



(11) **EP 2 083 428 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
29.07.2009 Bulletin 2009/31

(51) Int Cl.:
H01F 1/147 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **08290057.2**

(22) Date de dépôt: **22.01.2008**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**
Etats d'extension désignés:
AL BA MK RS

(71) Demandeur: **Imphy Alloys
93200 Saint Denis (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Waeckerle, Thierry
58000 Nevers (FR)**
• **Fraisse, Hervé
58000 Saint-Eloi (FR)**

(74) Mandataire: **Plaisant, Sophie Marie
ARCELOR France
Arcelor Research Intellectual Property
5 Rue Luigi Cherubini
93212 La Plaine Saint-Denis Cedex (FR)**

(54) **Alliage Fe-Co pour actionneur électromagnétique à grande dynamique**

(57) L'invention concerne un alliage Fe-Co dont la composition comprend en % en poids :

$$V + W \leq 3$$

$$6 \leq Co + Ni \leq 30$$

$$Nb + Ta \leq 1$$

$$Si \geq 0,2$$

$$Si + Al \leq 6$$

$$0,5 \leq Cr \leq 8$$

$$O + N + S + P + B \leq 0,1$$

$$Ni \leq 4$$

le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables dues à l'élaboration, étant entendu en outre que les teneurs en respectent les relations suivantes :

$$Mn \leq 4$$

$$Al \leq 4$$

$$Co + Si - Cr \leq 27$$

$$Ti \leq 1$$

$$Si + Al + Cr + V + Mo + Ti \geq 3,5$$

$$C \leq 1$$

$$1,23(Al + Mo) + 0,84(Si + Cr + V) \geq 1,3$$

$$Mo \leq 3$$

$$14,5(Al + Cr) + 12(V + Mo) + 25Si \geq 50$$

EP 2 083 428 A1

Description

[0001] La présente invention concerne un alliage Fe-Co plus particulièrement destiné à la fabrication d'actionneur électromagnétique à grande dynamique, sans pour autant y être limitée.

[0002] Un actionneur électromagnétique est un dispositif électromagnétique convertissant une énergie électrique en une énergie mécanique avec un mode de conversion électromagnétique. Certains de ces actionneurs sont dits linéaires car ils convertissent l'énergie électrique reçue en un déplacement rectiligne d'une pièce mobile. De tels actionneurs se rencontrent dans des électrovannes et dans des électro-injecteurs.

[0003] Une application privilégiée de tels électro-injecteurs est l'injection directe de carburant dans les moteurs à explosion, notamment les moteurs Diesel. Une autre application privilégiée concerne un type d'électrovanne particulier utilisé pour la commande électromagnétique des soupapes de moteurs à combustion interne (essence ou Diesel).

[0004] Dans ces actionneurs, l'énergie électrique est apportée dans un bobinage par une série d'impulsions de courant, créant un champ magnétique qui aimante une culasse magnétique non fermée, comportant donc un entrefer. Les caractéristiques géométriques de la culasse permettent de diriger la majeure partie des lignes de champ magnétique de façon axiale vis-à-vis de la zone d'entrefer. Sous l'effet de l'impulsion électrique, l'entrefer se trouve soumis à une différence de potentiel magnétique. L'actionneur comporte également un noyau rendu mobile par l'action du courant électrique dans la bobine. En effet, la différence de potentiel magnétique introduite dans la bobine entre le noyau mobile au repos sur un des pôles de la culasse et le pôle opposé de la culasse crée une force électromagnétique sur le noyau aimanté, via un gradient de champ magnétique. Le noyau aimanté est ainsi mis en mouvement. La position de repos peut aussi bien être située au milieu de l'entrefer, grâce à deux ressorts symétriques, favorisant par leur raideur la dynamique de la pièce mobile, en particulier pour les soupapes à commande électromagnétique.

[0005] La mise en mouvement du noyau mobile se produit avec un déphasage par rapport à l'instant de génération des impulsions électriques. Pour un fonctionnement optimal de l'actionneur, on montre qu'il est nécessaire que le métal possède une résistivité électrique à 20°C ρ_{el} élevée, et en particulier supérieure à 50 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ et un champ coercitif H_c bas, c'est à dire inférieur à 32 Oe et de préférence inférieur à 8 Oe. Ces conditions permettent d'obtenir une excellente dynamique d'aimantation par la génération de faibles courants induits dans la culasse et le noyau magnétique, permettant d'atteindre rapidement l'aimantation minimale du noyau engendrant sa mise en mouvement. Cette excellente dynamique permet ainsi de réduire les temps d'actionnement et la consommation électrique de l'actionneur.

[0006] Il est également nécessaire que le noyau possède une aimantation à saturation J_s élevée, c'est à dire supérieure à 1,75 T et de préférence supérieure à 1,9 T, de manière à autoriser une force maximale en fin d'impulsion aussi élevée que possible. C'est en effet cette force qui garantit le maintien de la position ouverte ou fermée de l'actionneur, ce qui est particulièrement important lorsqu'il s'agit d'interrompre totalement l'écoulement d'un fluide à haute pression ou de compenser la force de rappel d'un ou plusieurs ressorts. Un tel niveau d'aimantation à saturation permet ainsi d'obtenir un actionneur compact présentant une force et une puissance volumique élevées.

[0007] Ces noyaux magnétiques ont des formes diverses qui peuvent être fabriquées à partir de fils, de barres, de plaques ou de tôles laminées. Ils doivent donc présenter une bonne aptitude à la transformation à chaud, et de préférence, une bonne aptitude à la mise en forme à froid lorsque celle-ci est nécessaire.

[0008] Une fois fabriqués et mis en service, ces noyaux peuvent être soumis à un environnement de travail légèrement oxydant et doivent donc présenter une bonne tenue à la corrosion pour résister à ce type d'usure prématurée.

[0009] Ils sont en outre soumis à des chocs multiples lorsqu'ils terminent leurs courses en butée de façon brutale et doivent donc présenter de bonnes caractéristiques mécaniques, c'est à dire, dans la pratique, une résistance à la traction R_m supérieure à 500 MPa et, de préférence, une limite élastique $R_{0,2}$ supérieure à 250MPa à l'état laminé à chaud à une épaisseur d'au moins 2 mm.

[0010] On utilise généralement pour la fabrication d'actionneurs électromagnétiques des alliages fer-cobalt (Fe-Co) tels que ceux décrits dans EP 715 320. Les matériaux décrits comportent de 6 à 30% de cobalt, de 3 à 8% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi le chrome, le molybdène, le vanadium et/ou le tungstène, le reste étant du fer. Ces alliages présentent cependant une dynamique insuffisante.

[0011] La présente invention vise à mettre à disposition un matériau adapté à la fabrication, de manière économique, de noyaux pour actionneurs électromagnétiques compacts à grande dynamique et à saturation élevée. Ce matériau doit en outre permettre une mise en oeuvre à chaud, et de préférence, à froid, améliorée.

[0012] Un premier objet de l'invention est ainsi constitué par un alliage Fe-Co dont la composition comprend en % en poids :

$$6 \leq \text{Co} + \text{Ni} \leq 30$$

$$\text{Si} \geq 0,2$$

$$0,5 \leq \text{Cr} \leq 8$$

$$\text{Ni} \leq 4$$

$$\text{Mn} \leq 4$$

$$5 \quad \text{Al} \leq 4$$

$$\text{Ti} \leq 1$$

$$10 \quad \text{C} \leq 1$$

$$\text{Mo} \leq 3$$

$$\text{V} + \text{W} \leq 3$$

$$15 \quad \text{Nb} + \text{Ta} \leq 1$$

$$\text{Si} + \text{Al} \leq 6$$

$$20 \quad \text{O} + \text{N} + \text{S} + \text{P} + \text{B} \leq 0.1$$

le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables dues à l'élaboration, étant entendu en outre que les teneurs en respectent les relations suivantes :

$$25 \quad \begin{aligned} &\text{Co} + \text{Si} - \text{Cr} \leq 27 \\ &\text{Si} + \text{Al} + \text{Cr} + \text{V} + \text{Mo} + \text{Ti} \geq 3,5 \\ &1,23(\text{Al} + \text{Mo}) + 0,84(\text{Si} + \text{Cr} + \text{V}) \geq 1,3 \\ &14,5(\text{Al} + \text{Cr}) + 12(\text{V} + \text{Mo}) + 25\text{Si} \geq 50 \end{aligned}$$

30 **[0013]** Dans des modes de réalisation particuliers, considérés seuls ou en combinaison, l'alliage peut en outre comporter les caractéristiques additionnelles suivantes :

- l'alliage Fe-Co est tel que : $10 \leq \% \text{Co} + \% \text{Ni} \leq 22$
- l'alliage Fe-Co est tel que : $1 \leq \text{Cr} \leq 5,5$
- l'alliage Fe-Co est tel que : $\text{Ni} \leq 1$
- 35 - l'alliage Fe-Co est tel que : $0,1 \leq \text{Mn} \leq 1$
- l'alliage Fe-Co est tel que : $\text{Al} \leq 2$

[0014] Dans un mode de réalisation plus particulièrement préféré, l'alliage selon l'invention présente une composition en % en poids qui comprend :

$$40 \quad \begin{aligned} &6 \leq \text{Co} + \text{Ni} \leq 22 \\ &\text{Si} \geq 0,2 \\ &0,5 \leq \text{Cr} \leq 6 \\ &\text{Ni} \leq 1 \\ &45 \quad \text{Mn} \leq 4 \\ &\text{Al} \leq 4 \\ &\text{Ti} \leq 0,1 \\ &\text{C} \leq 0,1 \\ &\text{Mo} \leq 3 \\ &50 \quad \text{V} + \text{W} \leq 3 \\ &\text{Nb} + \text{Ta} \leq 1 \\ &\text{Si} + \text{Al} \leq 6 \\ &\text{O} + \text{N} + \text{S} + \text{P} + \text{B} \leq 0.1 \end{aligned}$$

55 le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés dues à l'élaboration, étant entendu en outre que les teneurs en silicium, aluminium, cobalt, chrome, vanadium, molybdène, titane et nickel respectent les relations suivantes :

$$\text{Co} + \text{Si} - \text{Cr} \leq 27$$

$$\text{Si} + \text{Al} + \text{Cr} + \text{V} + \text{Mo} + \text{Ti} > 3,5$$

$$1,23(\text{Al} + \text{Mo}) + 0,84(\text{Si} + \text{Cr} + \text{V}) \geq 1,3$$

$$14,5(\text{Al} + \text{Cr}) + 12(\text{V} + \text{Mo}) + 25\text{Si} \geq 50$$

[0015] L'alliage selon l'invention peut être mis sous forme de barre, fil, plaque ou tôle laminée.

[0016] Il peut notamment servir à la fabrication de noyau mobile d'actionneur électromagnétique fabriqué à partir d'une barre ou d'un fil ou d'une plaque ou d'une tôle laminée.

[0017] Un tel actionneur électromagnétique comportant un noyau mobile en alliage Fe-Co selon l'invention peut notamment être utilisé au sein d'un injecteur pour moteur à explosion à régulation électronique ou bien encore en tant qu'actionneur de soupape de moteur à combustion interne à commande électronique.

[0018] Comme on l'a vu précédemment, l'alliage selon l'invention est un alliage fer-cobalt à faible teneur en cobalt comportant des teneurs modérées en éléments d'addition.

[0019] La teneur en cobalt, éventuellement substitué partiellement par du nickel, est comprise entre 6 et 30% en poids afin d'obtenir une bonne aimantation à saturation tout en conservant une résistivité élevée. Elle est de préférence inférieure à 22% en poids pour réduire la quantité d'éléments d'addition coûteux tout en conservant une bonne saturation.

[0020] La teneur en nickel, qui peut venir en substitution partielle du cobalt, est cependant maintenue à moins de 4% car sa présence augmente considérablement le champ coercitif de l'alliage.

[0021] La teneur en silicium de l'alliage selon l'invention est supérieure ou égale à 0,2% en poids. Une telle teneur minimale permet d'obtenir une bonne résistance mécanique R_m . En outre, cet élément permet d'accroître très efficacement le champ coercitif de l'alliage en le baissant significativement. On limite cependant l'addition conjointe d'aluminium et de silicium à 6% pour conserver à l'alliage une bonne aptitude à la transformation à chaud. On préfère en outre limiter cette teneur cumulée à moins de 4% en poids afin de conserver à l'alliage une bonne aptitude à la transformation à froid.

[0022] La teneur en aluminium de l'alliage selon l'invention est inférieure ou égale à 4% en poids. Cet élément a un rôle similaire à celui du silicium en favorisant l'obtention d'un faible champ coercitif. On limite son ajout à 4% car sinon J_s deviendrait trop faible. Il ne permet cependant pas d'améliorer les propriétés mécaniques de l'alliage.

[0023] La teneur en chrome de l'alliage selon l'invention est comprise entre 0,5 et 8% en poids. Cet élément essentiel de l'alliage permet d'étendre la plage d'addition du silicium, vis-à-vis de la transformation à chaud et à froid, tout en maintenant les bonnes propriétés de résistivité et de saturation. On limite cependant son ajout, car il augmente le champ coercitif de l'alliage.

[0024] La teneur en manganèse de l'alliage selon l'invention est inférieure ou égale à 4% en poids et de préférence inférieure ou égale à 1% en poids. Cet élément peut être ajouté à raison d'au moins 0,1% en poids pour améliorer l'aptitude à la transformation à chaud de l'alliage. On limite sa teneur car c'est un élément gammagène et l'apparition de la phase γ dégrade fortement les performances magnétiques.

[0025] La teneur en titane de l'alliage selon l'invention est inférieure ou égale à 1% en poids et de préférence moins de 0,1%, car cet élément forme facilement des nitrures, soit lors de l'élaboration, soit lors de recuit sous air ou sous ammoniac, nitrures qui dégradent fortement les propriétés magnétiques et sont donc néfastes.

[0026] La teneur en molybdène de l'alliage selon l'invention est inférieure ou égale à 3% en poids. Cet élément peut être ajouté pour améliorer la résistivité électrique de l'alliage, en complément ou en substitution partielle du chrome.

[0027] La teneur en carbone de l'alliage selon l'invention est inférieure ou égale à 1% en poids, et de préférence inférieure ou égale à 0,1% en poids. La présence de carbone détériore les propriétés magnétiques de l'alliage et on en réduit donc la teneur pour éviter une telle dégradation.

[0028] La teneur cumulée en vanadium et tungstène de l'alliage selon l'invention est inférieure ou égale à 3% en poids. Ces éléments peuvent être ajoutés pour améliorer la résistivité électrique de l'alliage, en complément ou en substitution partielle du chrome.

[0029] La teneur cumulée en niobium et tantale de l'alliage selon l'invention est inférieure ou égale à 1% en poids. Ces éléments peuvent être ajoutés pour améliorer la ductilité de l'alliage et limiter ainsi sa fragilité.

[0030] Enfin, la teneur cumulée en oxygène, azote, soufre, phosphore et bore est limitée à 0,1% en poids, car ces éléments sont des oxydants et tendent à former des précipités très défavorables aux propriétés magnétiques et à la ductilité mécanique du matériau. Une telle limitation suppose notamment que l'on fabrique l'alliage selon l'invention à partir de matières premières de bonne pureté.

[0031] Par ailleurs, l'alliage selon l'invention doit également respecter un certain nombre de relations entre certains de ces éléments. Ainsi les quatre équations suivantes doivent être respectées :

$$\text{Co} + \text{Si} - \text{Cr} \leq 27$$

(1)

$$\text{Si} + \text{Al} + \text{Cr} + \text{V} + \text{Mo} + \text{Ti} > 3,5 \quad (2)$$

$$1,23(\text{Al} + \text{Mo}) + 0,84(\text{Si} + \text{Cr} + \text{V}) \geq 1,3 \quad (3)$$

$$14,5(\text{Al} + \text{Cr}) + 12(\text{V} + \text{Mo}) + 25\text{Si} \geq 50 \quad (4)$$

[0032] La relation (1) permet, en équilibrant le silicium et le chrome, de garantir une bonne aptitude à la transformation à chaud et donc l'absence de criques ou de fissures lors du forgeage et du laminage.

[0033] La relation (2), en combinaison avec la relation (4), permet de garantir une résistivité électrique ρ_{el} élevée, et en particulier supérieure à $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$.

[0034] La relation (3) représente un critère de saturation qui permet d'assurer que l'alliage selon l'invention présentera une aimantation à saturation J_s inférieure à 2.2T de façon cohérente avec les additions d'éléments non magnétiques nécessaires au besoin de forte dynamique d'aimantation.

[0035] La relation (4), en combinaison avec la relation (2), permet de garantir une résistivité électrique ρ_{el} élevée, et en particulier supérieure à $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$.

[0036] La fabrication de l'alliage selon l'invention peut se faire de façon classique pour ce type d'alliage. Ainsi, les différents éléments constituant l'alliage peuvent être fondus par induction sous vide, puis coulés en lingots, billettes ou brames. Ceux-ci sont ensuite forgés à chaud à des températures allant de 1000 à 1200°C, puis laminés à chaud après réchauffage à une température supérieure ou égale à 1150°C, la température de fin de laminage étant comprise entre 800 et 1050°C.

[0037] Les plaques, barres ou bandes laminées à chaud ainsi produites peuvent être utilisées en l'état ou bien encore laminées à froid après décapage par trempé dans un ou plusieurs bacs d'acide et recuites.

[0038] Il est également possible, afin d'améliorer encore la dynamique d'aimantation de l'alliage selon l'invention, de faire diffuser en sous surface des éléments déposés par tout procédé adapté à la surface de la pièce fabriquée. De tels éléments peuvent par exemple être l'aluminium, le silicium ou le chrome.

Essais

[0039] Les matières premières nécessaires à l'élaboration de l'alliage ont été fondues par induction sous vide et coulées sous vide en lingot de 50kg. Les lingots sont ensuite forgés à chaud entre 1000 et 1200°C puis laminés à chaud depuis un réchauffage à 1150°C jusqu'à une épaisseur de 4 à 5mm pour une température de fin de laminage à chaud d'au moins 800°C. Après décapage chimique acide, les bandes sont soit caractérisées dans l'état laminé à chaud par usinage d'éprouvette de traction, de rondelles pour caractérisation magnétique, d'échantillons allongés pour mesure de résistivité électrique, ou bien caractérisées après laminage à froid jusqu'à l'épaisseur de 0,6mm pour le même type de prélèvement et de caractérisation.

[0040] Selon les cas, ces deux types d'état métallurgique (état laminé à chaud : LAC et laminé à froid : LAF) peuvent être caractérisés en l'état ou après recuit à 900°C pendant 4 heures sous H2 et refroidissement rapide. Sauf indication contraire toutes les données qui suivent ont été obtenues après laminage à froid et recuit.

[0041] La résistance mécanique à rupture R_m est mesurée sur éprouvette de traction après recuit du laminé à chaud à 900°C pendant 4 heures sous H2.

[0042] La tenue à la corrosion T_{cor} est évaluée sur surface brut de laminé à chaud, rectifiée afin d'avoir une surface propre et à très faible rugosité, puis laissée à 20°C en atmosphère de brouillard salin.

[0043] Le test d'aptitude à la transformation à chaud ou à froid a été réalisé par simple observation de rives non fragilisées lors des opérations de laminage (à chaud, à froid) des lingots d'essai.

[0044] Les compositions des coulées d'essai sont reprises dans le tableau 1 ci-après, étant entendu que les teneurs cumulées de tous les essais en oxygène, azote, soufre, phosphore et bore sont inférieures à 0,1% en poids et que le reste des compositions est constitué de fer.

Tableau 1

Essai	%Co	%Ni	%Si	%Cr	%Mn	%Al	%Ti	%Mo	%V	%W	%Nb	%Ta
1	18	-	-	5	0,2	1	-	-	-	-	-	-
2*	18	-	0,5	5	0,2	0,5	0,02	-	-	-	-	-
3*	18	1	0,3	4,7	0,2	-	-	0,1	-	-	-	-
4*	18	2	0,3	4,7	0,2	-	-	-	0,15	-	-	-
5*	18	3	0,3	4,7	0,2	-	-	-	-	0,2	-	-
6	18	-	0,5	2,7	0,2	-	-	-	-	-	-	-
7*	18	-	1	3	0,2	-	-	-	-	-	0,03	-
8*	18	-	2	3	0,2	-	-	-	-	-	-	-
9*	18	-	3	3	0,2	-	-	-	-	-	-	-
10*	18	-	1	7	0,2	-	-	-	-	-	-	-
11*	18	-	2	7	0,2	-	-	-	-	-	-	-
12*	18	-	3	7	0,2	-	-	-	-	-	-	-
13*	18	-	4	7	0,2	-	-	-	-	-	-	-
14	18	-	3,46	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
15	18	-	3,5	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-
16	18	-	0,55	2,87	0,2	-	-	-	-	-	-	-
17	18	-	1,04	2,11	0,2	-	-	-	-	-	-	-
18*	18	-	0,99	4,98	0,2	-	-	-	-	-	-	-
19*	18	-	2,05	5,18	0,2	-	-	-	-	-	-	-
20*	18	-	2,99	4,97	0,2	-	-	-	-	-	-	-
21*	18	-	3,96	4,9	0,2	-	-	-	-	-	-	-
22*	18	-	1	4	0,2	-	-	-	1	-	-	-
23*	18	-	3	4	0,2	-	-	-	1	-	-	-
24*	18	-	5	4	0,2	-	-	-	1	-	-	-
25	18	-	7	4	0,2	-	-	-	1	-	-	-
26*	18	-	4	5	0,2	-	-	-	-	-	-	0,2
27	27	-	-	3	0,2	-	-	-	-	-	-	-
28*	27	-	1	3	0,2	-	-	-	-	-	-	-
29*	27	-	2	3	0,2	-	-	-	-	-	-	-
30	27	-	4	3	0,2	-	-	-	-	-	-	-
31	27	-	-	5	0,2	-	-	-	-	-	-	-
32*	27	-	1	5	0,2	-	-	-	-	-	-	-
33*	27	-	2	5	0,2	-	-	-	-	-	-	-
34*	27	-	4	5	0,2	-	-	-	-	-	-	-
*: essais selon l'invention												

[0045] Les résultats des essais sont repris dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2

Essai	Js (T)	ρ_{el} ($\mu\Omega \cdot cm$)	Hc (Oe)	Apte au LAC	Apte au LAF	R _m (MPa)	Tcor
1	2,06	63,5	3,79	Oui	Oui	<u>480</u>	++
2*	2,07	65	3,6	Oui	Oui	522	++
3*	2,11	56,4	16,6	Oui	Oui	505	++
4*	2,09	61,1	17,3	Oui	Oui	505	++
5*	2,07	61,7	22,2	Oui	Oui	506	++
6	2,17	<u>46,8</u>	0,91	Oui	Oui	520	++
7*	2,13	53,7	1,22	Oui	Oui	564	++
8*	2,08	63,4	0,8	Oui	Oui	648	++
9*	2,01	68,9	0,6	Oui	Non	732	++
10*	2	71	18,7	Oui	Oui	563	++
11*	1,94	80,5	20,5	Oui	Oui	642	++
12*	1,88	90,4	15,7	Oui	Non	730	++
13*	1,82	96,6	12,3	Oui	Non	798	++
14	2,04	<u>48,4</u>	0,5	Oui	Non	760	<u>0</u>
15	2,02	51	0,4	Oui	Non	752	<u>0</u>
16	2,14	48	<u>2,6</u>	Oui	Oui	522	++
17	2,13	47	<u>2,2</u>	Oui	Oui	565	+
18*	2,01	68	5,15	Oui	Oui	567	++
19*	1,92	80,5	4,95	Oui	Oui	644	++
20*	1,88	86	3,15	Oui	Oui	730	++
21*	1,80	96,5	2,13	Oui	Oui	792	++
22*	2,11	52	3,51	Oui	Oui	566	++
23*	2,06	63,5	3,58	Oui	Oui	733	++
24*	2	75,7	2,59	Oui	Oui	850	++
25	1,85	98	1,7	<u>Non</u>	NE	NE	NE
26*	1,81	88,7	3	Oui	Non	797	++
27	<u>2,21</u>	<u>47,2</u>	6,86	Oui	Oui	<u>482</u>	++
28*	2,15	56,5	10,2	Oui	Oui	563	++
29*	2,08	64,4	15	Oui	Non	642	++
30	1,93	82	17,5	<u>NON</u>	NON	798	++
31	2,14	53,7	21,3	OUI	OUI	<u>480</u>	++
32*	2,07	66,5	28,4	OUI	OUI	560	++
33*	2,00	77,4	30,5	OUI	NON	640	++
34*	1,83	92,1	31,8	OUI	NON	795	++
*: essais selon l'invention, NE : non évalué							

[0046] Comme on peut le voir à partir de ces essais, l'alliage selon l'invention permet de réunir un ensemble de propriétés qui n'étaient pas accessibles à l'art antérieur:

- un champ coercitif H_c à 20°C modéré à faible sur des états métallurgiques aussi bien massifs (plaque LAC de quelques mm d'épaisseur) que mince (laminé à froid de 0,1 à 2mm d'épaisseur),
- une excellente ductilité en transformation à chaud ou à froid du matériau,
- une résistivité électrique à 20°C élevée, typiquement $> 50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, tout en conservant une aimantation à saturation à 20°C élevée à très élevée, typiquement $> 1,75\text{T}$ et de préférence $> 1,9\text{T}$, et ne pouvant excéder 2,2T du fait des additions nécessaires à la grande dynamique d'aimantation de l'alliage.
- une résistance à la traction d'au moins 500MPa dans l'état laminé à chaud à une épaisseur d'au moins 2mm,
- une tenue à la corrosion satisfaisante,
- un coût du matériau limité.

[0047] Comme on l'a vu précédemment, une application privilégiée des alliages selon l'invention est la fabrication de noyaux pour actionneurs électromagnétiques, qu'ils soient linéaires ou rotatifs. De tels actionneurs compacts, dynamiques et robustes peuvent avantageusement être utilisés dans des injecteurs de moteurs à explosion à injection directe, notamment pour moteurs Diesel, et dans des pièces mobiles d'actionneurs commandant le mouvement des soupapes de moteurs à combustion interne.

Revendications

1. Alliage Fe-Co dont la composition comprend en % en poids :

$$\begin{aligned} 6 \leq \text{Co} + \text{Ni} &\leq 30 \\ \text{Si} &\geq 0,2 \\ 0,5 \leq \text{Cr} &\leq 8 \\ \text{Ni} &\leq 4 \\ \text{Mn} &\leq 4 \\ \text{Al} &\leq 4 \\ \text{Ti} &\leq 1 \\ \text{C} &\leq 1 \\ \text{Mo} &\leq 3 \\ \text{V} + \text{W} &\leq 3 \\ \text{Nb} + \text{Ta} &\leq 1 \\ \text{Si} + \text{Al} &\leq 6 \\ \text{O} + \text{N} + \text{S} + \text{P} + \text{B} &\leq 0,1 \end{aligned}$$

le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables dues à l'élaboration, étant entendu en outre que les teneurs en respectent les relations suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Co} + \text{Si} - \text{Cr} &\leq 27 \\ \text{Si} + \text{Al} + \text{Cr} + \text{V} + \text{Mo} + \text{Ti} &\geq 3,5 \\ 1,23(\text{Al} + \text{Mo}) + 0,84(\text{Si} + \text{Cr} + \text{V}) &\geq 1,3 \\ 14,5(\text{Al} + \text{Cr}) + 12(\text{V} + \text{Mo}) + 25\text{Si} &\geq 50 \end{aligned}$$

2. Alliage Fe-Co selon la revendication 1, dans lequel :

$$10 \leq \% \text{Co} + \% \text{Ni} \leq 22$$

3. Alliage Fe-Co selon l'une ou l'autre des revendications 1 ou 2, dans lequel :

$$1 \leq \text{Cr} \leq 5,5$$

4. Alliage Fe-Co selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel :

$$\text{Ni} \leq 1$$

- 5 **5.** Alliage Fe-Co selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel :

$$0,1 \leq \text{Mn} \leq 1$$

10

- 6.** Alliage Fe-Co selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel :

$$\text{Al} \leq 2$$

15

- 7.** Alliage selon la revendication 1, dont la composition en % en poids comprend :

20

$$6 \leq \text{Co} + \text{Ni} \leq 22$$

$$\text{Si} \geq 0,2$$

$$0,5 \leq \text{Cr} \leq 6$$

$$\text{Ni} \leq 1$$

$$\text{Mn} \leq 4$$

$$\text{Al} \leq 4$$

$$\text{Ti} \leq 0,1$$

25

$$\text{C} \leq 0,1$$

$$\text{Mo} \leq 3$$

$$\text{V} + \text{W} \leq 3$$

$$\text{Nb} + \text{Ta} \leq 1$$

$$\text{Si} + \text{Al} \leq 6$$

30

$$\text{O} + \text{N} + \text{S} + \text{P} + \text{B} \leq 0,1$$

le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés dues à l'élaboration, étant entendu en outre que les teneurs en silicium, aluminium, cobalt, chrome, vanadium, molybdène, titane et nickel respectent les relations suivantes :

35

$$\text{Co} + \text{Si} - \text{Cr} \leq 27$$

$$\text{Si} + \text{Al} + \text{Cr} + \text{V} + \text{Mo} + \text{Ti} > 3,5$$

$$1,23(\text{Al} + \text{Mo}) + 0,84(\text{Si} + \text{Cr} + \text{V}) \geq 1,3$$

$$14,5(\text{Al} + \text{Cr}) + 12(\text{V} + \text{Mo}) + 25\text{Si} \geq 50$$

40

- 8.** Barre, fil, plaque ou tôle laminée en alliage Fe-Co selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

- 9.** Noyau mobile d'actionneur électromagnétique fabriqué à partir d'une barre ou d'un fil ou d'une plaque ou d'une tôle laminée selon la revendication 8.

45

- 10.** Actionneur électromagnétique comportant un noyau mobile en alliage Fe-Co selon la revendication 9.

- 11.** Injecteur pour moteur à explosion à régulation électronique comportant un actionneur électromagnétique selon la revendication 10.

50

- 12.** Actionneur électromagnétique de soupape de moteur à combustion interne à commande électronique du type selon la revendication 10.

55



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 08 29 0057

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
E,X	EP 1 918 407 A (VACUUMSCHMELZE GMBH & CO KG [DE]) 7 mai 2008 (2008-05-07) * alinéas [0001], [0002] * * exemples 3,12; tableau 1 * * figure 2 *	1-12	INV. H01F1/147
X	JP 2006 336061 A (HITACHI METALS LTD) 14 décembre 2006 (2006-12-14) * abrégé *	1-4,6-8	
X	JP 51 092097 A (NIPPON TELEG & TEL CORP) 12 août 1976 (1976-08-12) * tableau 1 * * page 465, colonne 1, alinéa 2 *	1,3-8	
X	US 2007/221297 A1 (MATSUKAWA ATSUHITO [JP] ET AL) 27 septembre 2007 (2007-09-27) * alinéa [0006] *	1-3,6	
A	WO 01/86665 A (IMPHY UGINE PRECISION [FR]; WAECKERLE THIERRY [FR]; COUTU LUCIEN [FR];) 15 novembre 2001 (2001-11-15) * abrégé * * page 1, ligne 1-16 *	1,8-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 12 juin 2008	Examineur Straub, Florian
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

12

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 08 29 0057

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

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

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

12-06-2008

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1918407	A	07-05-2008	US 2008099106 A1	01-05-2008
JP 2006336061	A	14-12-2006	AUCUN	
JP 51092097	A	12-08-1976	AUCUN	
US 2007221297	A1	27-09-2007	CN 101064207 A	31-10-2007
			JP 2007266031 A	11-10-2007
WO 0186665	A	15-11-2001	AU 6041201 A	20-11-2001
			EP 1281182 A1	05-02-2003
			FR 2808806 A1	16-11-2001
			JP 2004515644 T	27-05-2004
			US 2004099347 A1	27-05-2004
			US 2007029013 A1	08-02-2007

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 715320 A [0010]