



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 29276 B1** (51) Cl. internationale : **C23C 22/78; C23F 17/00**
- (43) Date de publication : **01.02.2008**

-
- (21) N° Dépôt : **30177**
- (22) Date de Dépôt : **30.08.2007**
- (30) Données de Priorité : **11.03.2005 FR 05 02404**
- (86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT : **PCT/FR2006/000466 02.03.2006**
- (71) Demandeur(s) : **ARCELOR FRANCE, 1-5 RUE LUIGI CHERUBINI 93200 SAINT DENIS (FR)**
- (72) Inventeur(s) : **LAURENT, Jean-Pierre ; DEVROC, Jacques**
- (74) Mandataire : **CABINET PATENTMARK**

-
- (54) Titre : **PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PIECE D'ACIER REVETU PRESENTANT UNE TRES HAUTE RESISTANCE APRES TRAITEMENT THERMIQUE**
- (57) Abrégé : L'INVENTION CONCERNE UN PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE PIÈCE À TRÈS HAUTES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES À PARTIR D'UNE BANDE D'ACIER LAMINÉE À CHAUD OU À FROID, COMPORTANT UN PRÉ-REVÊTEMENT DE LADITE BANDE PAR DE L'ALUMINIUM OU UN ALLIAGE D'ALUMINIUM, UNE DÉFORMATION À FROID DE LA BANDE REVÊTUE, UNE DÉCOUPE ÉVENTUELLE DES EXCÉDENTS DE TÔLE EN VUE DE LA GÉOMÉTRIE FINALE DE LA PIÈCE, UN CHAUFFAGE DE LA PIÈCE DE FAÇON À RÉALISER UN COMPOSÉ INTERMÉTALLIQUE À PARTIR DE L'INTERFACE ACIER-REVÊTEMENT ET À AUSTÉNITISER L'ACIER, UN TRANSFERT DE LA PIÈCE AU SEIN D'UN OUTILLAGE, UN REFROIDISSEMENT DE LA PIÈCE AU SEIN DE L'OUTILLAGE AVEC UNE VITESSE TELLE QUE LA STRUCTURE DE L'ACIER APRÈS REFROIDISSEMENT SOIT MARTENSITIQUE, OU BAINITIQUE OU MARTENSITO-BAINITIQUE. LE PRÉ-REVÊTEMENT EST EFFECTUÉ PAR ÉLECTRODÉPOSITION, DÉPÔT CHIMIQUE OU PHYSIQUE EN PHASE VAPEUR, OU COLAMINAGE.

01 FEV 2008

PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PIECE D'ACIER REVÊTU
PRESENTANT UNE TRES HAUTE RESISTANCE APRES TRAITEMENT
THERMIQUE

5 L'invention concerne la fabrication de pièces d'acier revêtu laminé à chaud ou à froid, présentant une haute résistance mécanique ainsi qu'une bonne résistance à la corrosion.

Pour certaines applications, on cherche à réaliser des pièces en acier combinant une résistance mécanique élevée, une grande résistance aux
10 chocs et une bonne tenue à la corrosion. Ce type de combinaison est particulièrement désirable dans l'industrie automobile où l'on recherche un allègement significatif des véhicules. Ceci peut être notamment obtenu grâce à l'utilisation d'aciers à très hautes caractéristiques mécaniques : Des pièces anti-intrusion, de structure ou de sécurité des véhicules automobiles
15 (traverses de pare-choc, renforts de portière ou de pied milieu, bras de roue) nécessitent par exemple les qualités évoquées plus haut.

Le brevet FR 2807447 divulgue un procédé de fabrication où on approvisionne une tôle d'acier de base avec un pré-revêtement métallique, l'acier possédant une résistance à la rupture de l'ordre de 500MPa, on
20 procède à une opération de mise en forme à froid, par exemple d'emboutissage ou de profilage à froid, puis l'on effectue un traitement thermique en vue d'une trempe ultérieure au sein d'un outillage de forme adapté à la géométrie de la pièce. Durant la phase de chauffage de ce traitement thermique, on forme un revêtement intermétallique à la surface de
25 la pièce par alliation du pré-revêtement initial et de l'acier de base. De la sorte, on obtient par exemple des pièces avec une résistance mécanique supérieure à 1500MPa offrant une résistance à la corrosion.

La tôle d'acier de base peut être prérevêtue d'aluminium ou d'un alliage d'aluminium par un procédé au trempé. On peut cependant rencontrer des
30 limitations à la mise en œuvre de ce procédé dans certains cas. Lors d'opérations de mise en forme à froid de la pièce avant traitement thermique, certaines zones peuvent être soumises à une déformation plus sévère, et l'on peut éventuellement assister à un endommagement de l'interface entre le

substrat et le pré-revêtement, sous forme de décohésion locale. Dans ce cas, le traitement thermique ultérieur peut conduire à la formation de calamine au voisinage de la couche interfaciale d'alliage. La présence de cette calamine est néfaste à la réalisation d'une alliation satisfaisante entre l'acier de base et le pré-revêtement aluminé.

Par ailleurs, après mise en forme à froid des pièces aluminées, on peut effectuer une découpe, un poinçonnage ou un détournage en vue d'enlever l'excédent de matière avant le traitement thermique ultérieur d'alliation. La présence du pré-revêtement aluminé au trempé peut contribuer à l'usure de l'outillage de découpe.

D'autre part, le pré-revêtement des tôles aluminées au trempé peut présenter une variation d'épaisseur par rapport à l'épaisseur nominale. Le chauffage lors du traitement thermique d'alliation est effectué assez rapidement, typiquement en quelques minutes. En cas de surépaisseur excessive, on assiste à une alliation incomplète du revêtement. La température de fusion des pré-revêtements usuels étant de 660°C pour l'aluminium ou de 580°C pour un alliage aluminium-10% silicium, on pourra assister à une fusion prématurée du côté le plus épais du revêtement avant d'atteindre la température d'austénitisation de la pièce. Les traitements thermiques étant effectués généralement dans des fours où les pièces sont déplacées sur des rouleaux, la surface de ces derniers est polluée d'une couche provenant de la fusion partielle du pré-revêtement, ce qui nuit à la bonne marche des fours. En outre, une alliation incomplète du pré-revêtement est néfaste lors d'opérations ultérieures de cataphorèse.

La présente invention a pour but de résoudre les problèmes évoqués ci-dessus. Elle vise en particulier à mettre à disposition un procédé de fabrication de pièces d'acier laminées à chaud ou à froid pré-revêtues d'aluminium ou d'alliage d'aluminium, permettant une déformation importante préalable à froid avant traitement d'alliation sans risque de conséquence ultérieure sur le traitement d'alliation. Elle vise à réduire l'usure de l'outillage lors de l'usinage mécanique avant le traitement thermique d'alliation. Elle vise également à obtenir, après traitement thermique, une alliation complète du pré-revêtement d'aluminium ou d'alliage d'aluminium.



Dans ce but, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une pièce à très hautes caractéristiques mécaniques à partir d'une bande d'acier, laminée à chaud ou à froid, comportant les étapes successives suivantes :

- 5 - On effectue un pré-revêtement de la bande par de l'aluminium ou d'un alliage d'aluminium. Ce pré-revêtement peut être réalisé par une ou plusieurs étapes selon les modes ci-dessous, seuls ou en combinaison :
- 10 - pré-revêtement par une ou plusieurs étapes d'électrodéposition d'aluminium ou d'alliage d'aluminium
- pré-revêtement par une ou plusieurs étapes de dépôt chimique en phase vapeur d'aluminium ou d'alliage d'aluminium
- pré-revêtement par une ou plusieurs étapes de dépôt physique en phase vapeur d'aluminium ou d'alliage d'aluminium.
- 15 - pré-revêtement par une ou plusieurs étapes de colaminage entre la bande d'acier et un feuillard d'aluminium ou d'alliage d'aluminium.
- Grâce à la mise en œuvre de ces modes de pré-revêtement, l'interface entre la bande d'acier et le pré-revêtement ne comporte pas de phase intermétallique.
- 20 - On déforme à froid la bande revêtue
- On retire éventuellement les excédents de tôle en vue de la géométrie finale de ladite pièce
- On chauffe la pièce, par exemple au sein d'un four, de façon à réaliser un composé intermétallique à la surface de la pièce, à partir de
- 25 l'interface acier-revêtement et à austénitiser l'acier. Durant la phase de chauffage de ce traitement thermique, on forme, par alliation de la couche de pré-revêtement initial et de l'acier de base, un revêtement intermétallique à la surface de la pièce, cette alliation étant réalisée dans la totalité de l'épaisseur de la couche de revêtement.
- 30 - Après chauffage, on transfère la pièce au sein d'un outillage. Le temps de transfert entre la phase de chauffage et le contact avec l'outillage est suffisamment court pour qu'une transformation de l'austénite, n'intervienne pas durant ce laps de temps. La géométrie et la

conception de l'outillage sont adaptées à la pièce à traiter et à la
drasticité de la trempe. En particulier, ces outils peuvent être refroidis,
notamment par circulation de fluide pour augmenter la productivité des
opérations et/ou accroître la sévérité de trempe. Un effort de serrage
5 peut assurer un contact intime entre les pièces et l'outillage,
permettant ainsi un refroidissement efficace par conduction et une
déformation minimale. On refroidit la pièce au sein de l'outillage avec
une vitesse telle que la structure de l'acier après refroidissement soit
martensitique, ou bainitique ou martensito-bainitique.

10 Selon un mode particulier, le taux de la déformation généralisée de la
déformation à froid est supérieure à 20% en au moins un point de la pièce.
L'invention a également pour objet l'utilisation d'une pièce à très hautes
caractéristiques mécaniques à partir d'une bande d'acier, fabriquée selon l'un
des modes ci-dessus, pour la fabrication de pièces de structures ou de
15 sécurité pour véhicule automobile terrestre à moteur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de
la description ci-dessous, donnée à titre d'exemple.

La figure 1 présente un exemple d'interface acier-alliage d'aluminium déposé
au trempé, avant déformation à froid

20 La figure 2 présente l'évolution de cette interface après déformation
généralisée à froid supérieure à 20%.

La figure 3 présente un exemple d'interface acier-alliage d'aluminium déposé
au trempé, sans déformation à froid, après traitement d'alliation.

25 La figure 4 illustre la couche superficielle après déformation à froid supérieure
à 20%, suivie par un traitement d'alliation.

On a examiné l'évolution de l'interface acier-revêtement au cours d'un
procédé de fabrication conventionnel : dans ce but, on a considéré des
pièces d'acier de 1,2 ou 2mm d'épaisseur, de composition pondérale
suivante :

30 Carbone : 0,15 à 0,25%

Manganèse : 0,8 à 1,5%

Silicium : 0,1 à 0,35%

Chrome : 0,01 à 0,2%

Titane < 0,1%

Phosphore < 0,05%

Soufre < 0,03%

B : 0,0005% à 0,01%,

- 5 Celles-ci ont été pré-revêtues grâce à un procédé conventionnel au trempé dans un bain à base d'aluminium comportant :

Silicium : 9-10%


Fer : 2 à 3,5%

Le solde étant constitué d'aluminium et des inévitables impuretés

- 10 Il est connu que le contact d'un acier dans un bain d'aluminium pur à plus de 660°C conduit à une formation très rapide d'une épaisse couche d'alliage intermétallique, comportant notamment FeAl₃-Fe₂Al₅. Cette couche présentant une faible aptitude à la déformation, une addition de 10% de silicium dans le bain permet de réduire l'épaisseur de cette couche
- 15 intermédiaire. La figure 1 indique que la couche intermétallique, d'une dureté de 600 à 800HV, a une épaisseur d'environ 7 micromètres, celle-ci étant surmontée par une couche métallique à base d'aluminium de 15 micromètres environ.

- Les pièces pré-revêtues ont été soumises à une déformation à froid sur
- 20 éprouvettes de type Nakazima, sollicitant celles-ci selon différents modes : traction uniaxiale, expansion équilibaxiale. Au moyen de grilles à motifs circulaires préalablement photodéposées, on a mesuré en divers points les déformations principales ε_1 , ε_2 , c'est à dire les déformations dans un repère principal. On en déduit la déformation généralisée :

25
$$\bar{\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2)}$$
 relative à ces différents points.

- Simultanément, on a observé en ces différents emplacements le
- comportement du pré-revêtement : Les observations révèlent que, jusqu'à
- une déformation généralisée de l'ordre de 10%, la couche intermédiaire est
- fissurée de manière fine et régulière, sans conséquence sur la couche
- 30 supérieure d'aluminium métallique surmontant celle-ci. Un traitement thermique ultérieur en four à 900°C pendant 5 ou 7 minutes, suivi d'une trempe au sein d'un outillage refroidi à l'eau conduit à une alliation complète
- 

du revêtement initial et à la disparition de ce réseau limité de fissures (figure 3). Au-delà de 20% de déformation généralisée, on assiste à une fragmentation de la couche intermétallique (figure 2), et par endroits, à une dégradation du revêtement métallique à base d'aluminium. Le traitement
5 thermique ultérieur d'alliation peut alors provoquer la croissance d'une couche de calamine ou une décarburation à la surface de l'acier (figure 4) néfaste à la mise en œuvre ultérieure de la pièce, par exemple à une mise en peinture

Ainsi, la mise en œuvre d'un procédé de déformation à froid avec une
10 déformation sévère peut conduire à des difficultés à partir d'un pré-revêtement conventionnel à base d'aluminium. Dans le cadre de l'invention, on a mis en évidence que ce problème était résolu lorsque l'interface entre l'acier et l'aluminium ne comportait pas de phase intermétallique. En effet, compte tenu de la ductilité intrinsèque de l'aluminium ou de l'alliage
15 d'aluminium, liée à sa structure cubique-face-centrée, une déformation à froid importante d'un acier pré-revêtu ne conduit à aucune dégradation de l'interface ou du pré-revêtement, si bien que le traitement d'alliation ultérieur intervient dans des conditions optimales.

Le pré-revêtement d'aluminium ou d'un alliage d'aluminium est réalisé par
20 électrodéposition, par dépôt physique ou chimique en phase vapeur, ou encore par colaminage entre une bande d'acier et un feuillard d'aluminium ou d'alliage d'aluminium. Par ces différentes étapes, on aboutit ainsi à une pièce sans couche intermétallique entre l'acier de base et le pré-revêtement avant le traitement d'alliation. Le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre
25 en appliquant une même étape de pré-revêtement en une seule reprise, ou en appliquant celui-ci à plusieurs reprises. De même, le procédé peut être mis en œuvre selon l'invention en combinant successivement différentes étapes de pré-revêtements de façon à exploiter les avantages intrinsèques aux différents procédés et aux différentes caractéristiques des dépôts.

30 L'application du procédé selon l'invention facilite la mise en œuvre dans le cas d'un découpage, d'un poinçonnage ou d'un détournage des pièces après l'opération de mise en forme à froid. En effet, un usinage intermédiaire peut s'avérer utile dans le but de diminuer le volume de métal à réchauffer dans le

traitement d'alliation. Selon l'invention, cet usinage intermédiaire est facilité par l'absence de la couche intermétallique dure (de 600 à 800 HV) que l'on rencontre dans le procédé conventionnel. De la sorte, l'usure des outils de découpe est réduite.

- 5 Par ailleurs, les étapes de pré-revêtement selon l'invention sont associées à des dépôts d'une grande régularité d'épaisseur : par exemple, les conditions de pré-revêtement en phase vapeur peuvent être associées à un dépôt d'épaisseur compris entre 15 et 20 micromètres avec une variation d'épaisseur d'ordre micrométrique.
- 10 Selon les procédés d'aluminiage au trempé, la variation d'épaisseur du pré-revêtement mesurée sur coupe micrographique peut être de l'ordre de ± 10 micromètres pour une épaisseur moyenne de 25 micromètres. Dans le but de maximiser la productivité, on souhaite que le chauffage lors du traitement thermique d'alliation s'effectue le plus rapidement possible. La constatation
- 15 de la présence d'une surépaisseur peut conduire à allonger la phase de chauffage, pour que l'alliation soit complète. Pour un traitement thermique donné, la méconnaissance d'une surépaisseur excessive peut avoir pour conséquence une alliation incomplète, se traduisant par une fusion partielle du pré-revêtement.
- 20 L'étape de pré-revêtement selon l'invention conduit à une faible variabilité de l'épaisseur, ce qui diminue le risque de fusion et augmente la stabilité de la marche des fours.
- Par ailleurs, après austénitisation, le traitement de trempe par refroidissement au sein d'un outillage confère une structure martensitique ou bainitique ou
- 25 martensito-bainitique à l'acier. Selon la composition de l'acier, en particulier sa teneur en carbone, ainsi qu'en manganèse, chrome et bore, la résistance maximale obtenue sur les pièces selon l'invention, varie de 1200 à 1700MPa. Selon l'invention, la coupe s'effectuant de manière plus nette en raison de
- 30 l'absence de couche intermétallique, l'effet d'entaille en bord de découpe est moindre après traitement de trempe, puisque l'on sait que des structures totalement ou partiellement martensitiques sont par essence plus sensibles aux effets de concentrations locales de contraintes.

Ainsi, l'invention permet la fabrication de pièces à hautes caractéristiques revêtues, avec des formes plus complexes, puisque la déformation à froid peut atteindre des taux importants. L'invention est mise en œuvre de façon particulièrement avantageuse lorsque le taux de la déformation généralisée à 5 froid préalable au traitement d'alliation est supérieur à 20%. Elle permet une réduction de l'usure de l'outillage lors des opérations intermédiaires de découpe et conduit à une plus grande efficacité du traitement final d'alliation.



REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une pièce à très hautes caractéristiques
5 mécaniques à partir d'une bande d'acier, laminée à chaud ou à froid,
comportant les étapes successives suivantes :
- On effectue un pré-revêtement de ladite bande par de l'aluminium ou
un alliage d'aluminium
 - On déforme à froid ladite bande revêtue
 - 10 - On retire éventuellement les excédents de tôle en vue de la géométrie
finale de ladite pièce
 - On chauffe ladite pièce de façon à réaliser un composé intermétallique
à la surface de ladite pièce à partir de l'interface acier-revêtement et à
austénitiser l'acier
 - 15 - On transfère ladite pièce au sein d'un outillage
 - On refroidit ladite pièce au sein d'un outillage avec une vitesse telle
que la structure de l'acier après refroidissement soit martensitique ou
bainitique ou martensito-bainitique,
 - caractérisé en ce que que l'interface entre ladite bande d'acier et le
20 pré-revêtement avant ledit chauffage ne comporte pas de phase
intermétallique et que l'on réalise ledit pré-revêtement par au moins
une étape d'électrodéposition d'aluminium ou d'alliage d'aluminium,
par au moins une étape de dépôt chimique en phase vapeur
d'aluminium ou d'alliage d'aluminium, par au moins une étape de
25 dépôt physique en phase vapeur d'aluminium ou d'alliage d'aluminium,
par au moins une étape de colaminage entre ladite bande d'acier et un
feuillard d'aluminium ou d'alliage d'aluminium, lesdites au moins une
étape de pré-revêtement pouvant être réalisées seules ou en
combinaison

30

2 Procédé de fabrication selon la revendication 1 caractérisé en ce que le taux de la déformation généralisée de ladite déformation à froid est supérieur à 20% en au moins un point de ladite pièce

5

3 Utilisation d'une pièce à très hautes caractéristiques mécaniques à partir d'une bande d'acier fabriquée selon la revendication 1 ou 2 pour la fabrication de pièces de structures ou de sécurité pour véhicule automobile terrestre à moteur.

10



Figure 1

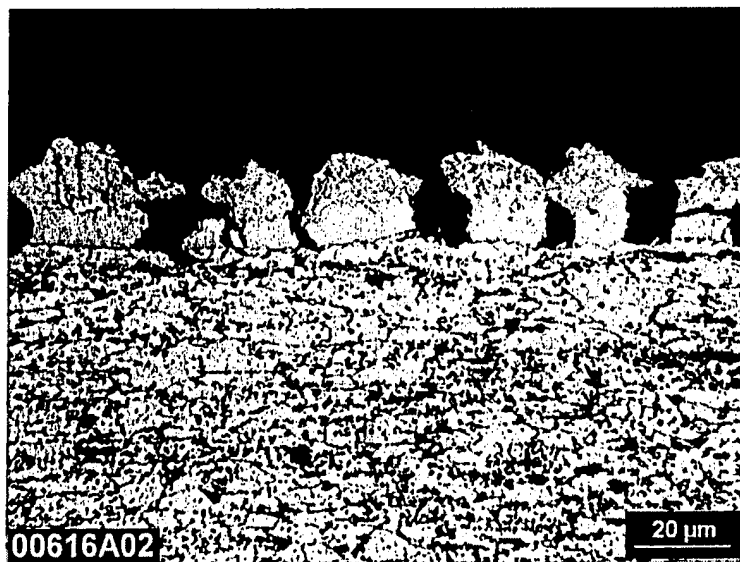


Figure 2

Handwritten signature or initials.

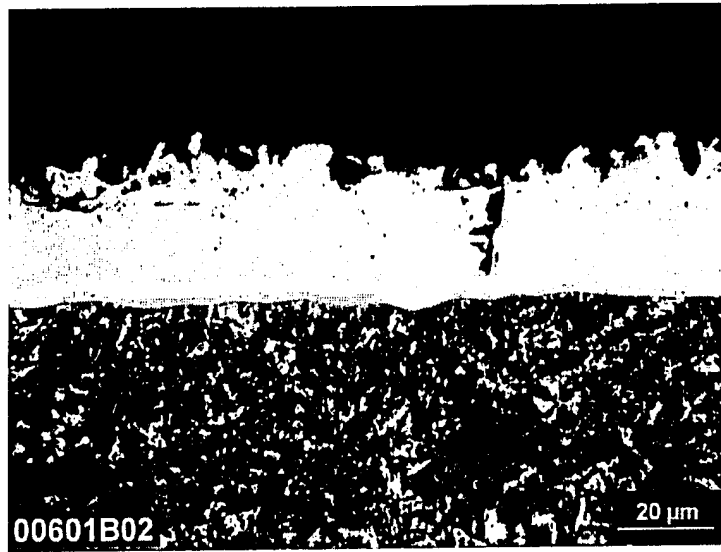


Figure 3



Figure 4

Handwritten signature or mark

**PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PIECE D'ACIER REVÊTU PRESENTANT
UNE TRES HAUTE RESISTANCE APRES TRAITEMENT THERMIQUE**

Abrégé technique de l'invention

- L'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce à très hautes caractéristiques mécaniques à partir d'une bande d'acier laminée à chaud ou à froid, comportant un pré-revêtement de ladite bande par de l'aluminium ou un alliage d'aluminium, une déformation à froid de la bande revêtue, une découpe éventuelle des excédents de tôle en vue de la géométrie finale de la pièce, un chauffage de la pièce de façon à réaliser un composé intermétallique à partir de l'interface acier-revêtement et à austénitiser l'acier, un transfert de la pièce au sein d'un outillage, un refroidissement de la pièce au sein de l'outillage avec une vitesse telle que la structure de l'acier après refroidissement soit martensitique, ou bainitique ou martensito-bainitique. Le pré-revêtement est effectué par électrodéposition, dépôt chimique ou physique en phase vapeur, ou colaminage.

Figure : Néant