

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①① N° de publication :

3 032 204

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

15 50700

⑤① Int Cl⁸ : **C 22 F 1/05** (2016.01), C 22 C 21/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 29.01.15.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.08.16 Bulletin 16/31.

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

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : SAINT JEAN INDUSTRIES Société
par actions simplifiée — FR.

⑦② Inventeur(s) : EPALE ROMAIN et DI SERIO EMILE
THOMAS.

⑦③ Titulaire(s) : SAINT JEAN INDUSTRIES Société par
actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET LAURENT ET CHARRAS.

⑤④ **PIECE EN ALLIAGE D'ALUMINIUM BAS SILICIUM.**

⑤⑦ La pièce en alliage d'aluminium bas silicium comprend
du silicium, du magnésium, du cuivre, du manganèse, du ti-
tane et du strontium ladite pièce étant obtenue par un pro-
cédé selon lequel :

- on coule dans un moule ledit alliage pour obtenir la
pièce,
- après la coulée, on démoule la pièce constituant une
préforme encore chaude,
- on refroidit ladite préforme que l'on soumet ensuite à
une opération apte à la réchauffer à une température com-
prise entre 470 °C et 550 °C,
- on positionne ladite pièce entre deux coquilles d'une
matrice finissant une empreinte de dimensions sensibly-
ment égales, mais inférieures à celle du moule,
- on presse fortement les deux coquilles l'une contre
l'autre pour exercer sur la pièce disposée entre lesdites co-
quilles un effet combiné de pressage et de corroyage super-
ficiel.

FR 3 032 204 - A1



L'invention se rattache au secteur technique de la fonderie, pour la fabrication de pièces aluminium, notamment dans le domaine de l'automobile, de l'aéronautique et plus généralement, tous types d'industries.

Il existe de nombreux alliages dit « bas silicium ». Ces alliages présentent de hautes caractéristiques mécaniques après traitement thermique T6 ($R_{p0,2}$ 300 MPa ; A% 8 %). Ils sont rassemblés dans la série 6000 (Al-Mg-Si) de la classification des alliages d'aluminium. Les plus connus sont les 6082, 6061, 6151. De nombreuses compositions existent également avec des teneurs semblables aux alliages normés, parmi lesquelles on peut citer par exemple le document EP 0 987 344.

Les alliages cités ont été développés pour l'obtention de produits semi-finis (billettes ou lingots pour forge ou laminage) destinés à être transformés lors d'opérations à chaud ou à froid avec de grands taux de déformation ($> 50\%$). De plus les géométries de ces produits semi-finis sont simples (barre, barreau ou lingot) ce qui permet de solidifier ces alliages avec un minimum de défauts en utilisant des procédés avec de hautes vitesses de solidification. Ces géométries et ces procédés conduisent selon des techniques aujourd'hui maîtrisées, à des produits semi-finis exempts de défauts parmi lesquels on peut citer : retassures, criques, macro-ségrégations, macro-précipitations (prévient la formation de précipités trop grossiers, $>100\ \mu\text{m}$).

A partir de cet état de la technique, le problème posé que se propose de résoudre l'invention est de pouvoir réaliser des pièces répondant à des

normes de qualité et de sécurité élevées, et susceptibles d'avoir des formes complexes.

5 Pour résoudre ce problème, l'objet de l'invention porte sur un alliage bas silicium, type 6000, destiné à la fabrication de pièces obtenues par le procédé connu sous la marque COBAPRESS.

10 Plus particulièrement, l'invention concerne une pièce en alliage d'aluminium bas silicium, comprenant du silicium, du magnésium, du cuivre, du manganèse, du titane et du strontium ladite pièce étant obtenue par un procédé selon lequel :

- on coule dans un moule ledit alliage pour obtenir la pièce,
- après la coulée, on démoule la pièce constituant une préforme encore chaude,
- 15 - on refroidit ladite préforme que l'on soumet ensuite à une opération apte à la réchauffer à une température comprise entre 470 °C et 550 °C.
- on positionne ladite pièce entre deux coquilles d'une matrice définissant une empreinte de dimensions sensiblement égales, mais inférieures à celle du moule,
- 20 - on presse fortement les deux coquilles l'une contre l'autre pour exercer sur la pièce disposée entre lesdites coquilles un effet combiné de pressage et de corroyage superficiel.

25 Dans une forme de réalisation, après refroidissement de la préforme, cette dernière est réchauffée en étant disposée dans un four tunnel.

Il résulte de ces caractéristiques que l'opération de fonderie suivie de la forge en une étape de la préforme ne présentent pas les mêmes

paramètres de températures, vitesse de solidification, taux de déformation, température de forge que les procédés de l'état antérieur de la technique.

L'alliage revendiqué répond à ces contraintes et permet d'obtenir des pièces avec une qualité satisfaisante, tout particulièrement si celles-ci relèvent d'une obligation de sécurité (pièce de liaison au sol = pièces de sécurité).

Parmi ces contraintes, on note, à titre d'exemple :

- 10 - la géométrie de la préforme, contrairement à des barreaux ou des lingots, comprend dès sa conception les ébauches des zones fonctionnelles de la pièce et peut donc avoir une géométrie complexe comprenant des nervures ou des variations de section conduisant à des masses isolées de métal liquide. Ces masses isolées peuvent être « tolérées » en
15 augmentant le taux de silicium (type AS7G03, alliage standard de fonderie). Une diminution de ce taux rend l'alliage plus sensible lors de la solidification et conduit à des défauts de retassure (porosités) plus nombreux et d'un volume plus important.
- 20 - l'intervalle de solidification, qui est défini par la différence entre la température de liquidus et la température eutectique de l'alliage considéré. Pour un alliage, type AS7G03 modifié au strontium, cet intervalle est de 50 °C env. (611 °C – 562 °C). Pour un alliage bas silicium type 6000, il est de l'ordre
25 de 90 °C (655 °C – 562 °C) en retenant la précipitation des Mg_2Si macroscopiques (ou du silicium) comme pseudo palier eutectique. Un intervalle de solidification grand conduit à une zone pâteuse plus étendue à travers la pièce, de sorte qu'il devient plus difficile de diriger le front de solidification pour

réduire les défauts comme cela se fait traditionnellement et presque naturellement avec un alliage AS7G03.

- 5 - l'AS7G03 a une sensibilité presque nulle à la crique du fait de la grande quantité d'eutectique qui va pouvoir combler les criques qui apparaissent lors du retrait en solidification. Ce n'est pas le cas d'un alliage bas silicium, qui comporte très peu d'eutectique ce qui entraîne une forte sensibilité à la crique et demande d'adapter la composition et de maîtriser les gradients thermiques de solidification.
- 10

Il est également nécessaire d'ajuster la composition chimique pour obtenir le meilleur compromis entre les paramètres de fonderie, de forge, de traitement thermique et les caractéristiques mécaniques voulues sur pièces finies. Dans ce but on détaille ci-après chacun des éléments de l'alliage, leur teneur et les effets ayant conduit à retenir ces valeurs :

15

Le taux de silicium est compris entre 0,5 et 3 %. Un taux de silicium inférieur à 1%, conduit aux limites élastiques et allongements les plus élevés. Cependant, il s'agit du taux pour lequel l'alliage est le plus sensible à la crique et a la plus faible coulabilité. Il est donc nécessaire de pouvoir adapter le taux de silicium en fonction de la géométrie de la pièce. Des géométries complexes demanderont un taux plus élevé afin de réduire cette sensibilité à la crique. Le taux maximum de 3% correspondant à un taux au-delà duquel l'allongement et la limite élastique deviennent trop faibles pour qu'il soit toujours intéressant de produire avec un alliage de ce type.

20

25

Le taux de magnésium est compris entre 0,65 et 1 %. Ce taux permet d'optimiser la densité de précipités Mg_2Si dans la matrice aluminium. Il

compense la diminution du taux de silicium tout en ayant un minimum de précipités Mg_2Si macroscopiques qui sont endommageant et doivent être dissouts ou transformés lors du traitement thermique. Si les précipités sont trop nombreux, ou trop gros, le traitement thermique n'aura qu'un faible effet pour leur dissolution, la taille critique de dissolution ayant été dépassée.

Le taux de cuivre est compris entre 0,20 et 0,40 %. Ce taux permet la formation de précipités Al_2Cu dans la matrice et l'absence totale de précipités Al_2Cu macroscopiques. L'absence de ces précipités macroscopiques permet de conserver des températures de forge élevées et ainsi de minimiser les efforts de forge (qui est réalisée en une seule étape). En effet, les principaux précipités formés en présence de cuivre sont Al_2Cu et $AlMgSiCu$ fondant respectivement à 490 °C et 525 °C, leur présence empêcherait de forger à des températures plus élevées sans risque de brûlure de l'alliage qui rendrait les pièces inutilisables. Cette dégradation s'apparente à une destruction de l'alliage. Un taux de cuivre plus élevé augmente aussi la sensibilité à la crique de l'alliage, car il reste un eutectique à solidifier à des températures faibles (490 °C ou 525 °C) pour lesquels les contraintes mécaniques (liées au retrait de solidification) exercées sur la pièce sont importantes.

Le taux de manganèse est compris entre 0,15 et 0,25 %. Ce taux évite la formation de précipités $AlFeSi$ sous forme β (plaque très endommageante) et permet de former plutôt des précipités $AlFeMnSi$ sous forme α (écriture chinoise moins endommageante). Ceci permet de maximiser l'allongement sur pièce finie résultant du procédé Cobapress. Cet effet est le plus souvent utilisé avec des quantités plus importantes de manganèse et de fer, ces deux éléments conduisant à un fort durcissement de l'alliage mais également à de

plus gros précipités lors de la solidification. Ces gros précipités sont pénalisants pour un bon allongement. Cependant, l'alliage selon l'invention est destiné, comme indiqué, au procédé COBAPRESS, selon lequel on forge en une seule étape, qui ne présente pas les grandes déformations rencontrées en forge, laminage ou extrusion. Ces grandes déformations permettent de fragmenter ces gros précipités et de les rendre beaucoup moins endommageant tout en conservant leur effet durcissant. Dans le cas de l'alliage, selon l'invention, il convient de minimiser dès la coulée l'impact des précipités à base de fer sur les caractéristiques mécaniques. En effet, leur morphologie ne sera plus modifiée, la forge en une étape ne déformant pas suffisamment la pièce pour changer leur morphologie. Enfin, ce taux de manganèse est adapté aux vitesses de refroidissement obtenues lors de la coulée en moule permanent, en regard de ces vitesses, il favorise la formation de précipités AlFeMnSi sous-forme α .

Le taux de titane est compris entre 0,10 et 0,20 %. Ce taux est nécessaire pour une germination efficace des grains et une taille de grain fine qui a un effet important sur les caractéristiques mécaniques de ces alliages.

Le taux de strontium est compris entre 0 et 120 ppm. Ce taux est nécessaire pour avoir une solidification fibreuse des faibles quantités d'eutectique qui se forment. Ceci se produit majoritairement pour des taux de silicium supérieurs à 1,5 %.

On a vu que la composition de cet alliage est adaptée pour conduire à une solidification qui permettra de maximiser les caractéristiques mécaniques malgré les faibles niveaux de déformation rencontrés lors du procédé Cobapress.

Toutefois, des défauts de solidification persistent, défauts de solidification intergranulaire de retassure localisée aux joints de grains avec une morphologie ramifiée et diffuse qui fragilise la pièce de fonderie.

L'opération de forge Cobapress permet de refermer et de ressouder ces défauts avec une maîtrise en conception du taux de déformation. Le couple température/déformation permet une ressoudure des défauts. Le tableau, ci-dessous, présente les caractéristiques mécaniques sur pièce de fonderie et sur pièces, selon le procédé Cobapress, après traitement thermique T6 de l'alliage bas silicium. On peut noter l'amélioration de limite à rupture R_m et de l'allongement à rupture :

ETATS	$R_{p0,2}$ [Mpa]	R_m [Mpa]	A% [%]
Fonderie AlMgSiCu + T6	300	315	1,3
Cobapress™ AlMgSiCu + T6	300	340	8

R_p = Limite élastique

R_m = Résistance mécanique

15 A% = Allongement

Enfin, cette composition permet de diminuer la complexité du traitement thermique usuel pour des alliages type Al-Mg-Si-Cu. Le taux de silicium, les vitesses de solidification et l'affinage du grain conduisent à des précipités macroscopiques Mg_2Si dont la taille et la morphologie facilite la dissolution lors du traitement thermique.

On renvoie aux figures des dessins annexés représentant la micrographie d'une pièce, afin de montrer l'importance du taux de manganèse et de cuivre. La figure 1 montre une microstructure de fonderie, sans manganèse, précipités « en aiguilles », type β , tandis que la figure 2 montre la monostructure avec manganèse, précipités « en écriture chinoise », type α .

Les figures 3, 4 et 5 montrent l'élimination des précipités de cuivre Al_2Cu .

Aux figures 3 et 4, le taux de cuivre est supérieur à 0,40%, ce qui entraîne la présence de précipités Al_2Cu . La figure 4 montre un exemple où
5 l'on peut observer les précipitations AlFeMnSi et Mg_2Si entourés de précipités Al_2Cu .

La figure 5 montre une teneur en cuivre comprise entre 0,20% et 0,40%, selon l'invention, montrant une absence de précipités Al_2Cu .

REVENDICATIONS

- 5 -1- Pièce en alliage d'aluminium bas silicium, comprenant du silicium, du magnésium, du cuivre, du manganèse, du titane et du strontium ladite pièce étant obtenue par un procédé selon lequel :
- on coule dans un moule ledit alliage pour obtenir la pièce,
 - après la coulée, on démoule la pièce constituant une préforme encore chaude,
 - on refroidit ladite préforme que l'on soumet ensuite à une opération
 - 10 apte à la réchauffer à une température comprise entre 470 °C et 550 °C,
 - on positionne ladite pièce entre deux coquilles d'une matrice finissant une empreinte de dimensions sensiblement égales, mais inférieures à celle du moule,
 - 15 - on presse fortement les deux coquilles l'une contre l'autre pour exercer sur la pièce disposée entre lesdites coquilles un effet combiné de pressage et de corroyage superficiel.
- 20 -2- Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que le taux de silicium est compris entre 0,5 et 3%.
- 3- Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que le taux de magnésium est compris entre 0,65 et 1%.
- 25 -4- Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que le taux de cuivre est compris entre 0,20 et 0,40%.
- 5- Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que le taux de manganèse est compris entre 0,15 et 0,25%.

-6- Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que le taux de titane est compris entre 0,10 % et 0,20 %.

5 -7- Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que le taux de strontium est compris entre 0 et 120 ppm.

-8- Utilisation d'une pièce, selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans le domaine de l'automobile.

10 -9- Utilisation de l'alliage, selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans le domaine de l'aéronautique.

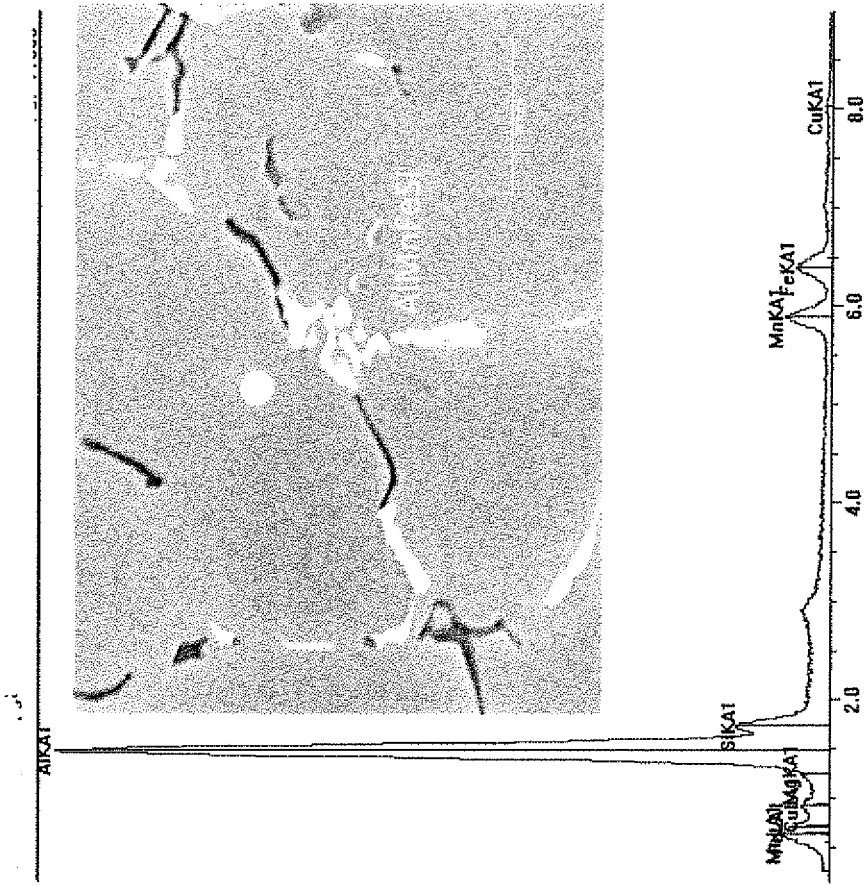


FIG. 2

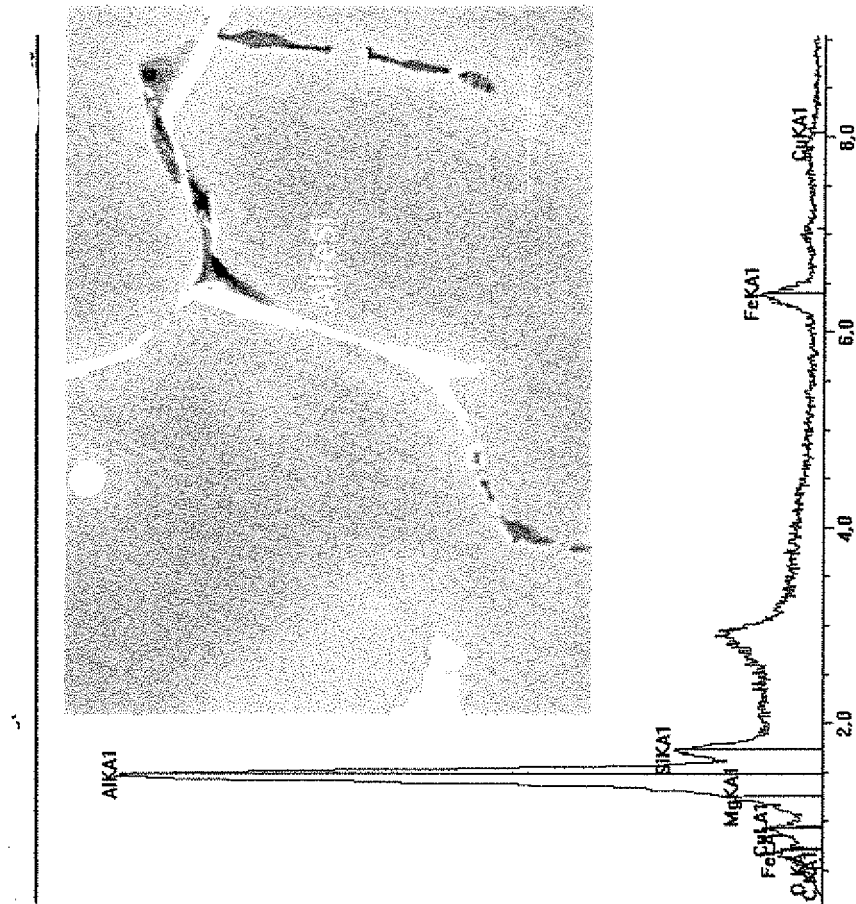


FIG. 1

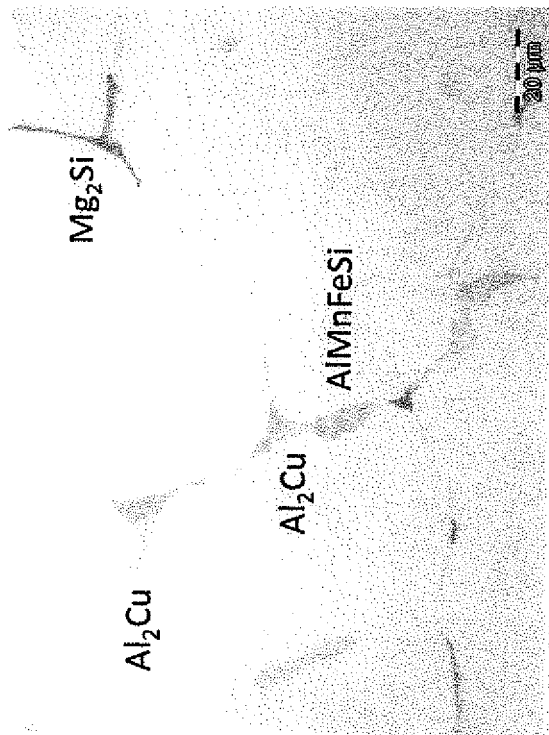


FIG.4

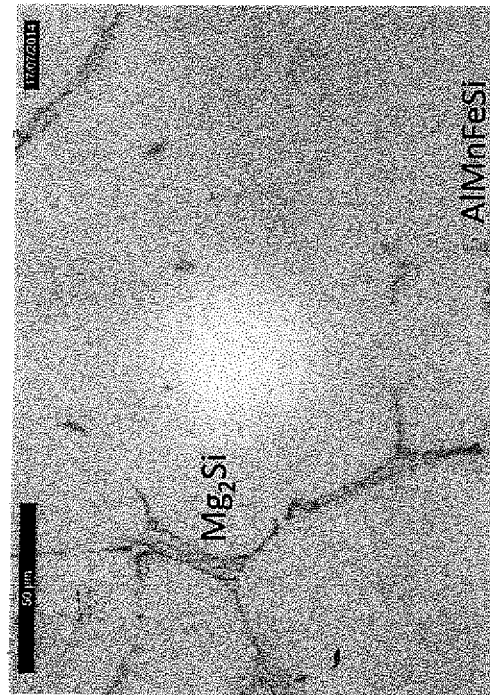


FIG.5

I _1419_S001.pgt FS: 2250

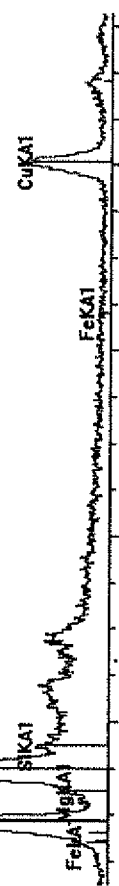


FIG.3



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 806107
FR 1550700

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2010/288401 A1 (HENNINGS ANDREAS [DE] ET AL) 18 novembre 2010 (2010-11-18) * alinéas [0030], [0032] * -----	1-9	C22F1/05 C22C21/00
X	Perrier, F. et al.: "RESPONSE TO THE ARTICLE: EFFECT OF PROCESS ROUTE ON THE STRUCTURE, TENSILE AND FATIGUE PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOY AUTOMOTIVE STEERING KNUCKLES", INTERNATIONAL FOUNDRY REASEARCH Casting process International Foundry Research, 1 janvier 2014 (2014-01-01), XP055204047, Extrait de l'Internet: URL:http://www.st-ji.com/images/stories/publications_techniques/2014-international-foundry-research.pdf [extrait le 2015-07-22] * abrégé; tableau 1 * ----- -/--	1-9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) C22C B21J B22D C22F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 juillet 2015		González Junquera, J	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 806107
FR 1550700

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	ANYALEBECHI, P.A.: "EFFECT OF PROCESS ROUTE ON THE STRUCTURE, TENSILE AND FATIGUE PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOY AUTOMOTIVE STEERING KNUCKLES", EFFECT OF PROCESS ROUTE ON THE STRUCTURE, TENSILE AND FATIGUE PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOY AUTOMOTIVE STEERING KNUCKLES International Foundry Research, 1 janvier 2011 (2011-01-01), XP055204046, Extrait de l'Internet: URL: http://www.researchgate.net/profile/Princewill_Anyalebechi/publication/236019996_Effect_of_Process_Route_on_the_Structure_Tensile_Fatigue_Properties_of_Aluminum_Alloy_Steering_Knuckles/links/54a2c5a20cf267bdb9042723.pdf?disableCoverPage=true [extrait le 2015-07-22] * abrégé; tableau 1 *	1-9	
A	EP 0 987 344 A1 (KOBE STEEL LTD [JP]) 22 mars 2000 (2000-03-22) * revendication 1; tableau 1 *	1-9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 juillet 2015		González Junquera, J	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1550700 FA 806107

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 **24-07-2015**

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 2010288401 A1		18-11-2010	CN 101855375 A	06-10-2010
			DE 102008055928 A1	27-08-2009
			DE 112008003601 A5	07-10-2010
			FR 2923493 A1	15-05-2009
			US 2010288401 A1	18-11-2010
			WO 2009059593 A2	14-05-2009

EP 0987344 A1		22-03-2000	CA 2281444 A1	25-02-2000
			DE 69921925 D1	23-12-2004
			DE 69921925 T2	10-11-2005
			EP 0987344 A1	22-03-2000
			US 6630037 B1	07-10-2003
