Office de la Propriété Intellectuelle du Canada
Un organisme d'Industrie Canada

Canadian Intellectual Property Office
An agency of Industry Canada

CA 2471501 A1 2003/08/14

(21) 2 471 501

(12) DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION

(13) A1

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2003/02/03
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2003/08/14
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2004/06/21
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2003/000318
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2003/066919
(30) Priorité/Priority: 2002/02/05 (02/01346) FR

(51) Cl.Int.^{7}/Int.Cl.^{7} C22C 21/02, C22F 1/043

(71) Demandeur/Applicant:
PECHINEY RHENALU, FR

(72) Inventeurs/Inventors:
HOFFMANN, JEAN-LUC, FR;
SHAHANI, RAVI, FR;
REBUFFET, OLIVIER, FR

(74) Agent: OGILVY RENAULT

(54) Titre : TOLE EN ALLIAGE AL-SI-MG POUR PEAU DE CARROSSERIE AUTOMOBILE
(54) Title: AL-SI-MG ALLOY SHEET METAL FOR MOTOR CAR BODY OUTER PANEL

(57) Abrégé/Abstract:
L'invention a pour objet une tôle pour pièce de peau de carrosserie de voiture, d'épaisseur comprise entre 0,8 et 1,2 mm, de composition (% en poids) : Fe : 0,25-0,40 et de préférence : 0,25-0,35, Si : 0,90-1,20 et de préférence : 0,95-1,10, Cu : 0,10-0,25 et de préférence : 0,15-0,20, Mg : 0,35-0,50 et de préférence : 0,40-0,50, Mn : 0,05-0,20 et de préférence : 0,08-0,15, autres éléments <0,05 chacun et <0,15 au total, reste aluminium, présentant après mise en solution, trempe, pré-revenu ou réversion, et maturation à température ambiante comprise entre 3 et 6 mois, une limite d'élasticité sens $LR_{0,2}$ inférieure à 160 Mpa, et de préférence à 150 Mpa. On peut obtenir sur la pièce emboutie après cuisson des peintures une limite d'élasticité > 180 Mpa. Les tôles selon l'invention permettent de réduire l'épaisseur des pièces, tout en satisfaisant à toutes les autres propriétés requises.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
14 août 2003 (14.08.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2003/066919 A3

(51) Classification internationale des brevets[7] :
C22C 21/02, C22F 1/043

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2003/000318

(22) Date de dépôt international : 3 février 2003 (03.02.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/01346 5 février 2002 (05.02.2002) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **PECHINEY RHENALU** [FR/FR]; 7, place du Chancelier Adenaeur, F-75116 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **HOFFMANN, Jean-Luc** [FR/FR]; 14, avenue Ernest Ruben, F-87000 Limoges (FR). **SHAHANI, Ravi** [GB/FR]; 2, rue des Mésanges, F-68280 Andolsheim (FR). **REBUFFET, Olivier** [FR/FR]; 5, rue Thiers, F-38000 Grenoble (FR).

(74) Mandataire : **PECHINEY**; Mougeot, Jean-Claude, 217, cours Lafayette, F-69451 Lyon Cedex 06 (FR).

(81) États désignés *(national)* : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(régional)* : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :
— *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii)) pour la désignation suivante US*
— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement*

Publiée :
— *avec rapport de recherche internationale*

(88) Date de publication du rapport de recherche internationale: 8 avril 2004

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: AL-SI-MG ALLOY SHEET METAL FOR MOTOR CAR BODY OUTER PANEL

(54) Titre : TOLE EN ALLIAGE AL-SI-MG POUR PEAU DE CARROSSERIE AUTOMOBILE

(57) Abstract: The invention concerns a sheet metal for a motor vehicle body outer panel, having a thickness ranging between 0.8 and 1.2 mm, consisting in wt. % of: Fe: 0.25-0.40 and preferably: 0.25-0.35; Si: 0.90-1.20 and preferably: 0.95-1.10; Cu: 0.10-0.25 and preferably: 0.15-0.20; Mg: 0.35-0.50 and preferably: 0.40-0.50; Mn: 0.05-0.20 and preferably: 0.08-0.15; other elements < 0.05 each and < 0.15 in total, the rest being aluminium, having after solution heat treatment, quenching, pre-tempering or reversion, and maturation at room temperature for 3 weeks to 6 months, an L $R_{0.2}$ direction yield strength less than 160 MPa's, and preferably less than 150 MPa's. A yield strength > 180 MPa's can be obtained on the body stamping part after the paints have been cured. The inventive sheet metal enable to reduce the thickness of parts while satisfying all the other required properties.

(57) Abrégé : L'invention a pour objet une tôle pour pièce de peau de carrosserie de voiture, d'épaisseur comprise entre 0,8 et 1,2 mm, de composition (% en poids) : Fe : 0,25-0,40 et de préférence : 0,25-0,35, Si : 0,90-1,20 et de préférence : 0,95-1,10, Cu : 0,10-0,25 et de préférence : 0,15-0,20, Mg : 0,35-0,50 et de préférence : 0,40-0,50, Mn : 0,05-0,20 et de préférence : 0,08-0,15, autres éléments <0,05 chacun et <0,15 au total, reste aluminium, présentant après mise en solution, trempe, pré-revenu ou réversion, et maturation à température ambiante comprise entre 3 et 6 mois, une limite d'élasticité sens $LR_{0,2}$ inférieure à 160 Mpa, et de préférence à 150 Mpa. On peut obtenir sur la pièce emboutie après cuisson des peintures une limite d'élasticité > 180 Mpa. Les tôles selon l'invention permettent de réduire l'épaisseur des pièces, tout en satisfaisant à toutes les autres propriétés requises.

WO 2003/066919 A3

Tôle en alliage Al-Si-Mg pour peau de carrosserie automobile

Domaine de l'invention

L'invention concerne le domaine des tôles en alliage Al-Si-Mg, plus particulièrement en alliage de type 6016 selon la désignation de l'Aluminum Association, destinées à la fabrication par emboutissage de pièces de peau de carrosserie de voitures, telles que des ailes, des portes, des hayons, des capots ou des toits.

Etat de la technique

L'aluminium est utilisé de manière croissante dans la construction automobile pour réduire le poids des véhicules et ainsi réduire la consommation de carburant et les rejets de polluants et de gaz à effets de serre. Les tôles sont utilisées notamment pour la fabrication de pièces de peau de carrosserie, notamment les ouvrants. Ce type d'application requiert un ensemble de propriétés, parfois antagonistes telles que :

- une formabilité élevée pour les opérations d'emboutissage et de sertissage,
- une limite d'élasticité contrôlée à l'état de livraison de la tôle pour maîtriser le retour élastique,
- une résistance mécanique élevée après cuisson des peintures pour obtenir une bonne résistance à l'indentation tout en minimisant le poids de la pièce,
- une bonne résistance à la corrosion, notamment la corrosion filiforme, de la pièce peinte,
- une bonne qualité de surface après mise en forme et peinture,
- un bon comportement dans les divers procédés d'assemblage utilisés en carrosserie automobile tels que le soudage par points, le soudage laser, le collage, le clinchage ou le rivetage,
- une compatibilité avec les exigences du recyclage des déchets de fabrication ou des véhicules recyclés,
- un coût acceptable pour une production en grande série.

Ces exigences ont conduit au choix des alliages Al-Mg-Si, c'est-à-dire les alliages de la série 6000. En Europe, les alliages 6016 et 6016A, à des épaisseurs de l'ordre de 1 à 1,2 mm, sont les plus utilisés pour cette application, car ils conduisent à un meilleur compromis entre les diverses propriétés requises, en assurant notamment une meilleure formabilité, en particulier pour le sertissage, et une meilleure résistance à la corrosion filiforme que les alliages à teneur en cuivre plus élevée tels que le 6111 largement utilisé aux Etats-Unis. Des alliages de type 6016 sont décrits notamment dans les brevets FR 2360684 d'Alusuisse et EP 0259232 de la demanderesse, tandis que des alliages du type 6111 sont décrits au brevet US 4,614,552 d'Alcan International Ltd. On connaît également des alliages à basse teneur en fer (< 0,2%) tels que ceux décrits aux brevets US 5,525,169 et US 5,919,323 d'Alcoa, et un alliage de ce type a été enregistré comme 6022 Les compositions (% en poids des éléments principaux) des alliages 6016, 6016A, 6022 et 6111 enregistrées à l'Aluminum Association sont indiquées au tableau 1 :

Tableau 1

Alliage	Si	Fe	Mg	Cu	Mn
6016	1,0 – 1,5	< 0,5	0,25 – 0,6	< 0,2	< 0,2
6016A	0,9 – 1,5	< 0,5	0,2 – 0,6	< 0,25	< 0,2
6022	0,8 – 1,5	0,05 – 0,2	0,45 – 0,7	0,01 – 0,11	0,02 – 0,10
6111	0,5 – 1,0	< 0,4	0,5 – 1,0	0,5 – 0,9	< 0,4

Cependant, la résistance mécanique du 6016 après cuisson des peintures, et donc la résistance à l'indentation, reste nettement inférieure à celle du 6111, et ce d'autant plus que la température de cuisson tend à décroître, de sorte que le durcissement au revenu est moins efficace. Pour cette raison, les constructeurs automobiles sont demandeurs d'une résistance mécanique plus élevée après peinture.

Dans ce but, la demanderesse a développé de nouvelles variantes du 6016, en particulier une variante « DR120 » conduisant à une limite d'élasticité à l'état T4 de l'ordre de 120 MPa. Ces développements ont fait l'objet de publications, notamment des articles de R. Shahani et al. « Optimised 6xxx aluminium alloy sheet for autobody outer panels » Automotive Alloys 1999, Proceedings of the TMS Annual

Meeting Symposium, 2000, pp. 193-203, et de D. Daniel et al. « Development of 6xxx Alloy Aluminum Sheet for Autobody Outer Panels : Bake Hardening, Formability and Trimming Performance » IBEC'99 – International Body Engineering Conference, Detroit, 1999, SAE Technical Paper N° 1999-01-3195.

De son côté, Alcan a proposé une nouvelle variante du 6111, dénommée 6111-T4P, conduisant à une limite d'élasticité après cuisson de peinture améliorée (typiquement 270 à 280 MPa) sans réduction de la formabilité à l'état T4. Ce produit a été décrit notamment dans l'article de A.K. Gupta et al. « The Properties and Characteristics of Two New Aluminum Automotive Closure Panel Materials », SAE Technical Paper 960164, 1996. L'article mentionne également un nouvel alliage, dénommé provisoirement 61XX-T4P, dont la composition n'est pas divulguée, conduisant, par rapport au 6111-T4 conventionnel, à une limite d'élasticité plus faible à l'état T4 et une réponse à la cuisson des peintures similaire.

Ces nouveaux développements incluent tous un traitement thermique optimisé de type prérevenu, effectué après la trempe pour améliorer le durcissement à la cuisson des peintures. En effet, en l'absence d'un tel traitement, la cinétique de durcissement à la cuisson diminue avec le temps d'attente à température ambiante entre la trempe et la cuisson, et une attente de plusieurs semaines est pratiquement inévitable en production industrielle. Ce phénomène est connu depuis longtemps, et a été décrit par exemple dans l'article de M. Renouard et R. Meillat : « Le prérevenu des alliages aluminium-magnésium-silicium » Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie, décembre 1960, pp. 930-942.

Pour éviter l'effet défavorable de l'attente, il est nécessaire, soit d'effectuer un prérevenu à l'aide d'une trempe étagée ou d'un traitement thermique juste après la trempe, soit de stocker le métal en congélateur, ce qui n'est guère commode pour la carrosserie automobile, soit de réaliser un traitement de réversion.

La température et la durée du prérevenu pour les alliages 6000 sont décrits par exemple dans l'article de R. Develay « Traitements thermiques des alliages d'aluminium », Techniques de l'Ingénieur, section M 1290, 1986, dans l'article de D.W. Pashley et al. « Delayed ageing in aluminium-magnesium'silicon alloys : effect on structure and mechanical propperties », Journal of the Institute of Metals, n° 94, 1966, pp. 41-49, ou dans le brevet EP 0480402 (Sumitomo Light Metal). Le brevet

FR 1243877 (Cegedur) décrit par ailleurs un four continu apte à effectuer un prérevenu.

Compte tenu du développement de l'utilisation des tôles en alliage d'aluminium pour peau de carrosserie de voitures de grande série, il existe toujours une demande de nuances encore améliorées permettant de réduire les épaisseurs sans altérer les autres propriétés. La réduction des épaisseurs est le plus souvent limitée par l'insuffisance de rigidité de la pièce formée, cette limite se situant à l'épaisseur de la pièce équivalente en acier multipliée par 1,4. Les tôles doivent donc permettre d'obtenir sur la pièce formée après cuisson de peinture une résistance à l'indentation au moins égale à celle des pièces en acier avec un rapport d'épaisseur aluminium/acier de 1,4, tout en ayant une bonne aptitude à l'emboutissage et au sertissage.

Objet de l'invention

Le but de la présente invention est de fournir des tôles en alliage de type 6016 pour peau de carrosserie automobile présentant une composition adaptée au recyclage, une formabilité suffisante pour emboutissage profond et sertissage en conditions sévères, une résistance à l'indentation améliorée par rapport aux tôles de l'art antérieur de type 6016, tout en maîtrisant le retour élastique, une bonne aptitude au collage, une découpe sans formation de paillettes, et une bonne résistance à la corrosion filiforme.

L'invention a pour objet une tôle pour pièce de peau de carrosserie de voiture, d'épaisseur comprise entre 0,8 et 1,2 mm, de composition (% en poids) :

Fe : 0,25 – 0,40	et de préférence :	0,25 – 0,35
Si : 0,90 – 1,20	«	«	0,95 – 1,10
Cu : 0,10 – 0,25	«	«	0,15 – 0,20
Mg : 0,35 – 0,50	«	«	0,40 – 0,50
Mn : 0,05 – 0,20	«	«	0,08 – 0,15

autres éléments < 0,05 chacun et < 0,15 au total, reste aluminium,

présentant après mise en solution, trempe, pré-revenu ou réversion, et maturation à température ambiante comprise entre 3 semaines et 6 mois, une limite d'élasticité sens L $R_{0,2}$ inférieure à 160 MPa, et de préférence à 150 MPa. La limite d'élasticité de la pièce emboutie après un traitement thermique correspondant à la cuisson des peintures est supérieure à 180 MPa, et de préférence à 200 MPa.

Description de l'invention

L'invention repose sur un domaine de composition étroit à l'intérieur de la composition du 6016A enregistrée à l'Aluminum Association, permettant d'obtenir l'ensemble des propriétés recherchées.

La teneur en silicium est dans la partie basse de la fourchette de teneur du 6016A, alors que la teneur en magnésium reste au centre de la fourchette. Cet abaissement de la teneur en silicium contribue à une mise en solution plus complète de l'alliage, favorable à la formabilité. La teneur en fer reste au dessus de 0,25%, ce qui autorise, contrairement aux nuances à bas fer comme le 6022, l'utilisation de métal de recyclage, et se révèle plutôt favorable à l'aspect de surface après emboutissage.

La teneur en cuivre est contrôlée dans des limites très étroites : une teneur d'au moins 0,1%, un peu plus importante que celle des nuances existantes de 6016 ou de 6022, contribue à la résistance mécanique, mais au dessus de 0,25% l'alliage présente un risque de corrosion filiforme. L'alliage doit contenir au moins 0,05% de manganèse, de chrome, de vanadium ou de zirconium pour contrôler la grosseur du grain, et éviter l'apparition de peau d'orange lors de déformations sévères, comme par exemple le sertissage utilisé pour les capots. Inversement, une teneur totale de ces éléments supérieure à 0,20% est défavorable à la formabilité.

Le procédé de fabrication des tôles selon l'invention comporte typiquement la coulée d'une plaque, éventuellement le scalpage de cette plaque, et son homogénéisation ou un simple réchauffage à une température comprise entre 400 et 570°C d'une durée entre 6 et 24 h. Le laminage à chaud se fait de préférence à une température d'entrée supérieure à 510°C, ce qui contribue à améliorer la résistance mécanique par rapport à une température d'entrée plus faible. La température de bobinage de la bande laminée à chaud doit être inférieure à 350°C, et de préférence à 300°C, pour garantir les caractéristiques mécaniques et pour éviter le défaut de lignage. La bande laminée à chaud est ensuite laminée à froid jusqu'à l'épaisseur finale, avec éventuellement un recuit intermédiaire à une température comprise entre 300 et 450°C s'il est effectué en four batch, ou entre 350 et 570°C s'il est effectué en continu. La dernière passe de laminage à froid peut être effectuée avec un cylindre texturé, par exemple par traitement par faisceau d'électrons (EBT), par électro-érosion (EDT) ou par faisceau

laser, ce qui améliore la formabilité et l'aspect de surface de la pièce formée après peinture.

Il est également possible d'utiliser des bandes obtenues directement par coulée continue, soit entre deux cylindres, soit entre deux courroies, et d'effectuer le laminage à froid et les opérations ultérieures dans les mêmes conditions.

La mise en solution se fait à une température au-delà de la température de solvus de l'alliage, tout en évitant la brûlure. La composition selon l'invention permet d'effectuer une mise en solution très complète, se traduisant par une quasi absence de phases de type silicium dans la microstructure et par une très faible aire de pic, de moins de 1 J/g, dans le domaine 565-580°C d'un diagramme d'analyse enthalpique différentielle, l'essai étant effectué avec une vitesse de montée en température de 20°C/mn.

La tôle mise en solution est ensuite trempée, généralement à l'eau froide ou à l'air. La trempe peut être suivie immédiatement d'un traitement thermique de type pré-revenu tel que décrit dans l'art antérieur mentionné ci-dessus, destiné à améliorer les performances du durcissement lors de la cuisson des peintures.

Le pré-revenu n'est pas nécessairement isotherme et sa durée dépend de la température. Pour en tenir compte, on peut définir un temps équivalent t_{eq} par la formule :

$$t(eq) = \frac{\int \exp(-6000/T)dt}{\exp(-6000/T_{ref})}$$

où T (en °K) est la température et t la durée du pré-revenu, T_{ref} étant une température de référence de 373°K, soit 100°C. Il est connu que le pré-revenu, pour être efficace, doit s'effectuer à une température supérieure à 50°C avec un temps équivalent compris entre 0,3 et 20 h. Si le temps équivalent est insuffisant, la cinétique de durcissement à la cuisson des peintures diminue avec le temps d'attente à température ambiante. Si, au contraire, le temps équivalent est trop élevé, les caractéristiques mécaniques augmentent trop au pré-revenu, et la formabilité de la tôle se dégrade. Pour les alliages de type 6016, un temps équivalent de 1 à 10 h, et de préférence 3 à 6 h, est bien adapté.

La tôle est le plus souvent stockée à ce stade pendant un temps plus ou moins long, ce qui conduit à une maturation naturelle qui fait augmenter la limite d'élasticité au fil du temps. Après 3 semaines de maturation, les tôles selon l'invention présentent, à

une épaisseur de l'ordre de 0,9 à 1 mm, une limite d'élasticité sens L de l'ordre de 130 MPa, plus élevée que toutes les variantes de 6016, y compris les nuances à haute résistance DR100 et DR120 décrites dans l'article de R. Shahani et al. mentionné plus haut, et à peine plus faible que celle du 6022. Après 6 mois de maturation, cette limite élastique reste en dessous de 160 MPa, voire 150 MPa, contrairement aux alliages 6022 ou 6111. Cette particularité permet de contrôler le retour élastique lors de la mise en forme, qui devient de plus en plus difficile à prévoir lorsqu'on diminue les épaisseurs et qu'on augmente la limite d'élasticité, ce qui oblige à un grand nombre d'itérations dans la mise au point des outillages d'emboutissage. La tôle peut être, avant mise en forme, revêtue d'un lubrifiant, huile ou lubrifiant sec, adapté à l'emboutissage, l'assemblage et le traitement de surface de la pièce à réaliser.

Les tôles selon l'invention présentent une formabilité, mesurée par le paramètre LDH_0 (« limiting dome height » en déformation plane), meilleure que celle des alliages 6111 et 6022, et aussi bonne que les nuances 6016 à haute résistance

Le paramètre LDH est largement utilisé pour l'évaluation de l'emboutissabilité des tôles d'épaisseur 0,5 à 2 mm. Il a fait l'objet de nombreuses publications, notamment celle de R. Thompson, "The LDH test to evaluate sheet metal formabiblity - Final Report of the LDH Committee of the North American Deep Drawing Research Group", SAE conference, Detroit, 1993, SAE Paper n° 930815.

L'essai LDH est un essai d'emboutissage à flan bloqué en périphérie par un jonc. La pression de serre-flan est contrôlée pour éviter un glissement dans le jonc.. Le flan, de taille 120 x 160 mm, est sollicité dans un mode proche de la déformation plane. La lubrification entre le poinçon et la tôle est assurée par un film plastique et de la graisse (graisse Shell HDM2). La vitesse de descente du poinçon est de 50 mm/mn. La valeur LDH est le déplacement du poinçon à rupture, soit la profondeur limite de l'emboutissage. On établit la moyenne entre trois essais, donnant un intervalle de confiance à 95% sur la mesure de ± 0,2 mm.

Les tôles selon l'invention présentent une aptitude au sertissage meilleure que celle des tôles en alliage 6111 ou 6022 et aussi bonne que les tôles en alliage 6016 à haute résistance de l'art antérieur. Cette aptitude au sertissage est évaluée par un essai de laboratoire comportant un tombage à 90°, un pré-sertissage à 45° et un sertissage final à plat.

Les tôles selon l'invention présentent également une anisotropie de déformation très faible, qu'on peut mesurer par la différence entre le LDH pour une déformation principale parallèle au sens de laminage, et une déformation principale

perpendiculaire au sens de laminage. Cette différence est inférieure à 1 mm, et de préférence à 0,6 mm.

La pièce de peau de carrosserie est généralement réalisée par découpe d'un flan dans la tôle, emboutissage de ce flan et détourage à la presse. Lors de l'emboutissage, il faut éviter l'apparition de lignage (« roping » ou « ridging » en anglais), qui est néfaste pour l'aspect après peinture, et peut diminuer la formabilité, notamment en cas de forte déformation dans le sens perpendiculaire au sens de laminage. Différents moyens ont été proposés dans ce sens, par exemple le contrôle de la température de sortie de laminage à chaud entre 270 et 340°C, comme indiqué dans le brevet EP 0259232 de la demanderesse. On doit également éviter l'apparition à l'emboutissage de « peau d'orange », qui contribue à un défaut d'aspect visible après peinture. Il faut pour cela maintenir une taille de grain de préférence en dessous de 50 µm, ce qui peut être obtenu par la présence dans l'alliage d'une quantité suffisante de manganèse, ou d'autres éléments jouant un rôle similaire tels que le chrome, le vanadium ou le zirconium, par un contrôle de la température et de la durée de la mise en solution et par une réduction suffisante, typiquement d'au moins 30%, par laminage à froid. Pour certaines pièces comme les capots, les bords du flan embouti sont tombés à 90° et on insère un embouti de doublure sur lequel on effectue un pré-sertissage, puis un sertissage final à plat.

Il est également nécessaire d'éviter la formation de paillettes (« slivers ») lors des opérations de découpe des flans et de détourage après emboutissage, ces paillettes pouvant créer ensuite des défauts d'aspect nécessitant des retouches manuelles. La conception de l'outillage de découpe est importante à cet égard, et des recommandations ont été émises dans l'article de D. Daniel et al. cité plus haut.

Après emboutissage et éventuellement sertissage, la pièce est recouverte d'une ou plusieurs couches de peinture, avec pour chacune une étape de cuisson. L'étape critique est la cuisson de la couche de cataphorèse, qui se fait généralement à une température comprise entre 150 et 200°C, pendant 15 à 30 mn. En l'absence de cataphorèse, la température de cuisson dépasse rarement 170°C. La cuisson des peintures joue le rôle d'un traitement de revenu de la pièce. La limite d'élasticité de la pièce réalisée avec une tôle selon l'invention, avec une cuisson de 20 mn à 165°C, est supérieure à 180 MPa, et le plus souvent à 200 MPa. On obtient ainsi, avec une pièce réalisée à partir d'une tôle d'épaisseur 0,9 mm, une résistance à l'indentation

dynamique comparable à celle d'une pièce réalisée à partir d'une tôle d'acier de carrosserie typique de limite d'élasticité de l'ordre de 250 à 300 MPa et d'épaisseur 0,7 mm, ce qui n'est pas le cas pour les autres nuances de 6016.

Les tôles selon l'invention permettent de réaliser les différentes opérations couramment utilisées pour la fabrication des pièces de peau de carrosserie de voiture, telles que le sertissage, le clinchage, le rivetage, le soudage par point, le soudage laser et le collage. En particulier, il est possible de réaliser le collage de joints sertis, utilisé notamment dans la fabrication des capots, sans appliquer au préalable sur les surfaces un traitement chimique tel qu'une conversion chimique ou une passivation, par exemple à l'aide de composés phospho-chromiques, ou de produits à base de titane, de zirconium ou de silanes.

Les pièces réalisées à partir de tôles selon l'invention présentent également après peinture une bonne résistance à la corrosion filiforme, meilleure que celle des alliages à haut cuivre comme le 6111.

Pour des raisons économiques, il peut être intéressant d'associer sur un même véhicule des structures en acier et des pièces de peau en aluminium, par exemple pour des ailes, des pavillons ou des ouvrants. Dans le cas d'un tel assemblage, la difficulté majeure réside dans la gestion des différences de dilatation thermique entre les deux matériaux lors de la cuisson des peintures, notamment lors de la cuisson de cataphorèse qui s'effectue généralement entre 160 et 200°C. En effet, il est indispensable de limiter les déformations résiduelles après cuisson à un niveau acceptable pour l'aspect du véhicule.

Indépendamment de la géométrie des pièces et du mode d'assemblage choisi, les tôles selon l'invention permettent de limiter ces déformations. En effet, la demanderesse a mis en évidence qu'une limite d'élasticité élevée à la température de cuisson, par exemple supérieure à 140 MPa à une température de 160°C pour l'alliage selon l'invention, avait un effet favorable sur le niveau de déformation, si l'assemblage est réalisé après la cuisson, dont il est préférable de limiter la température.

D'autres facteurs peuvent également limiter les déformations, par exemple la présence de nervures destinées à raidir le panneau en aluminium, ou l'espacement des points d'assemblage. On peut aussi utiliser un assemblage avec liaison continue

comme le collage, avec une polymérisation au moins partielle de la colle avant la cuisson, ou un soudage laser par transparence.

Exemples

Exemple 1

On a coulé en plaques d'épaisseur 500 mm les 8 alliages A à I dont la composition (% en poids) est indiquée au tableau 1 :

Tableau 1

Alliage	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
A	1,15	0,31	0,07	0,10	0,41
B	1,0	0,29	0,09	0,11	0,33
C	0,58	0,26	0,79	0,10	0,73
D	0,58	0,26	0,79	0,10	0,73
E	1,22	0,13	0,07	0,08	0,56
F	1,0	0,30	0,35	0,15	0,45
G	1,0	0,30	0,18	0,30	0,45
H	1,0	0,30	0,18	0,05	0,45
I	1,0	0,30	0,18	0,15	0,45

La composition A représente un 6016 classique, B correspond à celle de la nuance DR100 de la demanderesse décrite dans les articles mentionnés plus haut, C et D correspondent à un alliage 6111, E à un alliage 6022. F, G, H et I ont des compositions voisines, différant soit par Cu (F), soit par Mn (G et H) de la composition I selon l'invention.

Les plaques ont été scalpées, homogénéisées 10 h à 570°C, puis laminées à chaud directement sur chaleur d'homogénéisation, d'abord sur un laminoir réversible, puis sur un laminoir tandem. La température de début de laminage était de l'ordre de 540°C, la température de bobinage de la bande à chaud de l'ordre de 310°C.

La bande laminée à chaud jusqu'à 3 mm est ensuite laminée à froid jusqu'à l'épaisseur finale de 1 mm. On a effectué un recuit intermédiaire à l'épaisseur 2,5 mm, soit un recuit « batch » en bobine, avec une montée à 350°C en 10 h, une attente de 2 h et un refroidissement lent, soit un recuit « flash » en four continu, avec une montée à 400°C en une minute environ et refroidissement immédiat. Des échantillons prélevés dans les bandes sont mis en solution à une température de 570°C pendant moins d'une minute, puis trempés à l'eau froide. Un traitement complémentaire de 2 h à 100°C en bain d'huile immédiatement après la trempe, pour simuler un pré-revenu industriel, est appliqué aux échantillons en alliage B, D, F, G, H et I.

On a mesuré la limite d'élasticité $R_{0,2}$ sens L (en MPa) après respectivement 3 semaines et 6 mois de maturation à la température ambiante, puis après un traitement de revenu de 30 mn à 165°C ou à 185°C, simulant le traitement de cuisson des peintures. On a mesuré également la formabilité à l'aide du paramètre LDH (en mm), la déformation principale étant respectivement parallèle et perpendiculaire au sens de laminage. Les résultats sont indiqués au tableau 2 :

Tableau 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Recuit Inter.	batch	batch	batch	batch	Batch	flash	flash	flash	flash
$R_{0,2}$ 3 sem.	121	101	140	139	158	129	123	125	124
$R_{0,2}$ 6 mois	133	112	152	156	173	144	138	142	145
$R_{0,2}$ 165°C	135	157	160	221	163	194	187	.189	191
$R_{0,2}$ 185°C	159	186	190	258	190	228	222	225	225
LDH //	27,4	29,0	25,4	26,1	25,9	27,2	25,9	27,5	28,3
LDH⊥	27,4	28,4	25,6	27,0	25,7	25,3	26,3	26,9	28,2

On constate que l'échantillon I selon l'invention présente, après maturation de 3 semaines, une limite d'élasticité du même ordre que celle du 6016 classique (échantillon A), et nettement inférieure à celle des alliages 6111 (C et D) et 6022 (E). Après 6 mois de maturation, le positionnement de la limite élastique de l'échantillon I par rapport aux échantillons des autres alliages n'a pas changé.

La formabilité, mesurée par le paramètre LDH, est pratiquement aussi bonne que celle du meilleur alliage, c'est-à-dire le DR100. De plus, les valeurs mesurées du LDH dans le sens du laminage et dans le sens perpendiculaire au laminage sont pratiquement identiques, ce qui n'est pas toujours le cas pour les autres échantillons, ce qui permet d'assurer une bonne isotropie au formage.

Inversement, la limite d'élasticité de l'échantillon I après cuisson des peintures lorsqu'on a pratiqué un pré-revenu est élevée, nettement supérieure à celle des alliages 6016 et DR100, du même ordre que celle de l'alliage F plus chargé en cuivre, et se situant entre celles des deux nuances de 6111, ce qui assure une résistance élevée à l'indentation de la pièce finie.

On a évalué également, sur des tôles d'épaisseur 1 mm, le comportement au sertissage, dans le sens parallèle au laminage et dans le sens perpendiculaire, la résistance à la corrosion filiforme après phosphatation, cataphorèse et peinture, ainsi que l'apparition ou non de paillettes ou de filaments lors de la découpe ou du détourage après emboutissage.

L'essai de sertissage se fait en 3 opérations : tombage des bords à 90°C, pré-sertissage à 45° et sertissage à plat sur une tôle de doublure d'épaisseur 0,7 mm. Les bords sertis sont ensuite classés par inspection visuelle, comme indiqué dans l'article de D. Daniel et al. à IBEC 99.

La résistance à la corrosion filiforme est appréciée selon la norme EN 3665, avec des échantillons de dimension 150 x 60 x 1 mm peints et rayés. La procédure d'essai comprend une activation de la corrosion par vapeur d'HCl pendant 1 h, puis une exposition en chambre humide à 40°C pendant 1000 h. On mesure la longueur maximale des filaments de corrosion, avec une moyenne de 3 éprouvettes par cas, avec le classement suivant : < 2 mm : bon 2-5 mm : moyen > 5 mm : mauvais.

L'essai de découpe est décrit dans l'article de D. Daniel et al. à IBEC 99 mentionné ci-dessus. Le jeu était de 10% de l'épaisseur et l'angle de découpe de 0°.

Les résultats sont regroupés au tableau 3 :

Tableau 3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Sert. //	bon	bon	Fissure	fissure	fissure	peau orange	bon	bon	bon
Sert. ⊥	bon	bon	Fissure	fissure	peau orange	peau orange	début fissure	peau orange	bon
Corr. Fil.	bon	bon	mau vais	mau vais	bon	moyen	bon	bon	bon
Paillettes	non	non	fila-ments	fila-ments	paillet-tes	non	non	non	non

On constate que l'échantillon I présente un comportement satisfaisant en ce qui concerne ces différents critères, ce qui permet de réaliser des pièces de carrosserie présentant un aspect irréprochable.

Exemple 2

On a fabriqué des panneaux en alliage d'aluminium de composition indiquée au tableau 4, avec une gamme de fabrication analogue à celle de l'exemple 1, comportant ou non un pré-revenu et un traitement thermique après mise en forme et avant assemblage, comme indiqué également au tableau 4. La dimension des panneaux est de 1,6 m x 0,9 m.

Tableau 4

Tableau 4

Ech.	Alliage	Si (%)	Fe (%)	Mg (%)	Cu (%)	Mn (%)	t_{eq} pré-revenu	Recuit
J	Inv.	1,05	0,25	0,45	0,19	0,14	5 h	4h-185°
K	Inv.	1,05	0,25	0,45	0,19	0,14	5 h	Non
L	6111	0,70	0,25	0,60	0,69	0,21	-	Non
M	DR100	1,03	0,26	0,32	0,07	0,11	5 h	Non
N	6016	1,03	0,26	0,32	0,07	0,11	-	Non

Pour chaque alliage, on a testé trois panneaux avec des géométries différentes comportant chacun des nervures obtenues par pliage et parallèles au petit côté du rectangle.

Ces panneaux ont été rivetés sur des cadres rectangulaires en acier pour simuler le cas de tôles de peau en alliage d'aluminium sur une structure en acier d'un véhicule. L'assemblage est effectué par rivetage avec un pas de 50 mm sur les côtés longs des rectangles. Après un traitement thermique de 20 mn à 160°C simulant la cuisson de la cataphorèse, on a observé les déformations résiduelles des panneaux. On a mesuré également les caractéristiques mécaniques (résistance à la rupture R_m et limite d'élasticité $R_{0,2}$ (en MPa) des panneaux à la température ambiante et à la température de cuisson de 160°C, avec une vitesse de montée en température d'environ 20°C/mn.

Les résultats sont indiqués au tableau 5.

Tableau 5

Ech.	Déform. panneau 1	Déform. panneau 2	Déform. panneau 3	$R_{0,2}$ ambiante	R_m ambiante	$R_{0,2}$ 160°C	R_m 160°C
J	Très faible			261	321	239	250
K	Faible	Très faible	Très faible	160	282	148	208
L	Forte			164	309	137	220
M	Forte	faible	Très faible	142	263	127	186
N	Très faible			122	230	106	161

On constate que l'alliage selon l'invention permet de diminuer les déformations résiduelles après cuisson. La performance des alliages est bien corrélée avec la limite d'élasticité à la température de cuisson. Enfin, un traitement thermique avant assemblage et l'ajout de nervures sont bénéfiques pour réduire les déformations.

Exemple 3

On a évalué la résistance à l'indentation dynamique d'une tôle d'épaisseur 1 mm élaborée avec une gamme de fabrication du type de celle de l'exemple 1, comportant un pré-revenu de temps équivalent 5 h, et un traitement thermique de 20 mn à différentes températures simulant une cuisson des peintures, en alliage selon l'invention et en alliage 6016 DR100, en comparaison avec celle d'une tôle en acier de limite d'élasticité 290 MPa après cuisson des peintures, d'épaisseur 0,7 mm. Cette valeur de 290 MPa après cuisson pour la limite d'élasticité d'une tôle d'acier de carrosserie correspond approximativement à la moyenne des limites d'élasticité des tôles d'acier utilisées pour les peaux de carrosserie des voitures européennes récentes les plus courantes. Une épaisseur de 1 mm pour une tôle d'aluminium représente un allongement d'environ 50% par rapport à une tôle en acier d'épaisseur 0,7 mm.

Le dispositif utilisé pour l'essai d'indentation comporte un indenteur de diamètre 15 mm et de poids 138 g, lâché d'une hauteur de 1 m, à une vitesse de 16 km/h environ, sur l'échantillon de tôle bridé entre deux plaques d'acier. On mesure la profondeur d'indentation permanente (en mm). Les résultats sont indiqués au tableau 6.

Tableau 6

Température cuisson	$R_{0,2}$ All. inv.	$R_{0,2}$ DR100	$R_{0,2}$ acier	Indent. All. inv.	Indent. DR100	Indent. acier
170°C	193	161	290	1,55	1,80	1,45
185°C	217	189	290	1,45	1,62	1,45
205°C	230	207	290	1,38	1,46	1,45

On constate que, pour une température de cuisson des peintures de 185°C, la tôle d'épaisseur 1 mm selon l'invention présente la même résistance à l'indentation qu'e la tôle d'acier 0,7 mm. Pour l'alliage DR100, ceci n'est vrai que pour une température de cuisson des peintures de 205°C, plus élevée que les températures utilisées habituellement par les constructeurs automobiles. Un alliage plus résistant tel que le 6111 augmenterait la résistance à l'indentation au-delà des besoins du marché, mais au détriment de la formabilité, notamment lors du sertissage.

Revendications

1. Tôle pour pièce de peau de carrosserie de voiture, d'épaisseur comprise entre 0,8 et 1,2 mm, de composition (% en poids) :

Fe : 0,25 – 0,40	et de préférence :	0,25 – 0,35
Si : 0,90 – 1,20	«	«	0,95 – 1,10
Cu : 0,10 – 0,25	«	«	0,15 – 0,20
Mg : 0,35 – 0,50	«	«	0,40 – 0,50
Mn : 0,05 – 0,20	«	«	0,08 – 0,15

autres éléments < 0,05 chacun et < 0,15 au total, reste aluminium,

présentant après mise en solution, trempe, pré-revenu ou réversion, et maturation à température ambiante comprise entre 3 semaines et 6 mois, une limite d'élasticité $R_{0,2}$ sens L inférieure à 160 MPa.

2. Tôle selon la revendication 1, présentant après mise en solution, trempe, pré-revenu ou réversion, et maturation à température ambiante comprise entre 3 semaines et 6 mois, une limite d'élasticité $R_{0,2}$ sens L inférieure à 150 MPa.

3. Tôle selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que la mise en solution est faite de sorte que l'aire de pic, dans le domaine 565-580°C d'un diagramme d'analyse enthalpique différentielle, l'essai étant effectué avec une vitesse de montée en température de 20°C/mn, est de moins de 1 J/g.

4. Tôle selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le pré-revenu se fait à une température et une durée telles que le temps équivalent t_{eq} défini par la relation : $t(eq) = \dfrac{\int \exp(-6000/T)dt}{\exp(-6000/T_{ref})}$

dans laquelle T et t sont la température en °K et la durée du pré-revenu, et T_{ref} = 373°K, est compris entre 1 et 10 h.

5. Tôle selon la revendication 4, caractérisée en ce que t_{eq} est compris entre 3 h et 6 h.

6. Tôle selon l'une des revendications 1 à 5 présentant une anisotropie de formabilité LDH_0 entre le sens de laminage et le sens perpendiculaire inférieure à 1 mm.

7. Tôle selon la revendication 6, présentant une anisotropie de formabilité LDH_0 entre le sens de laminage et le sens perpendiculaire inférieure à 0,6 mm.

8. Tôle selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce qu'elle présente une limite d'élasticité mesurée à 160°C supérieure à 140 MPa.

9. Tôle selon l'une des revendications 1 à 8, présentant une taille de grain < 50 µm.

10. Tôle selon l'une des revendications 1 à 9, présentant une surface texturée.

11. Tôle selon l'une des revendications 1 à 10 recouverte d'un lubrifiant sec.

12. Pièce de peau de carrosserie réalisée à partir d'une tôle selon l'une des revendications 1 à 11, présentant à l'état mis en solution, trempé, mûri, embouti et revenu par cuisson de peinture une limite d'élasticité $R_{0,2}$ (sens L ou TL) > 180 MPa.

13. Pièce de peau de carrosserie selon la revendication 12, présentant à l'état mis en solution, trempé, mûri et revenu par cuisson de peinture une limite d'élasticité $R_{0,2}$ (sens L ou TL) > 200 MPa.

14. Pièce de peau de carrosserie réalisée à partir d'une tôle selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisée en ce qu'elle est assemblée sur une structure en acier avant traitement de cuisson des peintures.