP 2009512060 A US 2009271323 A1 WO 2007044007 A1	19-04-2007 15-10-2008 16-07-2008 19-03-2009 29-10-2009 19-04-2007