

⑬ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

⑪ N° de publication : **3 000 834**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

⑳ N° d'enregistrement national : **13 50199**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **H 01 F 41/02 (2013.01), H 01 F 7/02**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** **A1**

②② **Date de dépôt** : 10.01.13.

③① **Priorité** :

④③ **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 11.07.14 Bulletin 14/28.

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

⑥① **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

⑦① **Demandeur(s)** : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES — FR.

⑦② **Inventeur(s)** : TALLON HUBERT, REVIRAND PASCAL et SERVANT FLORENCE.

⑦③ **Titulaire(s)** : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

⑦④ **Mandataire(s)** : CABINET LAURENT ET CHARRAS.

⑤④ **PROCEDE DE FABRICATION D'AIMANTS PERMANENTS PAR CHAUFFAGE DE LA POUDRE FERROMAGNETIQUE.**

⑤⑦ Ce procédé de fabrication d'un aimant permanent à base de poudre ferromagnétique comprend les étapes suivantes :

enrobage des grains de poudre à l'aide d'un premier polymère possédant une température de fusion  $T_{f1}$  ;

mélange des grains ainsi enrobés et d'un second polymère possédant une température de fusion  $T_{f2}$  supérieure à  $T_{f1}$  ;

mise en forme du mélange ;  
chauffage du mélange mis en forme dans des conditions permettant la fonte sélective du premier polymère, avantageusement à une température supérieure à  $T_{f1}$  et inférieure à  $T_{f2}$  ;

application d'un champ magnétique sur le mélange mis en forme et chauffé ;

abaissement de la température de l'aimant permettant la solidification du premier polymère, avantageusement à une température inférieure à  $T_{f1}$ .

FR 3 000 834 - A1



**PROCEDE DE FABRICATION D'AIMANTS PERMANENTS PAR CHAUFFAGE DE LA POUDRE  
FERROMAGNETIQUE**

**DOMAINE DE L'INVENTION**

5

La présente invention se rapporte à un procédé de fabrication d'aimants permanents à base de poudres, voire d'alliages ferromagnétiques. De tels aimants constituent des aimants permanents de haute performance, c'est-à-dire présentant une induction rémanente ( $H_r$ ) et une énergie spécifique ( $BH_{max}$ ) supérieures à celles des aimants de l'art antérieur. De tels aimants trouvent de nombreuses applications dans l'industrie, notamment pour les machines tournantes électriques, telles que moteurs ou alternateurs que l'on trouve par exemple dans le domaine automobile.

Le procédé selon l'invention vise aussi bien la réalisation de plasto-aimants que d'aimants massifs frittés.

De manière caractéristique, le procédé selon l'invention prévoit l'enrobage de la poudre ferromagnétique dans un premier polymère à bas point de fusion, puis son introduction dans un second polymère, dit de structure, à plus haut point de fusion. Après mise en forme, l'ensemble est chauffé de sorte à entrainer la fonte sélective du premier polymère, puis un champ magnétique est appliqué entraînant l'alignement des grains de la poudre ferromagnétique.

**ETAT DE LA TECHNIQUE**

25

Les aimants permanents sont nécessaires pour le fonctionnement de nombreux dispositifs, par exemple dans les moteurs électriques, les rotors, les haut-parleurs, ou les supports d'enregistrement. La fabrication de ces aimants reste cependant relativement complexe et comprend de nombreuses étapes, rendant difficile la réalisation d'aimants permanents offrant d'excellentes performances, notamment une forte aimantation, ainsi qu'un champ coercitif et une induction rémanente élevés. Le champ coercitif ( $H_c$ ) correspond à l'induction magnétique qu'il faut appliquer à un aimant pour annuler son aimantation. L'induction rémanente ( $H_r$ ) correspond à la valeur de l'induction magnétique dans l'aimant immédiatement après avoir porté son aimantation à saturation. L'énergie spécifique ( $BH_{max}$ ) représente l'énergie maximum qui peut être emmagasinée dans l'aimant.

35

Un aimant permanent de haute performance se définit comme présentant notamment des valeurs élevées d'induction rémanente ( $H_r$ ) et/ou d'énergie spécifique ( $BH_{max}$ ). Lorsque celui-ci est réalisé à partir de poudres, l'alignement de l'axe (c) des grains constitutifs de la poudre contribue à l'amélioration de la performance.

5

Parmi les procédés de fabrication les plus utilisés, le moulage par injection de poudres (encore appelé procédé PIM pour l'acronyme anglo-saxon « *Powder Injection Moulding* ») est le procédé couramment employé pour réaliser des plasto-aimants ou des aimants massifs frittés. On entend par plasto-aimants des aimants composés d'un mélange entre des poudres ferromagnétiques et des substances plastiques ou polymères. Les aimants massifs frittés désignent des aimants obtenus par l'assemblage de poudres ferromagnétiques métalliques ou céramiques, qui ne renferment pas de polymères ou dont le polymère a intégralement disparu lors de l'étape de déliantage du procédé PIM.

10

15 Le procédé PIM consiste à mélanger une poudre ferromagnétique avec un liant, avantageusement un polymère, à injecter ledit mélange dans un moule permettant d'obtenir un composant de forme voulue, et éventuellement à retirer le liant lors d'une phase dite de déliantage.

20 Au cours de l'étape de mise en forme, par extrusion et sous pression, les grains d'alliages ferromagnétiques de la poudre adoptent une orientation aléatoire, non compatible avec le niveau de performances attendu pour l'aimant final. Ainsi, il est important d'orienter les grains de la poudre ferromagnétique par l'application d'un champ magnétique externe au mélange, tant que les grains sont mobiles. Cet alignement des grains doit être réalisé lorsque le mélange est à l'état liquide, avant solidification du polymère. Pendant cette phase, les grains de la poudre ferromagnétique peuvent se mouvoir et s'orienter suivant le champ appliqué dans le polymère liquide. En pratique, l'alignement des grains de la poudre ferromagnétique se fait au moment de l'introduction du mélange dans le moule, par application d'un champ magnétique.

25

30

Toutefois, cette technique présente le désavantage de dépendre de la vitesse à laquelle le polymère servant de liant se solidifie, sachant que dans les procédés d'injection, cette solidification est très rapide. Ainsi, le choix des molécules organiques servant de liant est contraint par ce paramètre. D'autre part et dans ce type de procédé, l'outillage d'orientation des grains de la poudre ferromagnétique est similaire à une bobine d'aimantation, ce qui peut donner lieu à des couplages avec les éléments métalliques utilisés pour la mise en forme du mélange, lesdits couplages perturbant le champ magnétique appliqué pour orienter les grains d'alliages ferromagnétiques.

35

Dans ce contexte et à titre d'exemple, le document US 2008/0298995 propose une solution permettant d'améliorer la qualité des aimants obtenus par PIM, aussi bien en termes de propriétés mécaniques que magnétiques, consistant à chauffer par micro-ondes le mélange poudre-liant lors de l'étape de déliantage, de manière notamment à évacuer le liant de façon homogène à la fin du procédé de fabrication de l'aimant.

Toutefois, il existe un besoin évident de développer de nouveaux procédés de fabrication d'aimants, de mise en œuvre aisée et permettant d'obtenir un aimant de haute performance.

10

### **EXPOSE DE L'INVENTION**

Le but de la présente invention est de proposer un procédé de réalisation d'aimants permanents de haute performance dérivé de la technologie PIM, dans lequel l'étape de pré-alignement des grains de la poudre ferromagnétique (permettant l'orientation des axes c des grains dans une direction unique) est dissociée de l'étape de mise en forme de l'aimant. Plus précisément, l'alignement des grains est réalisé de manière postérieure à la mise en forme de l'aimant.

20 L'invention propose ainsi de manière astucieuse d'utiliser deux polymères en guise de liant dans le procédé de fabrication d'un aimant permanent par PIM :

- le premier polymère enrobe les grains d'alliages ferromagnétiques dans des granulés ;
- le second polymère sert de structure.

25

Le premier polymère fond à une température inférieure à celle du second. En faisant fondre le premier polymère sans faire fondre le second, il est possible d'orienter les grains par l'application d'un champ magnétique sur l'aimant déjà mis en forme.

30 En particulier, l'application d'un chauffage par induction ou par micro-ondes permet l'élévation prioritaire de la température des grains de la poudre ferromagnétique, notamment s'ils sont de nature métallique, et par diffusion, la fonte sélective du polymère à bas point de fusion les enrobant.

Ainsi, la présente invention concerne un procédé de fabrication d'un aimant permanent à base de poudre ferromagnétique comprenant les étapes suivantes :

- enrobage des grains de poudre à l'aide d'un premier polymère possédant une température de fusion  $T_{f1}$  ;
- 5 • mélange des grains ainsi enrobés et d'un second polymère possédant une température de fusion  $T_{f2}$  supérieure à  $T_{f1}$  ;
- mise en forme du mélange ;
- chauffage du mélange mis en forme dans des conditions permettant la fonte sélective du premier polymère ;
- 10 • application d'un champ magnétique sur le mélange mis en forme et chauffé ;
- abaissement de la température de l'aimant permettant la solidification du premier polymère.

Le matériau à la base des aimants selon l'invention est une poudre ferromagnétique, constituée d'au moins un matériau présentant des propriétés ferromagnétiques. De manière adaptée, il s'agit de poudres inorganiques.

Le ou les matériaux présentant des propriétés ferromagnétiques sont avantageusement des métaux. De manière adaptée, il s'agit donc d'une poudre ferromagnétique métallique.

Dans le cas d'un mélange de différents matériaux, on parle alors d'alliage ferromagnétique.

Le ou les matériaux mis en œuvre sont choisis en fonction de leur température de Curie (température à laquelle la susceptibilité magnétique d'un ferromagnétique devient nulle), ainsi que le niveau d'aimantation, le champ coercitif et l'induction rémanente recherchés pour l'aimant final. A titre d'exemple, les matériaux mis en œuvre dans le cadre de la présente invention peuvent être choisis dans le groupe suivant : fer, nickel, ferrite, AlNiCo (Aluminium-Nickel-Cobalt), matériau à base de terres rares comme le NdFeB (Néodyme-Fer-Bore) ou le samarium cobalt (SmCo).

Une telle poudre est constituée de grains, chacun présentant un axe principal  $c$ . Les grains constitutifs de la poudre peuvent être de tailles différentes et de forme variable. De manière avantageuse, les grains présentent une taille comprise entre 1 et 200 micromètres de longueur selon leur axe  $c$ . De manière encore plus avantageuse, la dispersion dans la taille des grains est faible.

De manière classique, le ou les matériaux ferromagnétiques mis en œuvre se trouvent sous forme d'une poudre, avec une taille de grains compatible avec l'application envisagée. Alternativement, il peut être nécessaire de réduire le ou les matériaux à l'état de poudre, voire d'obtenir une poudre avec une taille de grains optimisée. Ceci peut être  
5 réalisé par diverses techniques telles que la pulvérisation, le broyage ou la fonctionnalisation.

La première étape du procédé selon l'invention repose sur l'utilisation d'un premier polymère caractérisé par sa température de fusion  $T_{f1}$ . Dans le cadre de l'invention, les  
10 expressions « température de fusion » et « point de fusion » sont utilisées indifféremment et correspondent à la température à laquelle le polymère passe de l'état solide à l'état liquide. Cette température de fusion  $T_{f1}$  est avantageusement inférieure à la température de Curie de la poudre ferromagnétique mise en œuvre, de sorte à conserver les propriétés d'aimantation des grains en cas d'élévation de la température  
15 au-dessus de cette température de fusion. En outre, elle est avantageusement inférieure à la température de fusion des polymères généralement utilisés en tant que polymère de structure dans la technologie PIM, en particulier inférieure à la température de fusion  $T_{f2}$  du second polymère mis en jeu dans le procédé selon l'invention.

20 Un polymère adapté est par exemple un polymère à base de paraffine ( $C_nH_{2n+2}$ ) qui possède typiquement une température de fusion comprise entre 40 °C et 50 °C, généralement de l'ordre de ou égale à 45 °C. Toutefois, tout autre polymère adapté, aisément identifié par l'homme du métier, peut être mis en œuvre.

25 L'enrobage des grains de poudre à l'aide du premier polymère consiste à déposer ledit polymère à la surface des grains de manière à réaliser une « coque » autour des grains. Un tel enrobage est avantageusement réalisé à l'aide de la technique dite d'atomisation séchage ou par fonctionnalisation et granulation.

30 Au cours de cette étape, le premier polymère est donc déposé à la surface des grains, avantageusement de chaque grain de la poudre ferromagnétique. Préférentiellement, cette répartition du premier polymère à la surface des grains se fait de manière homogène, de sorte qu'à l'issue de cette étape, les grains constituent le cœur de structures solides de type granulés sensiblement sphériques. De manière avantageuse, la  
35 taille des structures finales ou granulés est comprise entre 1 et 200 microns. En outre, la répartition volumique entre le grain et le polymère dans le granulé est avantageusement de l'ordre de ou égale à 50%.

De manière générale, l'enrobage présente des dimensions supérieures ou égales à la plus grande dimension du grain, typiquement la longueur du grain selon son axe  $c$ . Ainsi, les grains de poudre peuvent réaliser une rotation totale à l'intérieur de l'enrobage.

- 5 Dans un second temps, les grains ainsi enrobés sont mélangés avec un second polymère, destiné à jouer le rôle de polymère de structure. En pratique, le second polymère est ajouté aux grains enrobés. Ainsi, le terme « mélange » peut aussi bien s'entendre comme une simple mise en contact que comme un mélange actif, un mélange actif étant préféré. Ce second polymère ne doit donc pas être affecté par la montée en température
- 10 permettant la fonte du premier polymère en vue de l'orientation des grains de la poudre ferromagnétique.

- Ainsi et de manière appropriée, le second polymère possède une température de fusion  $T_{f2}$  légèrement supérieure, voire supérieure à la température de fusion du premier polymère ( $T_{f1}$ ). En pratique et en rapport avec l'utilisation d'un polymère à base de paraffine ayant une température de fusion de l'ordre de 45 °C, le second polymère doit donc présenter une température de fusion  $T_{f2}$  au moins légèrement supérieure à 45°C, avantageusement comprise entre 50°C et 60°C. Un polymère de type polyéthylène glycol (PEG) peut satisfaire à ce critère. Comme pour le premier polymère, tout autre
- 15 polymère adapté peut être mis en œuvre, la condition principale étant sa température de fusion  $T_{f2}$  qui se doit d'être supérieure à celle du premier polymère.

- Dans cette étape de mélange, il est nécessaire de conserver les deux polymères en présence sous forme non miscible. Avantagement, les grains enrobés à l'aide du
- 25 premier polymère sont insérés dans la matrice du second polymère.

- Pour permettre cette incorporation des grains enrobés dans la matrice, le second polymère présente avantageusement la propriété d'être soluble dans un solvant, par exemple de l'eau, qui n'est pas apte à solubiliser le premier polymère. Selon ce mode de
- 30 réalisation, le second polymère est donc solubilisé en tout ou en partie, préalablement à l'incorporation des grains enrobés qui ne sont pas affectés par le solvant en présence. A l'issue du mélange, le solvant est éliminé, avantageusement par évaporation.

- Comme mentionné ci-dessus et en combinaison avec la paraffine, le polyéthylène glycol, outre sa température de fusion compatible avec celle de la paraffine, est un
- 35 polymère de choix car il présente l'avantage d'être soluble dans l'eau, alors que la paraffine ne l'est pas.

Selon un mode de réalisation privilégié, le second polymère est donc dissous dans un solvant adapté et les grains enrobés à l'aide du premier polymère sont ajoutés. Pour garantir une répartition homogène, le mélange peut être soumis à agitation. Comme déjà mentionné, le solvant est ensuite éliminé, avantageusement par évaporation.

5

A l'issue de cette étape et selon ce mode de réalisation privilégié, on obtient donc, à l'état solide, des grains de poudre ferromagnétique enrobés à l'aide du premier polymère dans une matrice composée du second polymère.

10 De manière avantageuse et en vue de la mise en forme, le second polymère occupe entre 40% et 80% du volume total du mélange (second polymère + grains enrobés du premier polymère). Cette proportion permet d'obtenir une densité de grains suffisante pour l'aimantation recherchée, tout en permettant au second polymère de jouer son rôle structurant vis-à-vis des grains enrobés et leur permettre de pivoter pendant  
15 l'application du champ magnétique.

L'étape suivante est la mise en forme du mélange ainsi obtenu. De manière classique selon la technologie PIM, cette étape nécessite une élévation de la température du mélange qui permet de le fluidifier et donc de l'injecter pour lui conférer la forme  
20 voulue, notamment grâce à l'utilisation d'un moule. Les techniques classiques mises en œuvre à cette étape du procédé sont par exemple l'injection ou le pressage à chaud.

De manière caractéristique, la température du mélange est portée à une température supérieure à  $T_{f2}$ .

25

De manière appropriée, l'élévation de la température lors de cette étape de mise en forme est brusque et rapide, de manière à ne pas entraîner le mélange des deux polymères en présence. Avantageusement, l'élévation en température dure entre 1 et 30 secondes.

30

De manière classique à l'issue de cette étape de mise en forme, la température est abaissée à une température inférieure à  $T_{f1}$ , avantageusement à température ambiante, de sorte que le mélange redevienne solide et présente la forme souhaitée. A ce stade du procédé, les grains de la poudre ferromagnétique présentent une orientation quelconque  
35 (direction de leur axe c aléatoire) dans la matrice du second polymère.

L'étape suivante, caractéristique de l'invention, consiste à faire fondre sélectivement le premier polymère enrobant les grains, de sorte que la forme globale soit maintenue. Avantageusement, il s'agit d'élever la température du mélange mis en forme à une température entraînant la fonte du premier polymère mais pas du second polymère. De manière préférée, ce sont les grains qui sont soumis à une élévation de température, avantageusement supérieure à  $T_{f1}$  mais inférieure à  $T_{f2}$ , causant ainsi la fonte du premier polymère.

10 Cette élévation de la température peut être obtenue par chauffage par induction ou par chauffage par micro-ondes du mélange mis en forme. De manière avantageuse, ces techniques permettent de chauffer le composant par l'intermédiaire d'une élévation de la température des grains de la poudre ferromagnétique, qui entraîne la fonte sélective du premier polymère enrobant, sans causer de modification de la forme.

15 A ce stade, un champ magnétique est appliqué. Ce champ magnétique peut être appliqué simultanément au chauffage, ou une fois que le premier polymère se trouve à l'état fondu. De manière avantageuse, le chauffage est maintenu lors de l'application du champ magnétique.

20 Le champ magnétique appliqué est avantageusement un champ magnétique statique. Il s'agit avantageusement d'un champ de forte intensité, typiquement compris entre 5 et 7 Teslas. Un tel champ magnétique permet de s'assurer que les grains sont quasiment tous orientés selon la même direction et ainsi d'obtenir un aimant final présentant de bonnes performances.

25 Un champ magnétique est considéré comme adapté lorsqu'il permet l'alignement, selon la direction recherchée, de l'axe c de la majorité des grains de poudre ferromagnétique, avantageusement d'au moins 90% de ceux-ci.

30 A l'issue de cette étape d'alignement de l'axe c des grains de poudre ferromagnétique selon la direction souhaitée, il s'agit alors de figer la structure obtenue, en pratique de solidifier le premier polymère. A cette fin, la température est abaissée, avantageusement à une température inférieure à  $T_{f1}$ , avantageusement à température ambiante.

35 Le procédé selon l'invention permet donc de contrôler l'orientation et/ou l'intensité d'aimantation, et ce indépendamment de la forme de l'aimant.

A l'issue du procédé décrit, on obtient donc un aimant comprenant, de manière recherchée, des grains de poudre ferromagnétique dont les axes  $c$  sont parallèles les uns aux autres, avantageusement orientés dans la direction souhaitée. De manière caractéristique, un tel aimant ou plasto-aimant comprend des grains de poudre  
5 ferromagnétique enrobés à l'aide d'un premier polymère possédant avantageusement une température de fusion  $T_{f1}$ , dans une matrice réalisée à l'aide d'un second polymère possédant avantageusement une température de fusion  $T_{f2}$  supérieure à  $T_{f1}$ .

Un tel aimant peut être utilisé en tant que tel.

10

Alternativement, il peut être soumis à des étapes ultérieures de déliantage et éventuellement de frittage. De manière caractéristique, le déliantage permet d'éliminer les polymères en présence, à savoir aussi bien le premier polymère que le second polymère. Le frittage permet quant à lui de compacter la poudre obtenue à l'issue du  
15 déliantage.

15

La structure frittée obtenue est constituée de grains dont l'orientation est uniforme, à savoir qui présentent des axes  $c$  parallèles. Pour obtenir un aimant permanent, une nouvelle étape d'aimantation est avantageusement mise en œuvre, notamment après  
20 l'étape de frittage qui se déroule à une température supérieure à la température de Curie.

20

Un aimant obtenu dans le cadre de la présente invention est considéré comme un aimant à haute performance dans la mesure où il présente une induction rémanente ( $H_r$ ) et/ou une énergie spécifique ( $BH_{max}$ ) supérieures à celles des aimants de l'art antérieur.

25

Le procédé selon l'invention met en œuvre des dispositifs classiques des procédés de traitement des poudres.

De manière caractéristique selon l'invention, un dispositif de chauffage, notamment par  
30 induction ou par micro-ondes, permettant une élévation contrôlée de la température, est disposé en série, voire couplé à un dispositif d'application d'un champ magnétique. Selon l'art antérieur, le dispositif d'application du champ magnétique était couplé au dispositif de mise en forme, par exemple un dispositif d'injection ou de pressage à  
chaud.

35

## DESCRIPTION SOMMAIRE DES FIGURES

- L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, donnée uniquement à titre d'exemple, et réalisée en relation avec les figures annexées, dans
- 5 lesquels les mêmes références désignent des éléments identiques ou analogues et dans lesquels :
- la figure 1 est une vue en perspective schématique d'une poudre composée de grains d'alliages ferromagnétiques ;
  - la figure 2 est une vue en perspective schématique d'un ensemble de grains
  - 10 d'alliages ferromagnétiques enrobés dans des granulés de polymère ;
  - la figure 3 est une vue en perspective schématique d'un ensemble de granulés piégés dans un polymère de structure ;
  - la figure 4 est une vue en perspective schématique d'un plasto-aimant à grains ferromagnétiques d'orientation aléatoire ;
  - 15 - la figure 5 est une vue en perspective schématique d'un plasto-aimant selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
  - la figure 6 est une vue en perspective schématique d'un aimant massif fritté selon un second mode de réalisation de l'invention.
- 20 Certains éléments de ces figures ont été agrandis pour faciliter leur compréhension et peuvent par conséquent ne pas être à l'échelle.

## DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

- 25 Il va à présent être décrit un procédé de réalisation d'aimants permanents permettant d'orienter facilement les grains d'alliages ferromagnétiques constitutifs d'un aimant permanent dur, avec pour conséquence la possibilité d'imposer n'importe quelle direction à l'aimantation d'un aimant permanent et de disposer d'aimants permanents aux propriétés magnétiques accrues, grâce à un alignement des grains d'alliages
- 30 ferromagnétiques optimisé selon une seule direction parallèle à leur axe c (Figure 1).

Le procédé selon l'invention repose en partie sur la technique connue de moulage par injection de poudre (PIM).

- 35 La première étape du procédé de fabrication, dont le résultat est représenté à la figure 2, consiste à enrober les grains de la poudre d'alliages ferromagnétiques avec un premier polymère **2**, possédant une température de fusion  $T_{fl}$ . Pour réaliser cet enrobage, un dispositif tel que le Procell5<sup>®</sup> peut être utilisé. Ce dispositif permet, grâce à un procédé

d'atomisation séchage, de projeter le polymère **2** sur la poudre de grains d'alliages ferromagnétiques **1** de manière à enrober chaque grain dans un granulé sensiblement sphérique. En guise de premier polymère **2**, il est envisageable d'utiliser par exemple un polymère à base de paraffine dont la température de fusion est voisine de 45°C.

5

La seconde étape du procédé de fabrication, dont le résultat est représenté à la figure 3, consiste à obtenir un mélange injectable dans un moule. Pour y parvenir, les granulés obtenus lors de l'étape précédente sont mélangés avec un second polymère **3**, possédant une température de fusion  $T_{f2}$ , supérieure à  $T_{f1}$ , et avantageusement juste légèrement supérieure à  $T_{f1}$ . Les deux polymères à base de matériaux organiques sont non miscibles, de manière à disposer d'un mélange comprenant trois éléments distincts :

10

- des grains inorganiques d'alliages ferromagnétiques **1**,
- des granulés enrobant lesdits grains, l'enrobage des granulés étant constitué d'un premier polymère organique **2**, dit polymère de rotation, et
- un polymère de structure formé par un second polymère organique **3**.

15

Lors de cette seconde étape, il est utile de solubiliser le second polymère **3**, dit polymère de structure, avec un solvant qui n'a pas d'effet sur le premier polymère **2**. Ainsi, il est par exemple possible d'utiliser en guise de second polymère **3**, du polyéthylène glycol, et de le solubiliser avec de l'eau. On peut avantageusement solubiliser toute quantité voulue de polymère de structure **3** et y incorporer les granulés formés lors de l'étape précédente. On veille cependant à ce que le polymère de structure **3** représente entre 40% et 80% en volume du mélange final obtenu de manière à ce qu'il soit réellement structurant pour le mélange obtenu. On élimine ensuite le solvant, par exemple par évaporation, afin d'aboutir au mélange rigide représenté sur la figure 3.

20

25

Lors d'une troisième étape, dont le résultat est représenté sur la figure 4, le mélange obtenu à l'étape précédente est mis en forme dans un moule. Cette étape peut être réalisée de différentes façons, par exemple par injection ou par pressage à chaud. Les moyens utilisés pour la mise en forme reposent sur une élévation de la température jusqu'à une valeur supérieure à  $T_{f2}$ , et donc a fortiori également supérieure à  $T_{f1}$ , permettant de fluidifier pendant un bref instant le mélange. La durée de cette élévation de température est suffisamment brève pour ne pas permettre une réorganisation importante de l'agencement des grains **1** dans les granulés et des granulés dans le polymère de structure **3**. Ainsi, il n'y a pas de mélange entre les différents composants organiques. Pendant ce bref instant où la température est supérieure à  $T_{f2}$ , le mélange épouse la forme du moule et retrouve, à la fin de l'étape qui dure quelques secondes, sa température initiale. Le composant mis en forme **4** obtenu à l'issue de cette étape ne

30

35

présente pas encore une aimantation optimisée dans la mesure où les grains d'alliages ferromagnétiques **1** ont tous des orientations aléatoires.

Lors d'une quatrième étape, dont le résultat est représenté à la figure 5, les grains d'alliages ferromagnétiques sont orientés selon une seule direction imposée par un champ magnétique externe. Le champ magnétique appliqué au composant obtenu à l'issue de l'étape précédente est avantageusement un champ magnétique statique possédant une valeur comprise entre 5 et 7 Teslas.

Le principe de cette étape consiste à élever la température du composant **4**, notamment au niveau de ses grains d'alliage ferromagnétique **1**, à une température comprise entre  $T_{f1}$  et  $T_{f2}$ , de telle sorte que le premier polymère d'enrobage **2** se liquéfie sans que le polymère de structure **3** ne devienne liquide. Ainsi, les grains d'alliages ferromagnétiques **1** sont libres de se réorienter à l'intérieur du volume défini par les granules et délimité par le polymère de structure **3**. Le champ magnétique externe appliqué au composant **4** force les grains d'alliages ferromagnétiques **1** à s'orienter le long des lignes de champ et donc à s'orienter suivant une seule et même direction d'aimantation.

Le moyen utilisé pour porter la température du composant **4** de manière la plus homogène possible au-dessus de  $T_{f1}$  mais en-dessous de  $T_{f2}$  peut avantageusement être le chauffage par induction magnétique dans les grains d'alliages ferromagnétiques **1**. Alternativement, il est aussi possible de chauffer le composant **4** en appliquant un rayonnement micro-onde qui agira également sur les grains d'alliages ferromagnétiques **1**.

Ainsi, ce chauffage s'effectuant par l'intermédiaire des grains d'alliage ferromagnétiques **1**, l'élévation de température est la plus élevée précisément à l'intérieur des granules, ce qui évite davantage encore une élévation indésirable de la température du polymère de structure **3**. À l'issue de cette étape, il suffit de redescendre la température du composant **5** en cessant de le chauffer de manière à figer les grains d'alliages ferromagnétiques **1** dans leur position orientée selon un unique axe d'aimantation.

Il est possible d'utiliser le composant **5** tel quel. Le composant **5** est alors un plasto-aimant, c'est-à-dire un alliage aimant polymère.

Alternativement, il est aussi possible de procéder à l'élimination des éléments organiques, autrement dit de procéder au déliantage du premier polymère **2** et du polymère de structure **3**.

- 5 Par la suite, on procède à un frittage des poudres inorganiques qui est suivi d'une nouvelle opération d'aimantation du composant afin d'obtenir un aimant permanent massif fritté dur **6** (Figure 6).

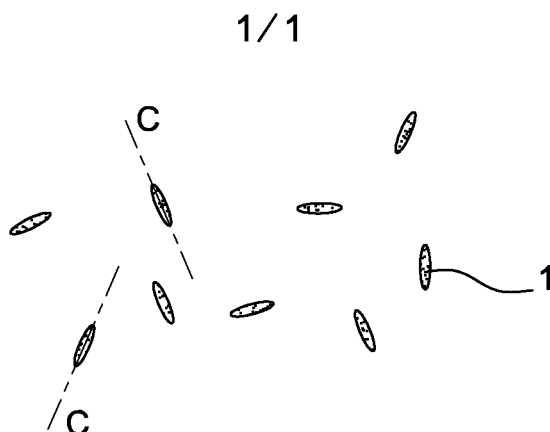
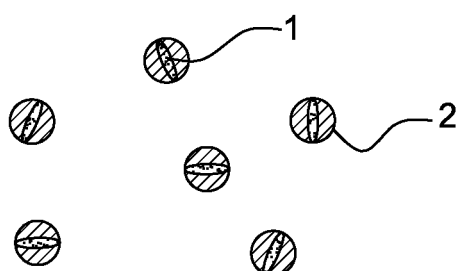
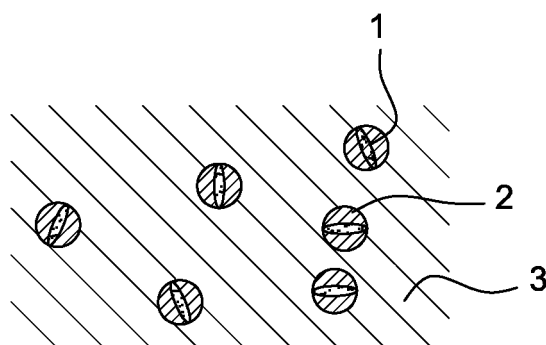
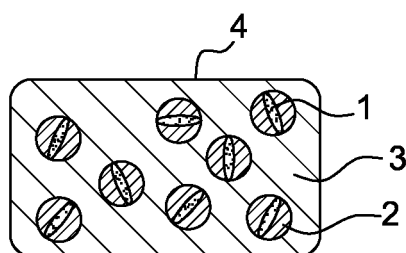
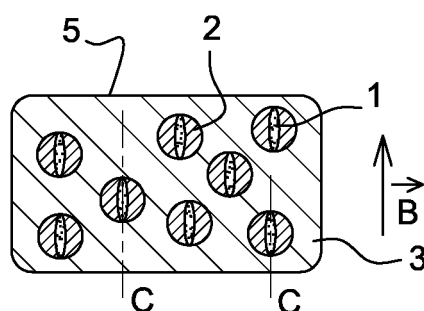
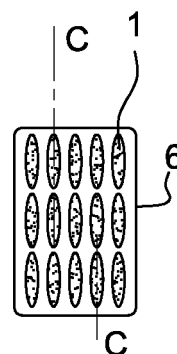
Ainsi, l'invention propose de réaliser une orientation des grains d'alliages ferromagnétiques **1** lors d'un procédé de fabrication d'aimants permanents, postérieurement à l'étape de mise en forme des aimants. Le nouveau procédé de fabrication d'aimants permanents proposé ici permet ainsi d'obtenir une excellente orientation des grains d'alliages ferromagnétiques **1** selon une seule direction, ainsi que de choisir librement l'orientation souhaitée des grains **1**, dans la mesure où l'orientation des grains **1** s'effectue postérieurement au moulage de l'aimant.

### REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un aimant permanent (5, 6) à base de poudre ferromagnétique (1) comprenant les étapes suivantes :
  - 5 • enrobage des grains de poudre (1) à l'aide d'un premier polymère (2) possédant une température de fusion  $T_{f1}$  ;
  - mélange des grains ainsi enrobés et d'un second polymère (3) possédant une température de fusion  $T_{f2}$  supérieure à  $T_{f1}$  ;
  - mise en forme du mélange ;
  - 10 • chauffage du mélange mis en forme (4) dans des conditions permettant la fonte sélective du premier polymère, avantageusement à une température supérieure à  $T_{f1}$  et inférieure à  $T_{f2}$  ;
  - application d'un champ magnétique sur le mélange mis en forme (4) et chauffé ;
  - 15 • abaissement de la température de l'aimant (5) permettant la solidification du premier polymère, avantageusement à une température inférieure à  $T_{f1}$ .
  
2. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon la revendication 1, dans lequel la poudre ferromagnétique (1) comprend au moins un matériau choisi dans  
20 le groupe suivant : fer, nickel, ferrite, AlNiCo ou matériau à base de terres rares comme le NdFeB (Néodyme-Fer-Bore) ou le samarium cobalt (SmCo).
  
3. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le premier polymère (2) est un polymère à  
25 base de paraffine, possédant avantageusement une température de fusion  $T_{f1}$  égale à 45°C.
  
4. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'enrobage des grains de poudre (1) à  
30 l'aide du premier polymère (2) est réalisé par atomisation séchage.
  
5. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le second polymère (3) possède une  
35 température de fusion  $T_{f2}$  comprise entre 50°C et 60°C, avantageusement du polyéthylène glycol.

- 5
6. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le mélange des grains enrobés et du second polymère est réalisé par introduction des grains enrobés dans le second polymère solubilisé, par exemple dans de l'eau.
7. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le second polymère (3) représente de 40 à 80% en volume du mélange.
- 10 8. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la mise en forme du mélange est réalisée par injection ou pressage à chaud.
- 15 9. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le chauffage du mélange mis en forme (4), avantageusement au niveau des grains de poudre (1), est réalisé par chauffage par induction ou par chauffage par micro-ondes.
- 20 10. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le champ magnétique appliqué est un champ magnétique statique compris entre 5 et 7 Teslas.
- 25 11. Procédé de fabrication d'un aimant permanent selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre les étapes suivantes :
- déliantage de l'aimant (5) ;
  - frittage de la poudre issue du déliantage ;
  - aimantation de l'aimant (6) ainsi obtenu.
- 30 12. Plasto-aimant (5) susceptible d'être obtenu à l'aide du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant des grains de poudre ferromagnétique (1) enrobés à l'aide d'un premier polymère (2) dans une matrice réalisée à l'aide d'un second polymère (3).
- 35 13. Plasto-aimant (5) selon la revendication 12 dont les axes c des grains (1) sont parallèles.

14. Dispositif permettant la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 11 comprenant un dispositif de chauffage par induction ou par micro-ondes couplé à un dispositif d'application de champ magnétique.

**Fig. 1****Fig. 2****Fig. 3****Fig. 4****Fig. 5****Fig. 6**



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 777450  
FR 1350199

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		
A	US 2008/251904 A1 (THEUSS HORST [DE] ET AL) 16 octobre 2008 (2008-10-16) * alinéas [0021], [0023], [0027]; figures 1a,1c *	1-14	H01F41/02 H01F7/02
A	EP 1 447 824 A1 (SUMITOMO ELECTRIC SINTERED ALY [JP]; DENSO CORP [JP]) 18 août 2004 (2004-08-18) * alinéas [0010], [0033], [0046], [0047]; figure 1 *	1-14	
A	US 5 350 558 A (KAWATO HIROSHI [JP] ET AL) 27 septembre 1994 (1994-09-27) * abrégé *	1-14	
A	WO 2009/141488 A1 (NOKIA CORP [FI]; SEPPAELAE EIRA [FI]; HEINO MARKKU [FI]; OKSANEN MARKK) 26 novembre 2009 (2009-11-26) * page 9, ligne 21 - page 10, ligne 5; figures 1a,4 * * page 5, ligne 19 - page 6, ligne 14 *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	WO 2012/159096 A2 (UNIV CALIFORNIA [US]; JIN SUNGHO [US]) 22 novembre 2012 (2012-11-22) * alinéas [0054], [0097]; figure 1e *	1-14	H01F
A	EP 0 350 781 A2 (IDEMITSU KOSAN CO [JP]) 17 janvier 1990 (1990-01-17) * abrégé * * alinéa [0023] *	1-14	
A	JP 2009 295991 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES; DENSO CORP; SUMITOMO ELECTRIC SINTERED A) 17 décembre 2009 (2009-12-17) * abrégé; figure 1 *	1-14	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 septembre 2013		Rouzier, Brice	
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	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1350199 FA 777450**

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 **30-09-2013**

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
US 2008251904 A1	16-10-2008	DE 102007017641 A1 US 2008251904 A1	16-10-2008 16-10-2008
EP 1447824 A1	18-08-2004	CN 1575499 A EP 1447824 A1 JP 4136936 B2 KR 20050040822 A US 2004258552 A1 WO 03038843 A1	02-02-2005 18-08-2004 20-08-2008 03-05-2005 23-12-2004 08-05-2003
US 5350558 A	27-09-1994	AUCUN	
WO 2009141488 A1	26-11-2009	CN 102067248 A EP 2277179 A1 US 2012249375 A1 WO 2009141488 A1	18-05-2011 26-01-2011 04-10-2012 26-11-2009
WO 2012159096 A2	22-11-2012	AUCUN	
EP 0350781 A2	17-01-1990	AUCUN	
JP 2009295991 A	17-12-2009	JP 4825902 B2 JP 2009295991 A	30-11-2011 17-12-2009