



(11) **EP 1 281 182 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
21.04.2010 Bulletin 2010/16

(51) Int Cl.:
H01F 1/147 ^(2006.01) **C22C 38/10** ^(2006.01)
C22C 38/12 ^(2006.01) **C21D 8/12** ^(2006.01)
C22C 38/02 ^(2006.01) **C22C 38/18** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **01934103.1**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2001/001440

(22) Date de dépôt: **11.05.2001**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2001/086665 (15.11.2001 Gazette 2001/46)

(54) **ALLIAGE FER-COBALT, NOTAMMENT POUR NOYAU MOBILE D'ACTIONNEUR
ELECTROMAGNETIQUE ET SON PROCEDE DE FABRICATION**

EISEN-KOBALT-LEGIERUNG INSBESONDERE FÜR ELEKTROMAGNETISCHEN AKTUATOR MIT
BEWEGLICHEM KERNTIL UND HERSTELLUNGSVERFAHREN

IRON-COBALT ALLOY, IN PARTICULAR FOR ELECTROMAGNETIC ACTUATOR MOBILE CORE
AND METHOD FOR MAKING SAME

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**

• **FRAISSE, Hervé**
F-58000 Nevers (FR)

(30) Priorité: **12.05.2000 FR 0006088**

(74) Mandataire: **Neyret, Daniel Jean Marie et al**
Cabinet Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
05.02.2003 Bulletin 2003/06

(73) Titulaire: **ArcelorMittal - Stainless & Nickel Alloys**
93200 Saint Denis (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 715 320 WO-A-96/19001
FR-A- 2 406 876 US-A- 4 120 704

(72) Inventeurs:
• **WAECKERLE, Thierry**
F-58000 Nevers (FR)
• **COUTU, Lucien**
58160 Sauvigny les Bois (FR)
• **LEROY, Marc**
F-92160 Antony (FR)
• **CHAPUT, Laurent**
58160 Sauvigny Les Bois (FR)

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 251**
(C-1199), 13 mai 1994 (1994-05-13) -& JP 06
033199 A (HITACHI METAL PRECISION LTD), 8
février 1994 (1994-02-08)
• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no.**
01, 30 janvier 1998 (1998-01-30) -& JP 09 228007
A (TOSHIBA CORP;TOSHIBA ELECTRON ENG
CORP), 2 septembre 1997 (1997-09-02)

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] L'invention concerne le domaine des alliages magnétiques fer-cobalt. Plus précisément, il concerne les alliages fer-cobalt destinés à constituer des noyaux d'actionneurs électromagnétiques.

[0002] Un actionneur électromagnétique est un dispositif électromagnétique convertissant une énergie électrique en une énergie mécanique. Certains actionneurs de ce type sont des actionneurs dits linéaires, convertissant une énergie électrique en un déplacement rectiligne d'une pièce mobile. De tels actionneurs se rencontrent dans des électrovannes et dans des électro-injecteurs. 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 bien particulier, utilisé pour la commande électromagnétique des soupapes de moteurs à combustion interne (essence ou diesel).

[0003] 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 par la bobine entre le noyau mobile au repos sur un pôle 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 (cas des soupapes à commande électromagnétique).

[0004] La mise en mouvement du noyau mobile se produit avec un déphasage par rapport à l'instant de création des impulsions électriques. Pour un fonctionnement optimal de l'actionneur, on montre qu'il est nécessaire que le métal qui le compose possède une résistivité électrique élevée et un champ coercitif bas. Ces conditions permettent d'obtenir de faibles courants induits dans la culasse et le noyau magnétique, permettant d'atteindre rapidement l'aimantation minimale du noyau qui engendre sa mise en mouvement. Il est également important que le noyau possède une aimantation à saturation élevée, 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, par exemple, d'interrompre totalement l'écoulement d'un fluide à haute pression, et/ou de compenser la force de rappel d'un ou plusieurs ressorts.

[0005] Ces noyaux magnétiques ont des formes diverses et peuvent être fabriqués à partir de fils ou de barres. Dans ce cas, ils doivent présenter une grande aptitude plastique à la déformation, de manière à pouvoir être déformés sans risque de rupture. Il est favorable d'avoir un allongement à la rupture du matériau d'au moins 35%. De tels noyaux peuvent également être fabriqués par découpage de plaques ou de tôles laminées. Dans ce cas, ils doivent présenter une grande aptitude au poinçonnage, pour laquelle des minima de dureté et de résistance mécanique sont nécessaires. Une bonne tenue des propriétés magnétiques aux chocs mécaniques répétés auxquels le noyau sera soumis est aussi nécessaire. Ces caractéristiques de dureté et de résistance mécanique sont également favorables à une bonne efficacité de la découpe du noyau. On recommande d'avoir une dureté du matériau après recuit supérieure à 200 HV pour ces utilisations.

[0006] Trois grandes catégories d'alliages sont traditionnellement utilisées pour constituer des noyaux d'actionneurs électromagnétiques tels que l'on vient de les décrire.

[0007] Une première catégorie est constituée par des alliages fer-silicium comportant de 2 à 3% de silicium. Ils ont pour avantage d'avoir des résistivités relativement élevées. En revanche, leur aimantation à saturation est relativement faible.

[0008] Une deuxième catégorie est constituée par des alliages fer-cobalt à haute teneur en cobalt, de l'ordre de 50%. De tels alliages ont une aimantation à saturation significativement plus élevée que celle des alliages fer-silicium précédents. En revanche leur résistivité est quelque peu inférieure. De plus, du fait de la présence massive de cobalt, ces alliages sont très coûteux. Enfin, leurs propriétés mécaniques ne sont pas optimales, ce qui rend la fabrication des noyaux difficile.

[0009] Une troisième catégorie est constituée par des alliages fer-cobalt contenant environ 6 à 30% de cobalt et divers autres éléments d'alliage. Le document EP-A-715 320 donne un exemple de tels alliages. Il décrit des alliages fer-cobalt pour noyaux d'actionneurs électromagnétiques comportant 6 à 30% de cobalt, 3 à 8% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi le chrome, le molybdène, le vanadium et le tungstène, le reste étant du fer. De préférence, la teneur en cobalt est de 10 à 20% et la teneur en chrome, molybdène, vanadium et/ou tungstène est de 4 à 8%. Ces alliages présentent une bonne résistivité électrique, pouvant être supérieure à 50 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, mais leur aimantation à saturation est relativement faible, de l'ordre de 1,9 à 2 T, sauf pour les variantes les plus chargées en cobalt (qui sont donc les plus coûteuses) où cette aimantation à saturation peut atteindre 2,3 T. En général, le champ coercitif des alliages donnés en exemple dans ce document est également élevé, sensiblement supérieur à 1,5 Oe. De manière générale, les alliages donnés en

exemple dans ce document ne permettent pas de parvenir à un compromis optimal entre une aimantation à saturation élevée, un champ coercitif faible et une résistivité élevée.

[0010] Le document WO 96/19 001 propose d'utiliser des alliages fer/cobalt contenant entre 5 et 20% de cobalt, et ayant une teneur en aluminium et en manganèse ou vanadium pouvant atteindre plusieurs % : jusqu'à 7% d'aluminium, et jusqu'à 8% de manganèse ou 4% de vanadium. Des alliages décrits dans ce document présentent une résistivité très élevée (supérieure à $60 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), et une aimantation à saturation assez élevée (de 2 à 2,2 T). Mais aucune information précise n'est donnée sur les propriétés mécaniques de ces alliages, ainsi que sur leur champ coercitif.

[0011] Une culasse et un noyau fabriqués d'un alliage fer- cobalt comprenant aussi Si, Mn, Al, Mo et V sont connus de JP- 060933199.

[0012] Le but de l'invention est de proposer des alliages fer/cobalt particulièrement adaptés à la fabrication, de manière économique, de noyaux pour actionneurs électromagnétiques. Ces noyaux devraient présenter un compromis plus favorable qu'avec les matériaux existants entre les différentes caractéristiques électromagnétiques, à savoir l'aimantation à saturation, la résistivité et le champ coercitif. Ils devraient également présenter des propriétés mécaniques rendant leur fabrication particulièrement aisée.

[0013] A cet effet, l'invention a pour objet un alliage fer-cobalt, caractérisé en ce qu'il comporte en pourcentages pondéraux :

- de 10 à 22% de Co ;
- de traces à 2,5% de Si ;
- de traces à 2% d'Al ;
- de 0,1 à 1% de Mn ;
- de traces à 0,0100% de C ;
- une somme des teneurs en O, N et S comprise entre des traces et 0,0070% ;
- une somme des teneurs en Si, Al, Cr, V, Mo, Mn comprise entre 1,1 et 3,5%, de préférence entre 1,5 et 3,5% ;
- une somme des teneurs en Cr, Mo et V comprise entre des traces et 3% ;
- une somme des teneurs en Ta et Nb comprise entre des traces et 1% ;

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, en ce que :

$$1,23 \times (\text{Al} + \text{Mo})\% + 0,84 (\text{Si} + \text{Cr} + \text{V})\% - 0,15 \times (\text{Co}\% - 15) \leq 2,1$$

et en ce que :

$$14,5 \times (\text{Al} + \text{Cr})\% + 12 \times (\text{V} + \text{Mo})\% + 25 \times \text{Si}\% \geq 40.$$

[0014] Préférentiellement, cet alliage fer-cobalt comporte 14 à 20% de Co et la somme des teneurs en Ta et Nb est comprise entre 0,05 et 0,8%.

[0015] Selon une variante de l'invention, la somme des teneurs en Cr et V est comprise entre 1,1 et 3%, de préférence entre 1,5 et 3%, et la somme des teneurs en Si, Al et Mo est comprise entre des traces et 1% pour obtenir un allongement à la rupture d'au moins 35%.

[0016] Selon une autre variante de l'invention, la somme des teneurs en Si et Al est comprise entre 1 et 2,6%, et la somme des teneurs en Cr, V, Mo, Ta, Nb est comprise entre des traces et 2% pour obtenir une dureté d'au moins 200 HV après recuit.

[0017] L'aimantation à saturation des alliages selon l'invention est d'au moins 2,1 T à 150°C et d'au moins 2,12 T à 20°C, leur résistivité est d'au moins $35 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ à 150°C et d'au moins $31 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ à 20°C, leur champ coercitif est inférieur à 1,5 Oe à 20 et à 150°C, et de préférence inférieur ou égal à 1 Oe.

[0018] L'invention a également pour objet une barre, un fil, une plaque ou une tôle laminée en alliage fer-cobalt, caractérisé en ce que ledit alliage est du type précédent, et en ce que la barre, le fil, la plaque ou la tôle présente une texture de fibre préférentielle d'axe <100> pour une barre ou un fil, ou une composante forte de texture <100> pour une plaque ou une tôle laminée, déviée de moins de 20° par rapport à la direction de laminage à chaud, pour au moins 30% (en volume du matériau) des grains, de préférence pour au moins 50%.

[0019] L'invention a également pour objet un procédé de production d'une barre, d'un fil, d'une plaque ou d'une tôle

laminée du type précédent, caractérisé en ce qu'on élabore une barre, un fil, une plaque ou une tôle laminée à partir d'une ébauche en un alliage selon l'invention en effectuant un laminage débutant en phase austénitique et finissant en phase ferritique, la réduction d'épaisseur subie par la barre, le fil, la plaque ou la tôle en phase ferritique étant d'au moins 30%, de préférence au moins 50%, et en ce qu'un éventuel recuit ultérieur est effectué à une température inférieure à la température de transformation austénitique.

[0020] L'invention a également pour objets un noyau mobile d'actionneur électromagnétique, caractérisé en ce qu'il a été fabriqué à partir d'une barre ou d'un fil ou d'une plaque ou d'une tôle laminée selon le procédé précédent, ainsi qu'un actionneur électromagnétique comportant un noyau mobile en alliage fer-cobalt, caractérisé en ce que ledit noyau est du type précédent et en ce qu'il a une texture préférentielle d'axe $\langle 100 \rangle$, cet axe étant sensiblement parallèle à la direction principale du champ d'excitation.

[0021] L'invention a également pour objet un injecteur pour moteur à explosion commandé par régulation électronique comportant un actionneur électromagnétique à forte puissance volumique, faible temps de réponse et grande fiabilité d'utilisation du type précédent.

[0022] L'invention a enfin pour objet un actionneur électromagnétique de soupape de moteur à combustion interne à commande électronique, caractérisé en ce qu'il est du type précédent.

[0023] Comme on l'aura compris, l'alliage fer/cobalt selon l'invention se classe dans la catégorie des alliages Fe-Co à teneur faible ou moyenne en cobalt, et comporte des teneurs en autres éléments d'alliage relativement modérées. Toutefois, ces éléments d'alliage doivent être présents dans des proportions respectives bien définies. C'est seulement dans ces conditions que l'on obtient, pour ces alliages et pour les noyaux d'actionneurs électromagnétiques qui en sont issus, des propriétés optimales, à la fois sur le plan magnétique et sur le plan mécanique, pour un coût de matière (lié à la présence de cobalt) très modéré par rapport aux alliages Fe-Co à 50% de cobalt.

[0024] Les alliages selon l'invention ont des résistivités similaires à celles des alliages fer/silicium contenant 2 à 3% de silicium. Cette résistivité à 150°C est supérieure à 35 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$, de manière à conserver une bonne réactivité de l'actionneur aux sollicitations dont il est l'objet à sa température de fonctionnement. A 20°C, cette résistivité est supérieure à 31 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$. Parallèlement, cette bonne réactivité de l'actionneur est également due à un faible champ coercitif, limité à 1,5 Oe à 20 et 150°C. Cette faible valeur du champ coercitif est obtenue selon l'invention en imposant à l'alliage une teneur en carbone inférieure à 0,0100% et une teneur totale en oxygène, azote et soufre limitée à 70 ppm. Ce faible champ coercitif renforce la réduction du temps d'impulsion. Il est également conseillé, dans le même but, de conférer à la pièce à partir de laquelle sera fabriqué le noyau une texture préférentielle d'axe $\langle 100 \rangle$, et de faire en sorte que dans le noyau en cours d'utilisation, cette texture préférentielle se retrouve sensiblement parallèle à la direction principale d'excitation du champ.

[0025] D'autre part, les alliages selon l'invention présentent une aimantation à saturation à 150°C supérieure à 2,1 T. Cette valeur est franchement supérieure à celles habituellement constatées avec les alliages fer/silicium à 3% de silicium. A 20°C, l'aimantation à saturation des alliages selon l'invention est supérieure à 2,12 T.

[0026] Les différences sur les valeurs des grandeurs que l'on vient de citer entre 20 et 150°C s'expliquent par le fait que le champ coercitif et l'aimantation à saturation varient de au plus 4% et 1% respectivement entre 20 et 150°C, tandis que la résistivité croît d'environ 16% entre 20 et 150°C. Cette propriété varie donc de façon importante et l'effet de la température doit être pris en compte : une résistivité minimale de 35 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ à 150°C correspond à une résistivité minimale de 31 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ à 20°C. Le champ coercitif à 150°C est toujours inférieur d'environ 4% à ce qu'il est à 20°C ; donc s'il est suffisamment faible à 20°C (1,5 Oe au plus), il le sera a fortiori à 150°C. En revanche, l'aimantation à saturation décroît lorsque la température augmente ; donc, pour garantir une aimantation à saturation supérieure ou égale à 2,1 T à 150°C, il faut que l'aimantation à saturation à 20°C lui soit supérieure de 1%, soit supérieure ou égale à 2,12 T.

[0027] Enfin, les alliages selon l'invention présentent des caractéristiques mécaniques particulièrement favorables à la préparation des noyaux d'actionneurs électromagnétiques. Dans certains exemples préférentiels, les alliages présentent une grande aptitude à la déformation plastique par matriçage ou emboutissage, car ils ont un allongement à la rupture maximal d'au moins 35%. Dans une autre variante des alliages selon l'invention, ces alliages sont aptes à une bonne qualité de découpe et d'usinage, grâce à leur dureté après recuit qui est d'au moins 200 HV.

[0028] Les alliages fer/cobalt selon l'invention présentent obligatoirement les caractéristiques suivantes. Tous les pourcentages sont des pourcentages pondéraux.

[0029] La teneur en cobalt est comprise entre 10 et 22%, et de préférence entre 14 et 20%, afin d'accroître significativement l'aimantation à saturation par rapport aux alliages fer/silicium, tout en conservant une résistivité élevée. D'autre part, la limitation à 22% de la teneur en cobalt procure des propriétés mécaniques et un prix de revient plus favorables que dans le cas des alliages fer/cobalt à 50% de cobalt.

[0030] La teneur en silicium n'excède pas 2,5% ; la teneur en aluminium n'excède pas 2% ; chacune des teneurs en chrome, molybdène et vanadium n'excède pas 3%, de même que la somme de leurs teneurs ; la teneur en manganèse est comprise entre 0,1 et 1%, de préférence entre 0,1 et 0,5% pour faciliter la transformation à chaud. Chacun de ces éléments (sauf le manganèse) peut n'être présent qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration.

[0031] En outre, la somme des teneurs en silicium, aluminium, chrome, vanadium, molybdène, manganèse est com-

prise entre 1,1 et 3,5%, et de préférence entre 1,5 et 3,5%. C'est dans ces conditions qu'on obtient une résistivité de l'alliage équivalente à celle des alliages fer/silicium contenant 2 à 3% de silicium. D'autre part, les teneurs en ces éléments doivent vérifier les deux équations suivantes :

$$1,23 \times (\text{Al} + \text{Mo})\% + 0,84 (\text{Si} + \text{Cr} + \text{V}) - 0,15 \times (\text{Co}\% - 15) \% \leq 2,1 \quad (1)$$

afin d'assurer que l'aimantation à saturation à 150°C est supérieure ou égale à 2,1 T et supérieure ou égale à 2,12 T à 20°C;

$$14,5 \times (\text{Al} + \text{Cr})\% + 12 \times (\text{V} + \text{Mo})\% + 25 \times \text{Si}\% \geq 21, \text{ de préférence } \geq 40 \quad (2)$$

afin d'assurer une résistivité supérieure ou égale à 35 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ à 150°C et supérieure ou égale à 31 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ à 20°C.

[0032] Par ailleurs, la somme des teneurs en chrome, molybdène et vanadium doit être au plus de 3%, afin de ne pas dégrader l'aimantation à saturation du matériau.

[0033] Les teneurs en tantale et niobium, ainsi que la somme de leurs teneurs, doivent être chacune inférieures ou égales à 1%. De préférence la somme de ces teneurs est comprise entre 0,05 et 0,08%. Le tantale a pour fonction d'accroître la ductilité de l'alliage, et le niobium d'accroître la résistance mécanique et la résistance à l'usure, ainsi que la résistivité. La limite supérieure de 1% est motivée par la nécessité de ne pas dégrader l'aimantation à saturation du matériau. Ces éléments peuvent n'être présents qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration.

[0034] La teneur en carbone doit être inférieure ou égale à 100 ppm, et la somme des teneurs en oxygène, azote et soufre doit être inférieure ou égale à 70 ppm. Ces conditions permettent de limiter le champ coercitif et d'accroître la perméabilité dynamique de l'alliage. Ces éléments carbone, oxygène, azote et soufre sont considérés comme des impuretés et peuvent n'être présents qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration.

[0035] Lorsque l'alliage est destiné à subir une opération de matriçage ou d'emboutissage, pour laquelle il est souhaitable d'avoir un allongement plastique maximal important (supérieur ou égal à 35%), l'alliage doit préférentiellement répondre aux deux conditions suivantes :

- la somme des teneurs en chrome et vanadium doit être comprise entre 1,1 et 3% de préférence entre 1,5 et 3%;
- la somme des teneurs en silicium, aluminium et molybdène doit être comprise entre des traces et 1%.

[0036] De telles opérations de matriçage à froid et d'emboutissage sont exécutées sur un alliage qui se trouve initialement sous forme de barres, de fils ou de plaques épaisses (au moins 1 mm).

[0037] Lorsque le noyau est préparé à partir de barres de plaques ou de tôles, et que ces barres, plaques ou tôles doivent être découpées ou usinées, il est préférable que la composition de l'alliage réponde aux deux caractéristiques suivantes :

- la somme des teneurs en silicium et aluminium est comprise entre 1 et 2,6% ;
- et la somme des teneurs en chrome, vanadium, molybdène, tantale et niobium est comprise entre des traces et 2%.

[0038] De cette façon on obtient un alliage dont la dureté est supérieure à 200 HV après recuit.

[0039] Le tableau 1 donne, pour des exemples d'alliages selon l'invention et des alliages selon l'art antérieur, leur composition chimique, ainsi que les caractéristiques à 20°C d'allongement à la rupture, de dureté après recuit, d'aimantation à saturation, de résistivité et de champ coercitif résultant de ces compositions. Le complément à 100% des compositions est constitué par du fer et des impuretés résultant de l'élaboration. On a également reporté les résultats du calcul des premiers membres des équations (1) et (2).

Tableau 1 : Exemples de compositions d'alliages selon l'invention et d'alliages de référence, avec leurs caractéristiques électromagnétiques et mécaniques

Coulée	%Co	%Si	%Al	%Ta	%Cr	%V	%Mo	%C	%N+S	Température Ta γ (°C)	Allongement à la rupture (%)	Dureté après recuit (HV)	BS (T) à 20°C	ρ ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) à 20°C	HC (Oe) à 20°C	Eq. (1)	Eq. (2)
Invention	1	18,00	1,67	0,38	0,294	<0,1	<0,05	0,0030	0,0052	960	36	227	2,12	37,2	0,9	1,42	47,3
	2	18,07	1,65	0,44	<0,002	<0,1	<0,05	0,0034	0,0044	970	30	223	2,12	37,3	0,8	1,73	50
	3	18	1,2	0	<0,002	<0,1	<0,05	0,0440	0,0057	930	26	212	2,24	33	0,6	0,56	30
	4	18	0	0	<0,002	2	<0,05	0,038	0,0053	920	36	152	2,25	35	1,3	1,43	29
	5	18	0,4	<0,1	<0,002	2,7	<0,05	0,0023	0,0046	930	35	162	2,14	42,5	1	2,03	49
	6	18	<0,1	0,3	<0,002	2,7	<0,05	0,0035	0,0039	930	39	151	2,13	41	0,9	2,08	43,5
	7	18	<0,1	<0,1	<0,002	2,9	<0,05	0,0041	0,0036	930	38	146	2,15	40,5	0,6	1,87	42
	8	18	<0,1	<0,1	0,2	2,9	<0,05	0,0029	0,0041	930	45	143	2,15	41	0,9	1,87	42
Références	9	49	<0,1	<0,1	<0,002	0,05	2	<0,05	<0,0050	-	<5	200	2,35	40	0,5 à 1	-	-
	10	27	0,127	<0,1	<0,002	0,5	0,012	<0,05	<0,0050	-	10 à 25	140	2,35	20	0,5	-	-
	11	<0,1	3	<0,1	<0,002	<0,1	<0,05	<0,010	<0,0100	-	15 à 25	220	2,03	45	0,5	-	-
	12	19,58	<0,1	<0,1	0,159	<0,1	1,6	<0,05	0,0080	920	34	150	2,22	29,6	2,7	-	19
	13	18,02	<0,1	<0,1	<0,002	2,72	<0,05	0,0030	0,0077	920	38	147	2,17	38,5	3,05	1,8	39
	14	17,96	<0,1	<0,1	0,21	2,71	<0,05	0,0024	0,0077	920	43	145	2,16	37	2,8	1,8	39
	15	15,12	1,51	1,38	<0,002	<0,1	<0,05	0,0018	0,0035	1000	26	235	2,08	42	0,4	3	57,8
	16	15,02	0,98	1,55	<0,002	<0,1	<0,05	0,0011	0,0030	990	28	225	2,10	40	0,3	2,75	47
	17	15,08	1,5	1,05	<0,002	<0,1	<0,05	0,0027	0,0055	980	23	231	2,10	40	0,4	2,55	52,7
	18	15,1	<0,1	<0,1	<0,002	<0,1	<0,05	0,0015	0,0030	920	32	157	2,25	20	0,5	0	0
	19	15,03	1	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05	0,0100	0,0046	930	28	192	2,21	30	0,6	0,8	20
	20	16,45	<0,1	<0,1	<0,02	<0,1	3,2	<0,05	0,0050	970	32,5	165	2,17	37	0,6	2,04	38

* Référence

[0040] L'alliage de référence 9 est un alliage fer/cobalt à environ 50% de cobalt. Ses caractéristiques magnétiques sont excellentes, ainsi que sa dureté qui le rend apte à être découpé ou usiné. En revanche, il présente un allongement à la rupture extrêmement faible qui le rend impropre à subir de grandes déformations plastiques. De plus, il s'agit d'un alliage extrêmement coûteux.

[0041] L'exemple de référence 10 est un alliage fer/cobalt à environ 30% de cobalt. Par rapport au précédent, sa résistivité est très sensiblement inférieure. En outre, si son allongement à la rupture est meilleur, sans pour autant être excellent, cet alliage présente une dureté après recuit sensiblement plus faible qui le rend moins adapté à subir une découpe ou un usinage.

[0042] L'alliage de référence 11 est un alliage fer/silicium à 3% de silicium. Il présente des valeurs satisfaisantes pour la résistivité et le champ coercitif ; en revanche, son aimantation à saturation est relativement faible. En outre, son allongement à la rupture demeure très limité.

[0043] L'alliage de référence 12 est un alliage à environ 20% de cobalt contenant du vanadium. Sa composition vérifie l'équation (1), et il présente donc une bonne aimantation à saturation. En revanche, il ne vérifie pas l'équation (2) et sa résistivité est donc médiocre. De plus, sa teneur en O+N+S est relativement élevée, ce qui lui procure un champ coercitif trop fort.

[0044] L'alliage de référence 13 est un alliage à 18% de cobalt contenant du chrome. Il vérifie l'équation (2) (si on tient compte des éléments Al, V, Mo et Si inévitablement présents comme impuretés) et vérifie l'équation (1). Son aimantation à saturation et sa résistivité sont donc satisfaisantes. Son allongement à la rupture élevé le rendrait apte à la mise en forme par déformation plastique. En revanche, sa teneur en O+N+S est élevée, ce qui lui procure un champ coercitif trop fort.

[0045] L'alliage de référence 14 est semblable au précédent, à ceci près qu'on y a ajouté du tantale. L'allongement à la rupture s'en trouve encore amélioré, mais le champ coercitif demeure trop élevé pour que cette composition entre dans le cadre de l'invention.

[0046] L'alliage de référence 15 est un alliage à 15% de cobalt, contenant également du silicium et de l'aluminium. Il vérifie l'équation (2), ce qui lui procure une bonne résistivité, mais pas l'équation (1), d'où une aimantation à saturation un peu trop faible par rapport à ce qui est désiré. On remarque que sa teneur en O + S + N est faible, ce qui lui procure un champ coercitif très bas, et que le silicium et l'aluminium lui procurent une dureté élevée après recuit.

[0047] Les alliages de référence 16 et 17 présentent des caractéristiques comparables au précédent. Ils ne vérifient pas l'équation (1) en raison d'une teneur en cobalt trop faible par rapport au total des teneurs en silicium et aluminium, et leur aimantation à saturation à 20°C est légèrement trop faible.

[0048] L'alliage de référence 18 est un fer-cobalt à 15% de cobalt ne contenant pas d'autres éléments d'alliage à des teneurs significatives. Si son aimantation à saturation et son champ coercitif sont bons (l'équation (1) est vérifiée et sa teneur en O+N+S est faible), sa résistivité est médiocre (l'équation (2) n'est pas vérifiée). De plus, ses propriétés mécaniques ne sont pas particulièrement bonnes, que ce soit pour l'allongement à la rupture ou pour la dureté après recuit.

[0049] L'alliage de référence 19 est un fer-cobalt à 15% de cobalt contenant seulement 1% de silicium. On peut faire à son sujet les mêmes commentaires que pour l'alliage 16 à ceci près que la présence de silicium améliore la dureté et la résistivité, sans pour autant porter cette dernière à un niveau suffisant.

[0050] L'alliage de référence 20 est un fer-cobalt à 18% de cobalt contenant 3,2% de vanadium. Ses caractéristiques électromagnétiques sont bonnes, mais son allongement à la rupture est insuffisant, du fait de la présence de vanadium en excès par rapport à la quantité maximale admise (3%).

[0051] Parmi les alliages 1-8 selon l'invention, les alliages 1-3 ont une dureté après recuit élevée, supérieure à 210 HV, qui les rend donc particulièrement aptes à être découpés ou usinés. On les utilisera donc préférentiellement pour former des barres, des plaques ou des tôles, à partir desquels seront fabriquées les pièces désirées. Ce sont des alliages fer-cobalt contenant environ 15 ou 18% de cobalt, et des quantités significatives de silicium et éventuellement d'aluminium. L'alliage 1 contient en plus du tantale et l'alliage 2 du molybdène ; l'alliage 3 n'a pas d'éléments d'alliage supplémentaires en quantités importantes. Ces alliages ont des caractéristiques électromagnétiques excellentes, aussi bien en termes d'aimantation à saturation que de résistivité, et présentent donc un très bon compromis entre les diverses exigences des applications envisagées. Enfin, la présence de tantale et de molybdène dans les alliages 1 et 2 leur confère des allongements à la rupture assez élevés, qui rendraient ces alliages également aptes à être mis en forme par matriçage ou emboutissage dans des conditions qui seraient acceptables, ou qui seraient même franchement bonnes pour l'alliage 1. Typiquement, pour cette catégorie d'alliages, on choisit une composition comportant 18% de cobalt, 0,5 à 1% de chrome + vanadium, 0,05 à 0,5% de tantale + silicium et 1 à 2,5% de silicium + aluminium + molybdène.

[0052] Les alliages 4-8 selon l'invention ont un allongement à la rupture élevé (au moins 35%) qui les rend aptes à être mis en forme par matriçage ou emboutissage. On les utilisera préférentiellement pour former des barres ou des fils à partir desquels seront fabriquées les pièces désirées. Ce sont des alliages fer-cobalt à 18% de cobalt environ, ne contenant pas ou peu de silicium et d'aluminium. En revanche, ils contiennent du chrome (2 à 2,9%). Cet élément pourrait être remplacé au moins partiellement par du molybdène et/ou du vanadium. Leurs caractéristiques électromagnétiques présentent le même compromis favorable entre les diverses exigences que les alliages 1-3. Typiquement,

pour cette catégorie d'alliages, on choisit une composition comportant 18% de cobalt, 2 à 3% de chrome, 0 à 1% de vanadium, 0,05 à 0,5% de tantale + silicium et 0 à 0,5% de silicium + aluminium + molybdène.

[0053] Une fois obtenu l'alliage selon l'invention, sous forme de barres, de fils, de plaques ou de tôle, si on veut utiliser cet alliage pour constituer des actionneurs électromagnétiques (ou toute autre pièce pour laquelle des caractéristiques similaires seraient requises), il est important de faire subir au métal un traitement thermomécanique qui lui confère la texture optimale requise. Ce traitement doit avoir pour but d'obtenir pour au moins 30%, et de préférence au moins 50% (en volume du matériau), des grains ou des cristaux ayant une orientation cristallographique comportant un axe $\langle 100 \rangle$ dévié de moins de 20° par rapport à la direction de laminage à chaud ou à froid. Si on rapproche certains axes $\langle 100 \rangle$ des cristaux des directions principales d'utilisation du flux magnétique par une texturation particulière, on améliore significativement les propriétés magnétiques des aciers et alliages magnétiques doux. Dans le cas des alliages de l'invention se trouvant sous forme de plaques ou de tôles laminées, celles-ci doivent avoir une texture préférentielle du type $\{100\}$ ou $\{110\}$ parallèle au plan de laminage, dont la proportion dans le volume du matériau et l'orientation $\langle 100 \rangle$ par rapport à la direction de laminage doivent obéir aux critères cités précédemment.

[0054] Sur les alliages de l'invention, un procédé permettant d'obtenir une texture répondant à ces caractéristiques est le suivant.

[0055] On procède à un laminage à chaud austénoferritique de l'ébauche sous forme de barre, de fil, de plaque ou de tôle dont la composition a été précédemment définie. Par laminage austénoferritique, on entend un laminage commençant en phase austénitique, donc au-dessus de la température de transformation $\alpha \rightarrow \alpha + \gamma$ ($T_{\alpha/\gamma}$ qui est spécifiée pour chaque alliage donné en exemple dans le tableau 1) et se terminant en phase ferritique, donc au-dessous de $T_{\alpha/\gamma}$. Ce laminage à chaud doit comporter une étape de réduction avec un taux de corroyage d'au moins 30% (et de préférence au moins 50%) lorsque l'alliage se trouve en phase ferritique (le taux de corroyage étant défini par le rapport (section initiale - section finale) / section initiale). Par exemple, si on veut obtenir une barre de diamètre 20 mm, il faut, lors du laminage à chaud, être en phase ferritique à un diamètre intermédiaire d'au moins 24 mm, de préférence au moins 28 mm. De même, si on veut obtenir une plaque d'épaisseur 2,5 mm, il faut, lors du laminage à chaud, être en phase ferritique à une épaisseur intermédiaire d'au moins 3,6 mm, de préférence au moins 5 mm.

[0056] Par ailleurs, les recuits éventuellement effectués postérieurement au laminage à chaud ne devront jamais porter le produit à une température supérieure à $T_{\alpha/\gamma}$, cette température variant de 930 à 990°C pour les alliages selon l'invention figurant dans le tableau 1.

[0057] Enfin, comme la texture la plus favorable est obtenue principalement dans les couches supérieures du produit, il est conseillé de limiter autant que possible les enlèvements superficiels de matière lors des opérations ultérieures de décapage ou de polissage. De préférence, la diminution de masse des produits suite à ces opérations ne devrait pas excéder 10%, ou mieux 5%.

[0058] Comme on l'a dit, une application privilégiée des alliages selon l'invention est la fabrication de noyaux pour actionneurs électromagnétiques. De tels actionneurs compacts, rapides et fiables comportant de tels noyaux peuvent avantageusement être utilisés dans des injecteurs de moteurs à explosion à injection directe, notamment de moteurs Diesel, et dans des pièces mobiles d'actionneurs électromagnétiques commandant le mouvement des soupapes de moteurs à combustion interne.

Revendications

1. Alliage fer-cobalt, caractérisé en ce qu'il comporte en pourcentages pondéraux :

- de 10 à 22% de Co ;
- de traces à 2,5% de Si ;
- de traces à 2% d'Al ;
- de 0,1 à 1% de Mn ;
- de traces à 0,0100% de C ;
- une somme des teneurs en O, N et S comprise entre des traces et 0,0070% ;
- une somme des teneurs en Si, Al, Cr, V, Mo, Mn comprise entre 1,1 et 3,5%, de préférence entre 1,5 et 3,5% ;
- une somme des teneurs en Cr, Mo et V comprise entre des traces et 3% ;
- une somme des teneurs en Ta et Nb comprise entre des traces et 1% ;

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration,

en ce que :

$$1,23 \times (\text{Al} + \text{Mo})\% + 0,84 (\text{Si} + \text{Cr} + \text{V})\% - 0,15 \times (\text{Co}\% - 15) \leq 2,1$$

et en ce que :

$$14,5 \times (\text{Al} + \text{Cr})\% + 12 \times (\text{V} + \text{Mo})\% + 25 \times \text{Si}\% \geq 40.$$

2. Alliage fer-cobalt selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comporte 14 à 20% de Co.
3. Alliage fer-cobalt selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la somme des teneurs en Ta et Nb est comprise entre 0,05 et 0,8%.
4. Alliage fer-cobalt selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la somme de ses teneurs en Cr et V est comprise entre 1,1 et 3%, de préférence entre 1,5 et 3%, et **en ce que** la somme de ses teneurs en Si, Al et Mo est comprise entre des traces et 1%.
5. Alliage fer-cobalt selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** son allongement à la rupture est $\geq 35\%$.
6. Alliage fer-cobalt selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la somme de ses teneurs en Si et Al est comprise entre 1 et 2,6%, et **en ce que** la somme de ses teneurs en Cr, V, Mo, Ta, Nb est comprise entre des traces et 2%.
7. Alliage fer-cobalt selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** sa dureté HV est ≥ 200 après recuit.
8. Alliage fer-cobalt selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** son aimantation à saturation est $\geq 2,1$ T à 150°C et 2,12 T à 20°C, et **en ce que** sa résistivité est $\geq 35 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ à 150°C et $\geq 31 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ à 20°C.
9. Alliage fer-cobalt selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** son champ coercitif à 20 et 150°C est inférieur à 1,5 Oe, de préférence inférieur à 1 Oe.
10. Barre, fil ou plaque en alliage fer-cobalt, **caractérisé en ce que** ledit alliage est du type selon l'une des revendications 1 à 9, et **en ce que** la barre, le fil ou la plaque présente une texture de fibre préférentielle d'axe $\langle 100 \rangle$ déviée de moins de 20° par rapport à la direction de laminage à chaud, pour au moins 30% (en volume du matériau) des grains, de préférence pour au moins 50%.
11. Plaque ou tôle laminée en alliage fer-cobalt, **caractérisée en ce que** ledit alliage est du type selon l'une des revendications 1 à 9 et **en ce qu'elle** présente une composante forte de texture d'axe $\langle 100 \rangle$ déviée de moins de 20° par rapport à la direction de laminage à chaud, pour au moins 30% (en volume du matériau) des grains, de préférence pour au moins 50%.
12. Procédé de production d'une barre, d'un fil, d'une plaque ou d'une tôle laminée selon la revendication 10 ou 11, **caractérisé en ce qu'on** élabore une barre, un fil, une plaque ou une tôle laminée à partir d'une ébauche en un alliage selon l'une des revendications 1 à 9 en effectuant un laminage avec un taux de corroyage en phase ferritique d'au moins 30%, de préférence au moins 50%, et **en ce qu'un** éventuel recuit ultérieur est effectué à une température inférieure à la température de transformation austénitique.
13. Noyau mobile d'actionneur électromagnétique, **caractérisé en ce qu'il** a été fabriqué à partir d'une barre ou d'un fil ou d'une plaque ou d'une tôle laminée selon la revendication 10 ou 11.
14. Actionneur électromagnétique comportant un noyau mobile en alliage fer-cobalt, **caractérisé en ce que** ledit noyau est du type selon la revendication 13 et **en ce que** la texture préférentielle dudit noyau comporte un axe $\langle 100 \rangle$ sensiblement parallèle à la direction principale du champ d'excitation.
15. Injecteur pour moteur à explosion à régulation électronique comportant un actionneur électromagnétique, à forte puissance volumique, faible temps de réponse et grande fiabilité d'utilisation, **caractérisé en ce que** ledit actionneur

est du type selon la revendication 14.

16. Actionneur électromagnétique de soupape de moteur à combustion interne à commande électronique, **caractérisé en ce qu'il** est du type selon la revendication 14.

Claims

1. Iron-cobalt alloy, **characterized in that** it comprises, in percentages by weight:

- from 10 to 22% of Co;
- from traces to 2.5% of Si;
- from traces to 2% of Al;
- from 0.1 to 1% of Mn;
- from traces to 0.0100% of C;
- a sum of the O, N and S contents of between traces and 0.0070%;
- a sum of the Si, Al, Cr, V, Mo and Mn contents of between 1.1 and 3.5%, preferably between 1.5 and 3.5%;
- a sum of the Cr, Mo and V contents of between traces and 3%;
- a sum of the Ta and Nb contents of between traces and 1%;

the balance being iron and impurities resulting from the smelting,
in that:

$$1.23 (Al + Mo) \% + 0.84 (Si + Cr + V) \% - 0.15 (Co\% - 15) \leq 2.1$$

and **in that:**

$$14.5 (Al + Cr) \% + 12 (V + Mo) \% + 25Si\% \geq 40.$$

2. Iron-cobalt alloy according to Claim 1, **characterized in that** it contains 14 to 20% Co.
3. Iron-cobalt alloy according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the sum of the Ta and Nb contents is between 0.05 and 0.8%.
4. Iron-cobalt alloy according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the sum of its Cr and V contents is between 1.1 and 3%, preferably between 1.5 and 3%, and **in that** the sum of its Si, Al and Mo contents is between traces and 1%.
5. Iron-cobalt alloy according to Claim 4, **characterized in that** its elongation at break is $\geq 35\%$.
6. Iron-cobalt alloy according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the sum of its Si and Al contents is between 1 and 2.6% and **in that** the sum of its Cr, V, Mo, Ta and Nb contents is between traces and 2%.
7. Iron-cobalt alloy according to Claim 6, **characterized in that** its hardness HV is ≥ 200 after annealing.
8. Iron-cobalt alloy according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** its saturation magnetization is ≥ 2.1 T at 150°C and ≥ 2.12 T at 20°C and **in that** its resistivity is $\geq 35 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ at 150°C and $\geq 31 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ at 20°C .
9. Iron-cobalt alloy according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** its coercive field at 20°C and 150°C is less than 1.5 Oe, preferably less than 1 Oe.
10. Bar, rod or plate made of iron-cobalt alloy, **characterized in that** said alloy is of the type according to one of Claims 1 to 9 and **in that** the bar, rod or plate has a preferential $\langle 100 \rangle$ axis fiber texture deviating by less than 20° with respect to the hot rolling direction, for at least 30% (by volume of the material), preferably for at least 50%, of the grains.

11. Rolled plate or sheet made of iron-cobalt alloy, **characterized in that** said alloy is of the type according to one of Claims 1 to 9 and **in that** it has a strong <100> axis texture component deviating by less than 20° with respect to the hot rolling direction, for at least 30% (by volume of the material), preferably for at least 50%, of the grains.

12. Process for producing a rolled bar, rod, plate or sheet according to Claim 10 or 11, **characterized in that** a rolled bar, rod, plate or sheet is produced from a blank made of an alloy according to one of Claims 1 to 9 by carrying out a rolling operation with a deformation ratio in the ferritic phase of at least 30%, preferably at least 50%, and **in that** an optional subsequent annealing treatment is carried out at a temperature below the austenitic transformation temperature.

13. Moving core for an electromagnetic actuator, **characterized in that** it has been manufactured from a rolled bar or rod or plate or sheet according to Claim 10 or 11.

14. Electromagnetic actuator comprising a moving core made of an iron-cobalt alloy, **characterized in that** said core is of the type according to Claim 13 and **in that** the preferential texture of said core has a <100> axis approximately parallel to the principal direction of the excitation field.

15. Injector for an internal combustion engine controlled by electronic regulation, comprising an electromagnetic actuator having a high volume power, a short response time and high reliability in use, **characterized in that** said actuator is of the type according to Claim 14.

16. Electromagnetic actuator for the electronically controlled valves of an internal combustion engine, **characterized in that** it is of the type according to Claim 14.

Patentansprüche

1. Eisen-Cobalt-Legierung, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie in Gewichtsprozent Folgendes umfasst:

- 10 bis 22 % Co;
- Spuren bis 2,5 % von Si;
- Spuren bis 2 % von Al;
- 0,1 bis 1 % Mn;
- Spuren bis 0,0100 % von C;
- eine Summe der Gehalte an O, N und S im Bereich zwischen Spuren und 0,0070 %;
- eine Summe der Gehalte an Si, Al, Cr, V, Mo, Mn im Bereich zwischen 1,1 und 3,5 %, bevorzugt zwischen 1,5 und 3,5 %;
- eine Summe der Gehalte an Cr, Mo und V im Bereich zwischen Spuren und 3 %;
- eine Summe der Gehalte an Ta und Nb im Bereich zwischen Spuren und 1 %;

wobei der Rest aus Eisen und Verunreinigungen besteht, die aus der Verarbeitung resultieren, dass:

$$1,23 \times (Al + Mo) \% + 0,84 (Si + Cr + V) \% - 0,15 \times (Co \% - 15) \leq 2,1$$

dass:

$$14,5 \times (Al + Cr) \% + 12 \times (V + Mo) \% + 25 \times Si \% \geq 40.$$

2. Eisen-Cobalt-Legierung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie 14 bis 20 % Co umfasst.

3. Eisen-Cobalt-Legierung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Summe der Gehalte an Ta und Nb im Bereich zwischen 0,05 und 0,8 % liegt.

EP 1 281 182 B1

4. Eisen-Cobalt-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Summe ihrer Gehalte an Cr und V im Bereich zwischen 1,1 und 3 %, bevorzugt zwischen 1,5 und 3 %, liegt, und **dadurch**, dass die Summe ihrer Gehalte an Si, Al und Mo im Bereich zwischen Spuren und 1 % liegt.
5. Eisen-Cobalt-Legierung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ihre Bruchdehnung 35 % beträgt.
6. Eisen-Cobalt-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Summe ihrer Gehalte an Si und Al im Bereich zwischen 1 und 2,6 % liegt, und **dadurch**, dass die Summe ihrer Gehalte an Cr, V, Mo, Ta, Nb im Bereich zwischen Spuren und 2 % liegt.
7. Eisen-Cobalt-Legierung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** ihre Vickershärte nach dem Glühen ≥ 200 beträgt.
8. Eisen-Cobalt-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ihre Sättigungsmagnetisierung $> 2,1 \text{ T}$ bei 150°C ist und $\geq 2,12 \text{ T}$ bei 20°C ist, und **dadurch**, dass ihr spezifischer Widerstand $\geq 35 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ bei 150°C und $\geq 31 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ bei 20°C ist.
9. Eisen-Cobalt-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** ihre Koerzitivkraft bei 20 und 150°C kleiner als $1,5 \text{ Oe}$, bevorzugt kleiner als 1 Oe ist.
10. Stab, Draht oder Platte aus Eisen-Cobalt-Legierung, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung eine Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ist, und **dadurch**, dass der Stab, der Draht oder die Platte eine bevorzugte Fasertextur der [100]-Achse, die, bezogen auf die Warmwalzrichtung, weniger als 20° abweicht, für mindestens 30 % (in Materialvolumen), bevorzugt für mindestens 50 % der Körner, aufweist.
11. Walzplatte oder Walzblech aus Eisen-Cobalt-Legierung, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung eine Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ist, und **dadurch**, dass sie/es einen starken Bestandteil mit Fasertextur der [100]-Achse, die, bezogen auf die Warmwalzrichtung, weniger als 20° abweicht, für mindestens 30 % (in Materialvolumen), bevorzugt für mindestens 50 % der Körner, aufweist.
12. Verfahren zur Herstellung eines Stabs, eines Drahts, einer Platte oder eines Walzblechs nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Stab, ein Draht, eine Platte oder ein Walzblech aus einem Rohling aus einer Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 verarbeitet wird, indem ein Walzen mit einem Verformungsgrad in Ferritphase von mindestens 30 %, bevorzugt mindestens 50 %, durchgeführt wird, und **dadurch**, dass gegebenenfalls anschließend ein Glühen bei einer Temperatur durchgeführt wird, die kleiner ist als die Temperatur der austenitischen Umwandlung.
13. Tauchkern einer elektromagnetischen Stellvorrichtung, **dadurch gekennzeichnet, dass** er aus einem Stab oder einem Draht oder einer Platte oder einem Walzblech nach Anspruch 10 oder 11 gefertigt wurde.
14. Elektromagnetische Stellvorrichtung, die einen Tauchkern aus Eisen-Cobalt-Legierung umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kern ein Kern nach Anspruch 13 ist und **dadurch**, dass die bevorzugte Textur des Kerns eine [100]-Achse umfasst, die im Wesentlichen parallel zur Hauptrichtung des Erregerfelds ist.
15. Einspritzdüse für einen Verbrennungsmotor mit elektronischer Regelung, die eine elektromagnetische Stellvorrichtung mit hoher Leistungsdichte, niedriger Ansprechzeit und großer Betriebszuverlässigkeit umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellvorrichtung eine Stellvorrichtung nach Anspruch 14 ist.
16. Elektromagnetische Stellvorrichtung eines elektronisch gesteuerten Ventils eines Verbrennungsmotors, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine elektromagnetische Stellvorrichtung nach Anspruch 14 ist.

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 [0009]
- WO 9619001 A [0010]
- JP 060933199 B [0011]