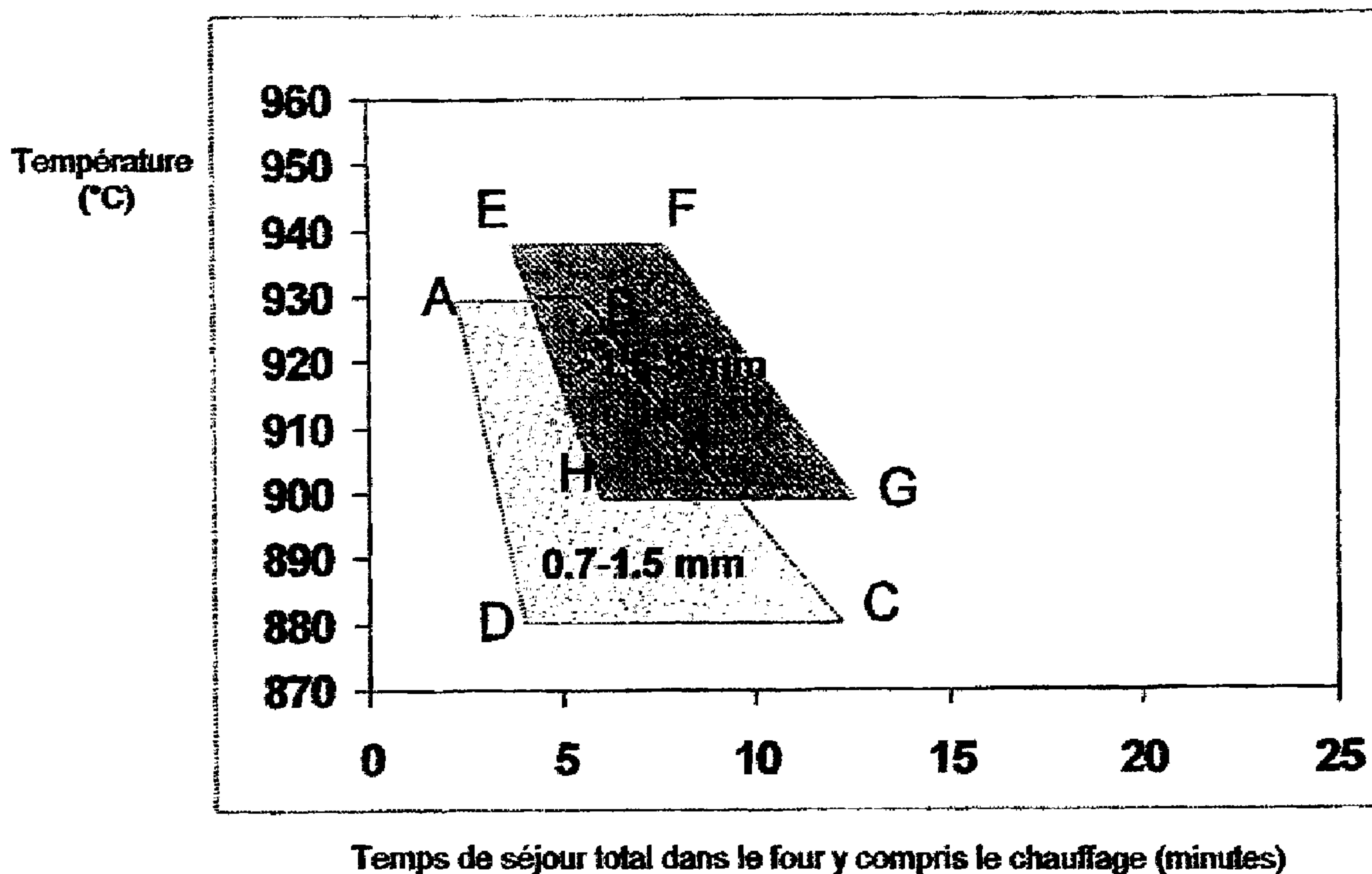




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2006/10/30
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2008/05/08
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2013/08/13
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2009/04/30
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: IB 2006/004019
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2008/053273

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C23C 2/12* (2006.01),
B21D 24/16 (2006.01), *C21D 9/46* (2006.01),
C23C 2/28 (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
DRILLET, PASCAL, FR;
SPEHNER, DOMINIQUE, FR;
KEFFERSTEIN, RONALD, FR
(73) Propriétaire/Owner:
ARCELORMITTAL FRANCE, FR
(74) Agent: NORTON ROSE FULBRIGHT CANADA
LLP/S.E.N.C.R.L., S.R.L.

(54) Titre : BANDES D'ACIER REVETUES, PROCEDES DE FABRICATION DE CELLES-CI, PROCEDES D'UTILISATION DE CELLES-CI, EBAUCHES D'EMBOUTISSAGE PREPAREES A PARTIR DE CELLES-CI, PRODUITS EMBOUTIS PREPARES A PARTIR DE CELLES-CI, ET ARTICLES MANUFACTURES CONTENANT UN PRODUIT EMBOUTI DE CE TYPE
(54) Title: COATED STEEL STRIPS, FABRICATION PROCESSES THEREOF, USAGE PROCESSES THEREOF, STAMPING BLANKS PREPARED FROM SAME, STAMPED PRODUCTS PREPARED THEREFROM AND MANUFACTURED PRODUCTS CONTAINING SUCH A STAMPED PRODUCT



(57) Abrégé/Abstract:

Acier revêtu présentant une épaisseur uniforme et bien définie utilisable et avantageux pour préparer des produits par emboutissage à chaud. Les produits préparés par emboutissage à chaud, tels que l'acier, sont particulièrement avantageux lorsqu'ils sont soumis par la suite à une étape de soudage par points. Figure pour l'abrégé: aucune



Abrégé de la divulgation

Acier revêtu présentant une épaisseur uniforme et bien définie utilisable et avantageux pour préparer des produits par emboutissage à chaud. Les produits préparés par emboutissage à chaud, tels que l'acier, sont particulièrement avantageux lorsqu'ils sont soumis par la suite à une étape de soudage par points.

Figure pour l'abrégé: aucune

WO2008/053273

PCT/IB2006/004019

BANDES D'ACIER REVETUES, PROCEDES DE FABRICATION DE
CELLES-CI, PROCEDES D'UTILISATION DE CELLES-CI,
EBAUCHES D'EMBOUTISSAGE PREPAREES A PARTIR DE CELLES-
CI, PRODUITS EMBOUTIS PREPARES A PARTIR DE CELLES-CI,
5 ET ARTICLES MANUFACTURES CONTENANT UN PRODUIT EMBOUTI
DE CE TYPE

Domaine de l'invention

La présente invention est relative, entre autres, à des
10 aciers revêtus, à des procédés de fabrication d'aciers
revêtus de ce type, comprenant l'immersion au trempé, à
des procédés d'utilisation d'aciers revêtus de ce type,
à des ébauches d'emboutissage préparées à partir
d'aciers revêtus, à des produits emboutis préparés à
15 partir d'aciers revêtus, ainsi qu'à différentes
utilisations des produits de l'invention, par exemple
en soudage par points, etc.

Des avantages supplémentaires et d'autres
20 caractéristiques de la présente invention seront
exposés dans la description qui suit et apparaîtront en
partie clairement à l'homme du métier à l'examen de ce
qui suit, ou peuvent être appris à partir de la mise en
pratique de la présente invention. Les avantages de la
25 présente invention peuvent être réalisés et obtenus
selon la manière qui est particulièrement mise en
évidence dans les revendications annexées. Comme on le
réalisera, la présente invention peut faire l'objet
d'autres modes de réalisation et de modes de
30 réalisation différents, et ses différents détails
peuvent faire l'objet de modifications dans différents
aspects évidents, le tout sans sortir de la présente
invention. La description doit être considérée comme
ayant une nature illustrative, et non restrictive.

35

Arrière-plan de l'invention

Ces dernières années, l'utilisation d'aciers pré-
revêtus dans des procédés d'emboutissage à chaud pour
façonner des pièces a pris de l'importance, en

- 2 -

particulier dans l'industrie automobile. La fabrication de pièces de ce type peut comprendre les étapes principales suivantes:

- le pré-revêtement de tôles d'acier, par immersion à chaud;
- le détournage ou la découpe pour former des ébauches;
- le chauffage des ébauches dans le but d'obtenir une alliation du substrat d'acier avec le pré-revêtement, ainsi qu'une austénitisation de l'acier; et
- le formage à chaud suivi par un refroidissement rapide de la pièce dans le but d'obtenir des structures essentiellement martensitiques.

Voir par exemple le brevet US n° 6.296.805.

Grâce à une alliation du pré-revêtement avec le substrat d'acier, qui a pour effet de créer des alliages intermétalliques avec une température de fusion élevée, les ébauches qui sont pourvues d'un revêtement de ce type peuvent être chauffées dans une plage de température dans laquelle il se produit une austénitisation du substrat métallique, permettant ainsi un durcissement supplémentaire par trempe.

Des traitements thermiques des ébauches pour réaliser un alliage intermétallique du revêtement et une austénitisation du substrat sont le plus fréquemment exécutés dans des fours, où les ébauches sont déplacées sur des rouleaux. Les cycles thermiques subis par les ébauches comprennent en premier lieu une phase de chauffage dont la vitesse dépend de paramètres tels que l'épaisseur des ébauches, la température du four, la vitesse de déplacement et la réflectivité du revêtement. Après cette phase de chauffage, les cycles thermiques comprennent d'une manière générale une phase de maintien, dont la température correspond à la température de régulation du four. On rencontre

- 3 -

cependant des problèmes avec le fonctionnement du four: les rouleaux peuvent être encrassés par les dépôts métalliques qui proviennent du pré-revêtement des ébauches. Si ces dépôts sont excessifs, il convient de
5 procéder à une maintenance des rouleaux, et la productivité décroît.

Les pièces obtenues après le chauffage et un refroidissement rapide affichent une très grande
10 résistance mécanique et peuvent être utilisées pour des applications structurelles, par exemple pour des applications dans l'industrie automobile. Ces pièces doivent être fréquemment soudées à d'autres pièces, une soudabilité élevée est donc requise. Cela signifie que:

15 - l'opération de soudage devrait être exécutable dans une plage opérationnelle suffisamment large pour garantir qu'une dérive éventuelle des paramètres de soudage nominaux n'ait aucune incidence sur la qualité de la soudure. Pour un soudage par résistance, qui est
20 très courant dans l'industrie automobile, une plage de soudage opérationnelle est définie par la combinaison de paramètres: l'intensité I du courant de soudage et la force F de soudage appliquées aux pièces pendant le soudage, qui constituent deux des paramètres les plus
25 importants. Une combinaison adéquate de ces paramètres aide à assurer que l'on n'obtient pas un diamètre de noyau insuffisant (à cause d'une intensité trop basse ou d'une force trop faible), et qu'il ne se produit aucune expulsion lors du soudage; et

30 - l'opération de soudage devrait aussi être exécutée de telle sorte que l'on obtienne une résistance mécanique élevée de la soudure. Cette résistance mécanique peut être évaluée à l'aide de tests, par exemple des tests de traction - cisaillement ou des
35 tests de traction en croix.

Il subsiste un besoin d'aciers revêtus qui peuvent être facilement utilisés pour préparer des pièces façonnées par un procédé d'emboutissage. Il subsiste également un

- 4 -

besoin d'aciers revêtus qui peuvent être utilisés pour
préparer des pièces par un procédé d'emboutissage qui
sont appropriées pour un soudage. Il subsiste aussi un
besoin de traitements pour préparer des aciers revêtus
5 et des pièces embouties de ce type.

Résumé de l'invention

Les inventeurs ont découvert que certains aciers
revêtus dans lesquels une bande d'acier de base est au
10 moins partiellement revêtue (que l'on appelle parfois
"pré-revêtue", ce préfixe indiquant qu'une
transformation de la nature du pré-revêtement se
produira pendant le traitement thermique avant
l'emboutissage) sur au moins un côté avec un revêtement
15 constitué soit d'aluminium, soit d'un alliage
d'aluminium, et où le revêtement présente une épaisseur
définie et est de préférence sensiblement uniforme,
sont facilement formés en pièces mises en forme par
emboutissage après un chauffage et sont facilement
20 soudées. En outre, les inventeurs ont découvert que le
problème d'encrassement des rouleaux qui est décrit ci-
dessus survient généralement à cause d'un degré
d'alliation intermétallique insuffisant entre le
substrat et le pré-revêtement métallique. En outre, il
25 a été découvert que l'endroit où les rouleaux sont
encrassés correspond à des zones des ébauches qui sont
en contact avec les rouleaux où l'épaisseur du pré-
revêtement métallique dépasse localement l'épaisseur
moyenne. Sans être lié par une théorie particulière, on
30 considère que si un pré-revêtement est localement trop
épais, l'alliage intermétallique est insuffisant et le
pré-revêtement fond, encrassant les rouleaux. Donc, les
inventeurs ont découvert que le contrôle de
l'homogénéité de l'épaisseur du pré-revêtement sur la
35 totalité de la tôle à l'intérieur de tolérances données
constitue un facteur important pour obtenir le degré
souhaité d'alliage intermétallique, permettant ainsi
d'améliorer la résistance à la fusion ultérieure du
revêtement pendant le déplacement sur les rouleaux.

- 5 -

Les inventeurs ont également découvert qu'une soudabilité particulièrement bonne de pièces aluminisées et embouties à chaud est associée à une
5 succession spéciale de couches de revêtement sur les pièces, en partant du substrat d'acier vers l'extérieur.

Les inventeurs ont aussi découvert qu'une combinaison
10 spécifique du temps de transfert entre le four de chauffage et la matrice d'emboutissage, du degré de déformation pendant l'emboutissage, de la température d'emboutissage et de la vitesse de refroidissement du produit pendant l'emboutissage conduit à la fabrication
15 d'une pièce qui présente une structure martensitique totalement homogène, et qu'une augmentation de la ductilité ou de l'absorption d'énergie des pièces après l'emboutissage est obtenue par une réduction du soufre en dessous d'une valeur critique, ces deux avantages
20 étant obtenus avec ou sans le revêtement d'alliage aluminium/aluminium de l'invention, et avec d'autres revêtements.

Objet de l'invention

25 Par conséquent, et au vu de ce qui précède, un objet de la présente invention consiste à fournir de nouvelles bandes d'acier pré-revêtues qui peuvent être traitées facilement dans des ébauches d'emboutissage.

30 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouvelles bandes ou tôles d'acier pré-revêtues qui peuvent être formées facilement en pièces par emboutissage.

35 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouvelles tôles d'acier revêtues qui peuvent être formées facilement en pièces par emboutissage à chaud.

- 6 -

Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouveaux procédés pour fabriquer un acier revêtu de ce type.

- 5 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouvelles ébauches d'emboutissage qui sont préparées à partir d'un acier revêtu de ce type.

- 10 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouveaux procédés pour fabriquer des ébauches d'emboutissage de ce type.

- 15 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouvelles pièces embouties qui sont préparées à partir d'un acier revêtu de ce type.

- 20 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouveaux procédés pour fabriquer des pièces embouties de ce type.

- Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouveaux articles manufacturés, tels qu'un véhicule à moteur, qui contiennent des pièces embouties de ce type.

- 25 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouvelles pièces embouties.

- 30 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouveaux procédés pour fabriquer des pièces embouties soudées.

- 35 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouveaux articles manufacturés, tels qu'un véhicule à moteur, qui contiennent des pièces embouties soudées de ce type.

- 6a -

Selon un aspect de la présente invention, il y a un procédé pour fabriquer un produit de tôle d'acier revêtu et embouti à chaud, comprenant les étapes suivantes:

(A) chauffer une tôle d'acier pré-revêtue avec de l'aluminium ou un alliage d'aluminium dans un four préchauffé à une température et pendant un temps définis par un diagramme ABCD ayant les coordonnées de temps définies et de température avec A (3 minutes, 930°C), B (6 minutes, 930°C), C (13 minutes, 880°C) et D (4.5 minutes, 880°C), si l'épaisseur de ladite tôle est supérieure ou égale à 0,7 mm et inférieure ou égale à 1,5 mm, et par un diagramme EFGH ayant les coordonnées de temps définies et de température avec E (4 minutes, 940°C), F (8 minutes, 940°C), G (13 minutes, 900°C) et H (6.5 minutes, 900°C), si l'épaisseur de ladite tôle est supérieure à 1,5 mm et inférieure ou égale à 3 mm, à une vitesse de chauffage V_c entre 20°C et 700°C comprise entre 4°C/seconde et 12°C/seconde, afin d'obtenir une ébauche chauffée;

(B) transférer ladite ébauche chauffée vers une matrice; et

(C) emboutir ladite ébauche chauffée dans ladite matrice pour obtenir ainsi un produit de tôle en acier embouti à chaud, et

dans lequel ledit produit chauffé est refroidi à une vitesse moyenne de 50°C/seconde entre la sortie dudit four et l'arrivée à 400°C, dans lequel le temps écoulé entre la sortie de ladite ébauche chauffée du four et le commencement dudit emboutissage n'est pas supérieur à 10 secondes.

- 6b -

Selon un autre aspect de la présente invention, il y a un produit embouti en acier revêtu, comprenant:

(a) une bande d'acier de base présentant un premier côté et un second côté; et

(b) un revêtement sur au moins un dudit premier côté de ladite bande d'acier de base et dudit second côté de ladite bande d'acier de base,

dans lequel:

(i) ledit revêtement résulte d'une inter-diffusion entre ledit acier de base et le pré-revêtement en aluminium ou en alliage d'aluminium,

(ii) ledit revêtement comprend, en partant de l'acier de base vers l'extérieur:

(a) une couche d'inter-diffusion,

(b) une couche intermédiaire,

(c) une couche intermétallique, et

(d) une couche superficielle,

dans lequel ledit revêtement présente une épaisseur supérieure à 30 micromètres, et dans lequel ladite couche (a) présente une épaisseur inférieure à 15 micromètres, et dans lequel lesdites couches (c) et (d) sont quasiment continues en occupant au moins 90 % de leur niveau correspondant auxdites couches considérées, et dans lequel moins de 10 % de la couche (c) sont présents à la surface extrême du produit.

- 7 -

Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouveaux aciers revêtus soudés et de nouvelles ébauches d'emboutissage soudées.

- 5 Un autre objet de la présente invention consiste à fournir de nouveaux procédé pour fabriquer des aciers revêtus soudés et des ébauches d'emboutissage soudées de ce type.
- 10 Ces objets, ainsi que d'autres, apparaîtront clairement à la lecture de la description détaillée qui suit.

Brève description des dessins

- La Figure 1 illustre un mode de réalisation préféré d'une pièce revêtue selon l'invention, après un traitement thermique et un emboutissage. La succession de couches du revêtement sur le substrat d'acier comprend: (a) une couche d'inter-diffusion; (b) une couche intermédiaire; (c) une couche intermétallique; et (d) une couche superficielle. Cet arrangement est particulièrement favorable pour réaliser le soudage ultérieur de la pièce.
- 15
- 20

- La Figure 2 illustre un revêtement d'un substrat d'acier après un traitement thermique et un emboutissage qui ne correspond pas à l'invention. Cette succession de couches (couche d'inter-diffusion et couche intermétallique) donne de moins bons résultats lors d'un soudage par résistance par points.
- 25

- 30 La Figure 3 illustre une microstructure d'une pièce d'acier, emboutie à chaud et refroidie dans des conditions qui n'appartiennent pas à l'invention.

- 35 La Figure 4 illustre la microstructure d'une pièce d'acier, emboutie à chaud et refroidie selon un ensemble préféré de conditions selon l'invention.

- 8 -

La Figure 5 illustre l'influence du soufre sur l'angle de pliage de pièces après un emboutissage à chaud.

La Figure 6 illustre l'influence du soufre sur l'énergie d'amorçage de la rupture de pièces après un emboutissage à chaud.

La Figure 7 montre des conditions de température de four en fonction du temps de séjour total dans le four pour des tôles ayant une épaisseur totale comprise entre 0,7-1,5 mm et 1,5-3 mm qui donnent des revêtements particulièrement favorables pour le soudage.

15 Description détaillée des modes de réalisation préférés

Comme cela a été indiqué ci-dessus, la découverte des inventeurs selon laquelle certains aciers revêtus, dans lesquels un acier de base est au moins partiellement pré-revêtu sur au moins un côté avec un revêtement constitué soit d'aluminium soit d'un alliage d'aluminium et où le pré-revêtement présente une épaisseur définie et est sensiblement uniforme, sont facilement formés en pièces façonnées par emboutissage, constitue un fondement de l'invention.

25

Dans le contexte de la présente invention, les termes "premier côté" (ou "côté 1") et "second côté" (ou "côté 2") de la bande ou de la tôle, etc., de l'acier de base font référence aux deux grandes surfaces opposées qui présentent une aire de surface qui est définie par la longueur et la largeur de la bande d'acier de base. Au contraire, les bords latéraux de la bande d'acier de base sont les deux petites surfaces opposées qui présentent une aire de surface qui est définie par la longueur et l'épaisseur de la bande. Les bords supérieur et inférieur de la bande d'acier de base sont deux petites surfaces opposées qui présentent une aire de surface qui est définie par la largeur et l'épaisseur de la bande. Dans la suite, t_p désigne

- 9 -

l'épaisseur du pré-revêtement, à n'importe quel endroit considéré sur les côtés 1 et 2 d'une tôle ou d'une ébauche. En particulier, dans le cas de tôles revêtues sur les deux côtés 1 et 2, t_{p1} désigne l'épaisseur sur le côté 1, et t_{p2} désigne l'épaisseur sur le côté 2.

Selon un mode de réalisation particulièrement préféré, t_p est contrôlé dans une plage précise, exprimée par (t_{pmin}, t_{pmax}) , dans le but d'améliorer la résistance à l'encrassement des rouleaux. L'épaisseur est de préférence contrôlée, à la fois dans la direction longitudinale (ou de laminage) de la bande ou de la tôle, ainsi que dans la direction transversale.

En ce qui concerne le problème d'encrassement des rouleaux, le contrôle de l'épaisseur du pré-revêtement sur le côté de la tôle ou de l'ébauche qui est directement en contact avec les rouleaux est particulièrement importante. Etant donné que différentes opérations peuvent suivre l'étape de revêtement de la tôle d'acier (par exemple, un revêtement par immersion à chaud qui crée les côtés revêtus 1 et 2), il est préférable de contrôler soigneusement le pré-revêtement sur les deux côtés de la tôle. Par exemple, après toute étape d'enroulement, de manipulation, de coupe, de poinçonnage, etc., les côtés 1 et 2 peuvent ne plus être facilement identifiables. Mais lorsque le contrôle de t_p est effectué sur les deux côtés de la tôle qui a été revêtue (le premier côté et le second côté), il n'est pas nécessaire de suivre les côtés 1 et 2 étant donné qu'aucun des deux côtés n'encrassera le rouleau. En outre, il n'est pas nécessaire de refendre la tôle pour obtenir une tôle plus petite préférée qui présente une homogénéité plus uniforme de l'épaisseur du pré-revêtement, fournissant ainsi une tôle qui est pré-revêtue, par exemple par immersion à chaud. En d'autres termes, on obtient des avantages importants lorsque l'on contrôle l'épaisseur minimum et maximum du pré-

- 10 -

revêtement du premier côté (t_{pmin1} , t_{pmax1}) et l'épaisseur minimum et maximum du pré-revêtement du second côté (t_{pmin2} , t_{pmax2}) de la tôle ou de l'ébauche d'acier concernée.

5

Des aciers revêtus par immersion à chaud sont les aciers préférés ici. Toutefois, indépendamment du procédé de revêtement, l'épaisseur du pré-revêtement sur un côté ou sur les deux côtés de la tôle peut être mesurée et surveillée de façon continue sur une ligne de revêtement directement après l'opération de revêtement. Ceci peut être réalisé en employant des dispositifs connus en soi, tels que des jauges d'épaisseur basées sur une absorption de rayons X. A chaque instant, la mesure de l'épaisseur en un endroit donné peut être exécutée par exemple sur une surface de quelques centaines de mm^2 , ceci représentant les dimensions de la zone irradiée par des rayons X.

20 Dans un mode de réalisation préféré, une pluralité de dispositifs de ce type sont positionnés à différentes distances dans la direction transversale de la bande dans le but d'obtenir un profil de l'épaisseur du pré-revêtement le long de la largeur de la bande.

25

Les inventeurs ont découvert que la résistance à la pollution ou à l'encrassement des rouleaux dans les fours est améliorée lorsque les épaisseurs minimum et maximum respectivement d'au moins un des premier côté (t_{pmin1} , t_{pmax1}) et second côté (t_{pmin2} , t_{pmax2}) sont respectivement égales à 20 et 33 micromètres (un micromètre est identique à un micron et est l'unité métrique de longueur qui est égale à un millionième de mètre). En d'autres termes, dans un mode de réalisation préféré, à chaque endroit sur au moins une face de la tôle ou de l'ébauche, l'épaisseur t_p du pré-revêtement est de préférence comprise dans la gamme de 20 à 33 micromètres d'épaisseur, comprenant 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 et 32 micromètres ainsi que

- 11 -

toutes les gammes et sous-gammes entre ces valeurs, et comprenant tous les nombres entre chaque valeur citée comme s'ils étaient écrits dans leur entièreté (par exemple, 22,34 micromètres). Pour un revêtement par immersion à chaud, un contrôle précis de cette plage d'épaisseur de pré-revêtement peut être réalisé sur une ligne opérationnelle en utilisant par exemple un système de buses qui soufflent du gaz après le revêtement, par exemple après la sortie de la bande ou de la tôle d'un bain, et par la planéité de la bande. Le nombre, la géométrie et la position des buses, ainsi que les débits font partie des paramètres principaux pour une commande précise de l'épaisseur t_p . Sur la base de la présente divulgation, l'homme du métier peut commander l'épaisseur du pré-revêtement comme cela est décrit ici sans travail excessif.

L'invention fait référence à des bandes produites dans des conditions industrielles, c'est-à-dire où le contrôle de l'épaisseur du pré-revêtement est effectif sur une grande surface de bande, c'est-à-dire qui présente une longueur supérieure à 100 m, et une largeur supérieure à 600 mm. De cette manière, des ébauches coupées ou refendues à partir de ces bandes affichent une très grande homogénéité de l'épaisseur du pré-revêtement, et les réglages du traitement de chauffage dans le four ne doivent pas être modifiés pour être adaptés à d'éventuelles variations de cette épaisseur.

Sans être liés par une théorie de fonctionnement particulière, les inventeurs croient que plusieurs des avantages de l'invention sont associés à cette plage d'épaisseur du pré-revêtement, par exemple de la façon suivante:

- pour une épaisseur de pré-revêtement inférieure à 20 micromètres, la couche alliée qui est formée pendant le chauffage de l'ébauche présente une rugosité insuffisante. Donc, l'adhérence d'une peinture

- 12 -

ultérieure est faible sur cette surface, et la résistance à la corrosion est réduite;

- si l'épaisseur du pré-revêtement est supérieure à 33 micromètres en un endroit donné sur une tôle, le
5 risque est que la différence d'épaisseur entre cet endroit et tout autre endroit où le pré-revêtement est plus mince devienne trop importante. Les réglages du traitement de chauffage dans le four peuvent être adaptés à la valeur plus mince du pré-revêtement, mais
10 pas à la valeur plus épaisse. Donc, la réaction d'alliage qui forme l'alliage intermétallique peut se produire à un degré insuffisant étant donné que la distance de diffusion moyenne des éléments dans le pré-revêtement devient nettement inférieure à la valeur
15 locale de l'épaisseur du pré-revêtement. Par conséquent, la formation de l'alliage deviendra nettement plus difficile dans la partie externe (ou superficielle), en particulier dans le cas d'une vitesse de chauffage élevée.

20

Donc, dans un premier mode de réalisation, la présente invention fournit des bandes d'acier revêtues, qui comprennent une bande d'acier de base et un pré-revêtement constitué d'aluminium ou d'un alliage
25 d'aluminium sur au moins une partie d'un côté de la bande de l'acier de base. Dans de nombreuses applications, la bande d'acier de base peut comprendre n'importe quel type d'acier qui peut être revêtu soit avec de l'aluminium soit avec un alliage d'aluminium.
30 Toutefois, pour certaines applications, telles qu'une pièce structurelle d'une automobile, il est préférable que la bande d'acier de base comprenne un acier à ultra haute résistance (UHSS). Dans ce cas, il est particulièrement préférable que la bande d'acier de
35 base comprenne un acier au bore.

Les inventeurs ont également découvert que l'on obtient de bons résultats de soudage si le revêtement obtenu sur les pièces formées à partir d'ébauches qui ont subi

- 13 -

un alliage intermétallique, une austénitisation et un emboutissage à chaud, affichent des caractéristiques distinctives. Il convient de souligner le fait que ce revêtement est différent du pré-revêtement initial, étant donné que le traitement thermique entraîne une réaction d'alliage avec le substrat d'acier qui modifie à la fois la nature physico-chimique et la géométrie du pré-revêtement. A cet égard, les inventeurs ont découvert qu'une soudabilité particulièrement bonne de pièces aluminisées et embouties à chaud est associée à la succession suivante de couches de revêtement sur les pièces, en partant du substrat d'acier vers l'extérieur:

- (a) une couche d'inter-diffusion,
- 15 - (b) une couche intermédiaire,
- (c) une couche intermétallique, et
- (d) une couche superficielle.

Voir, par exemple, la Figure 1. Dans un mode de réalisation préféré, ces couches sont les suivantes:

- (a) une couche d'inter-diffusion, présentant de préférence une dureté moyenne (par exemple, HV50g compris entre 290 et 410, HV50g désignant la dureté mesurée sous une charge de 50 grammes). Dans un mode de réalisation préféré, cette couche présente la composition suivante, en poids: 86 % à 95 % de Fe, 4 % à 10 % d'Al, et 0 % à 5 % de Si.
- (b) une couche intermédiaire (HV50g égal à environ 900 à 1000, par exemple, ± 10 %). Dans un mode de réalisation préféré, cette couche présente la composition suivante, en poids: 39 % à 47 % de Fe, 53 % à 61 % d'Al, 0 % à 2 % de Si.
- (c) une couche intermétallique (qui présente une dureté HV50g d'environ 580 à 650, par exemple, ± 10 %). Dans un mode de réalisation préféré, cette couche présente la composition suivante, en poids: 62 % à 67 % de Fe, 30 % à 34 % d'Al, et 2 % à 6 % de Si.
- (d) une couche superficielle (HV50g égal à environ 900 à 1000, par exemple, ± 10 %). Dans un mode de

- 14 -

réalisation préféré, cette couche présente la composition suivante, en poids: 39 % à 47 % de Fe, 53 % à 61 % d'Al, et 0 % à 2 % de Si.

- 5 Dans un mode de réalisation préféré, l'épaisseur totale des couches (a) à (d) est supérieure à 30 micromètres.

Dans un autre mode de réalisation préféré, l'épaisseur de la couche (a) est inférieure à 15 micromètres, par
10 exemple 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2 ou 1 micromètre(s), et tous les nombres entiers et toutes les gammes et sous-gammes entre des valeurs, et y compris tous les nombres entre chaque valeur citée comme s'ils étaient écrits dans leur entièreté (par exemple, 13,84 micromètres).

15

Les inventeurs ont découvert que l'on peut particulièrement obtenir une soudabilité élevée lorsque les couches (c) et (d) sont essentiellement continues (c'est-à-dire qu'elles occupent au moins 90 % du niveau
20 correspondant à la couche considérée), et lorsque moins de 10 % de la couche (c) sont présents à la surface extrême de la pièce. Sans être lié par une théorie, on considère que cette disposition particulière des couches, en particulier de la couche (a) et des couches
25 (c) et (d), influence la résistivité du revêtement à la fois à cause de leurs caractéristiques intrinsèques et sous l'effet de la rugosité. Donc, un écoulement de courant, une génération de chaleur aux surfaces et une formation de noyau lors de l'étape initiale d'un
30 soudage par points sont affectés par cet arrangement particulier.

Cette disposition favorable des couches est obtenue par exemple lorsque des tôles d'acier pré-revêtues avec de
35 l'aluminium ou un alliage d'aluminium, dont la plage d'épaisseur est par exemple comprise entre 0,7 mm et 3 mm, sont chauffées pendant 3 à 13 minutes (ce temps de séjour comprend la phase de chauffage et le temps de maintien) dans un four qui est chauffé à une

- 15 -

température de 880°C à 940°C. D'autres conditions qui conduisent à ces dispositions favorables des couches sont présentées dans la Figure 7.

- 5 Pour des tôles d'une épaisseur totale supérieure ou égale à 0,7 mm, et inférieure ou égale à 1,5 mm, les conditions de traitement préférées (la température du four et le temps de séjour total dans le four) sont illustrées dans la Figure 7 par des conditions qui se
10 situent à l'intérieur des limites du diagramme "ABCD".

Pour des tôles d'une épaisseur totale supérieure à 1,5 mm et inférieure ou égale à 3 mm, les conditions de traitement préférées (la température du four et le
15 temps de séjour total dans le four) sont illustrées dans la Figure 7 par le diagramme "EFGH".

La vitesse de chauffage V_c est comprise entre 4°C/seconde et 12°C/seconde pour produire une
20 disposition favorable des couches alliées. A cet égard, cette "vitesse de chauffage" reflète l'augmentation de température qui est subie par l'acier pré-revêtu lorsqu'il est situé dans le four préchauffé. V_c est définie comme la vitesse de chauffage moyenne entre
25 20°C et 700°C. Les inventeurs ont découvert que la commande de V_c dans cette plage précise constitue un facteur clé parce qu'il commande directement la nature et la morphologie des couches alliées qui sont formées. On insiste ici sur le fait que la vitesse de chauffage
30 V_c est différente de la vitesse de chauffage moyenne, qui est la vitesse de chauffage entre la température ambiante et la température du four. Les vitesses de 6°C/seconde, 7°C/seconde, 8°C/seconde, 9°C/seconde, 10°C/seconde et 11°C/seconde sont incluses comme le sont
35 tous les nombres et toutes les gammes et sous-gammes entre celles-ci, ainsi que tous les nombres entre chaque valeur citée comme s'ils étaient écrits dans leur entièreté (par exemple, 7,7°C). A cet égard, toutes les conditions spécifiées à l'intérieur de la

- 16 -

Figure 7 sont incorporés ici à titre de référence. Des conditions particulièrement préférées sont:

(pour une épaisseur de 0,7 mm à 1,5 mm)

- 930°C, de 3 minutes à 6 minutes;
- 5 - 880°C, de 4 minutes 30 secondes à 13 minutes
 (pour une épaisseur de 1,5 mm à 3 mm)
- 940°C, de 4 minutes à 8 minutes;
- 900°C, de 6 minutes 30 secondes à 13 minutes

- 10 Un avantage spécial est obtenu avec des pré-revêtements dont l'épaisseur est comprise entre 20 et 33 micromètres, étant donné que cette plage d'épaisseur donne une disposition favorables des couches, et étant donné que l'homogénéité de l'épaisseur du pré-
- 15 revêtement est associée à une homogénéité du revêtement qui est formé après le traitement d'alliage.

Les ébauches chauffées sont ensuite transférées vers une matrice, où elles sont embouties à chaud pour

20 obtenir une pièce ou un produit, et refroidies à une vitesse supérieure à 30°C/seconde. La vitesse de refroidissement est définie ici comme étant la vitesse moyenne entre la sortie de l'ébauche chauffée du four et l'arrivée à 400°C.

25

La bande d'acier de base est revêtue soit avec de l'aluminium, soit avec un alliage d'aluminium. Commercialement, l'aluminium pur est connu dans la technique sous le nom d'aluminium de type 2, alors que

30 des alliages d'aluminium qui contiennent de 5 % en poids à 11 % en poids de silicium sont connus dans la technique sous le nom d'aluminium de type 1. Le silicium est présent dans le but d'empêcher la formation d'une couche intermétallique de fer - métal

35 épaisse qui réduit l'adhérence et la formabilité. D'autres éléments d'alliage utilisables avec l'aluminium comprennent ici le fer, entre 2,5 % en poids et 3 % en poids, et le calcium, entre 15 ppm en

- 17 -

poids et 30 ppm en poids, y compris des combinaisons de deux de ceux-ci, ou plus, avec l'aluminium.

Un bain métallique typique pour un revêtement de Al-Si
5 contient d'une manière générale dans sa composition de base en poids, de 8 % à 11 % de silicium, de 2 % à 4 % de fer, le reste étant de l'aluminium ou un alliage d'aluminium, ainsi que des impuretés inhérentes au traitement. Une composition typique d'un revêtement de
10 Al-Si est la suivante: Al-9,3%Si-2,8%Fe. Les revêtements selon l'invention ne sont toutefois pas limités à ces compositions.

La bande d'acier de base qui est utilisée ici peut être
15 n'importe quelle bande qui peut être revêtue en employant une technique de revêtement conventionnelle. Par exemple, la bande d'acier de base peut être n'importe quelle bande laminée à chaud, telle que celles préparées par le laminage à chaud d'une brame
20 d'acier (avec ou sans laminage à froid subséquent). Typiquement, la bande d'acier de base sera stockée et transportée sous la forme d'une bobine à la fois avant et après la formation du revêtement.

25 Un exemple d'un acier préféré pour la bande d'acier de base est un acier qui présente la composition suivante, en poids:

0,10 % < carbone < 0,5 %
0,5 % < manganèse < 3 %
30 0,1 % < silicium < 1 %
0,01 % < chrome < 1 %
titane < 0,2 %
aluminium < 0,2 %
phosphore < 0,1 %
35 soufre < 0,05 %
0,0005 % < bore < 0,010 %,

le reste comprenant, consistant essentiellement en ou étant constitué de fer et d'impuretés inhérentes au traitement. L'utilisation d'un acier de ce type apporte

- 18 -

une très grande résistance mécanique après le traitement thermique, et le revêtement à base d'aluminium confère une grande résistance à la corrosion.

5

La composition en poids particulièrement préférée de l'acier dans la bande d'acier de base est la suivante:

- 0,15 % < carbone < 0,25 %
- 0,8 % < manganèse < 1,8 %
- 10 0,1 % < silicium < 0,35 %
- 0,01 % < chrome < 0,5 %
- titane < 0,1 %
- aluminium < 0,1 %
- phosphore < 0,1 %
- 15 soufre < 0,05 %
- 0,002 % < bore < 0,005 %,

le reste comprenant, consistant essentiellement en ou étant constitué de fer et d'impuretés inhérentes au traitement.

20

Une bande préférée ici présente une longueur de 100 m et une largeur de 600 mm. Les épaisseurs préférées sont comprises entre 0,7 mm et 3 mm.

- 25 Encore plus préférablement, dans la composition en poids de la tôle, le rapport de poids de la teneur en titane par rapport à la teneur en azote est supérieur à 3,42, ce que l'on considère comme correspondant à un niveau auquel le bore n'est plus capable de se combiner
- 30 avec l'azote.

Un exemple d'un acier préféré disponible dans le commerce à utiliser dans la bande d'acier de base est le 22MnB5.

35

Du chrome, du manganèse, du bore et du carbone peuvent être ajoutés dans la composition de l'acier selon l'invention, pour leur effet sur la trempabilité. En outre, le carbone permet d'obtenir des caractéristiques

- 19 -

mécaniques élevées grâce à son effet sur la dureté de la martensite.

De l'aluminium est introduit dans la composition pour
5 procéder à la désoxydation à l'état liquide et pour protéger l'efficacité du bore.

Du titane, dont le rapport de teneur par rapport à la teneur en azote devrait dépasser 3,42, est introduit
10 par exemple dans le but d'empêcher la combinaison du bore avec l'azote, l'azote étant combiné avec le titane.

Les éléments d'alliage, le Mn, le Cr et le B,
15 permettent d'obtenir une trempabilité qui permet un durcissement dans les outils d'emboutissage ou l'utilisation de fluides de durcissement doux qui limitent la déformation des pièces au moment du traitement thermique. En outre, la composition selon
20 l'invention est optimisée du point de vue de la soudabilité.

L'acier dans la tôle peut subir un traitement pour la globularisation des sulfures, qui est exécuté avec du
25 calcium, qui a pour effet d'améliorer la résistance à la fatigue de la tôle.

Comme cela est mentionné ci-dessus, une ultra haute résistance peut être obtenue avec la tôle d'acier
30 revêtue et emboutie à chaud selon l'invention. Ce haut niveau de résistance est parfois associé à une ductilité limitée. Dans des applications qui nécessitent une plus grande ductilité, en particulier lorsqu'une capacité de pliage est requise pour une
35 pièce ou un produit, les inventeurs ont découvert qu'il est possible d'obtenir une ductilité accrue si le soufre est particulièrement contrôlé: lorsque le niveau de soufre de l'acier de base est inférieur ou égal à 0,002 % (20 ppm), l'angle de pliage peut être supérieur

- 20 -

- à 60°, et une ductilité et une résistance à la formation de criques améliorées sont obtenues sur les pièces qui ont subi le traitement thermique et l'emboutissage. Les niveaux préférés comprennent
5 20 ppm, 18 ppm, 15 ppm, 13 ppm, 10 ppm, 8 ppm, 5 ppm, 2 ppm, etc. de soufre. En fait, cet avantage s'applique aux aciers en général, et n'est pas limité aux aciers revêtus ni aux aciers revêtus avec des revêtements constitués d'Al ou d'alliages d'Al. Sans être liés par
10 une théorie particulière, lorsqu'ils ont analysé les causes d'une défaillance prématurée de certaines pièces lors d'opérations de pliage, les inventeurs ont observé qu'une défaillance était amorcée sur des inclusions de sulfures. On considère donc que des décohésions entre
15 les inclusions et la matrice martensitique ou bainito-martensitique agissent comme des facteurs de concentration de contraintes et déclenchent une propagation de fissure supplémentaire en mode ductile.
- 20 L'invention concerne également un procédé pour produire une pièce en partant d'une tôle revêtue selon l'invention, qui est ensuite découpée pour former une ébauche et, après la mise en forme, le revêtement de l'ébauche est soumis à une augmentation de la
25 température à une vitesse supérieure à 4°C/seconde, mais inférieure à 12°C/seconde. La vitesse de chauffage V_c est définie comme la vitesse moyenne entre 20°C et 700°C.
- 30 L'invention concerne également l'utilisation d'une tôle d'acier laminée à chaud qui peut ensuite être laminée à froid et revêtue, pour former des pièces structurelles et/ou anti-intrusion ou de sous-structure pour un véhicule à moteur terrestre, tel que par exemple, une
35 poutre de pare-chocs, un renfort de portière, un rayon de roue, etc.

La tôle selon l'invention décrite ci-dessus peut provenir, en raison de son traitement, d'un laminoir à

- 21 -

chaud, et éventuellement peut être re-laminée à froid une nouvelle fois en fonction de l'épaisseur finale souhaitée. Elle est ensuite revêtue avec un revêtement à base d'aluminium, par exemple par immersion dans un bain contenant, en plus de la source ou de l'alliage d'aluminium, par exemple de 8 % à 11 % de silicium et de 2 % à 4 % de fer, la tôle présentant une grande résistance mécanique après le traitement thermique et une grande résistance à la corrosion, ainsi qu'une bonne capacité pour des opérations de peinture et de collage.

Le revêtement est de préférence contrôlé selon la manière décrite ci-dessus, et a en particulier pour fonction de protéger la tôle de base contre la corrosion dans différentes conditions. Le traitement thermique qui est appliqué au moment du procédé de formage à chaud ou après le formage permet d'obtenir de hautes caractéristiques mécaniques qui peuvent dépasser 1500 MPa pour la résistance mécanique et 1200 MPa pour la limite d'élasticité. Les caractéristiques mécaniques finales sont réglables et dépendent en particulier de la fraction de martensite de la structure, de la teneur en carbone de l'acier et du traitement thermique. Au moment où le traitement thermique est exécuté sur une pièce finie ou au moment du procédé de façonnage à chaud, le revêtement forme une couche qui présente une résistance substantielle à l'abrasion, à l'usure, à la fatigue, aux chocs ainsi qu'une bonne résistance à la corrosion et une bonne capacité pour des opérations de peinture et de collage. Le revêtement permet d'éviter différentes opérations de préparation de surface qui sont nécessaires pour exécuter un traitement thermique sur des tôles d'acier dépourvues de revêtement.

La tôle d'acier peut être pré-revêtue par immersion, après un décapage, dans un bain d'aluminium qui contient par exemple uniquement de l'aluminium, ou soit de l'aluminium et de 8 % à 11 % de silicium et de 2 % à

- 22 -

4 % de fer, ou seulement de 2 % à 4 % de fer, voire même dans un bain d'aluminium qui contient de préférence de 9 % à 10 % de silicium et de 2 % à 3,5 % de fer. L'aluminium peut être de l'aluminium pur ou un
5 alliage d'aluminium.

Dans un exemple de mise en œuvre d'un revêtement de la tôle par immersion dans un bain de métal contenant un alliage d'aluminium comprenant une proportion
10 d'approximativement 90 % d'aluminium, la couche de revêtement comprend une première couche d'alliage qui est en contact avec la surface de l'acier. Cette couche, qui est directement en contact avec la surface de la tôle, est fortement alliée avec du fer.

15 Une deuxième couche de revêtement, au-dessus de la première, contient approximativement 90 % d'aluminium et peut contenir du silicium ainsi qu'une petite quantité de fer, en fonction de la composition du bain.

20 La première couche d'alliage peut se fissurer lorsque la tôle est soumise à des déformations importantes pendant des opérations de formage à froid lors de la fabrication de pièces.

25 Selon l'invention, après le formage de la pièce, le revêtement est soumis à une augmentation de la température à une vitesse supérieure à 4°C/seconde. Cette augmentation de la température permet une
30 refusion rapide de l'aluminium qui remplit les fissures générées par l'opération de façonnage de la pièce.

Au moment du traitement thermique, le revêtement de base, constitué d'aluminium par exemple, est transformé
35 en une couche alliée avec du fer et qui comprend différentes phases en fonction du traitement thermique, et qui présente une dureté considérable qui peut dépasser 600 HV50g.

- 23 -

Un autre avantage de l'invention réside dans le fait que la diffusion du fer dans le revêtement est amorcée à une température élevée. On obtiendra donc une meilleure cohésion entre le revêtement et l'acier dans la tôle. Sous une autre forme de l'invention, le traitement thermique peut être exécuté localement, dans des zones fortement déformées.

Selon l'invention, la tôle, à l'état brut en bobine ou en feuille, dont l'épaisseur peut être comprise entre 0,25 mm et 15 mm, présente de bonnes propriétés de formage et une bonne résistance à la corrosion, ainsi qu'une bonne capacité pour des opérations de peinture et de collage. De préférence, la tôle ou l'ébauche d'acier présente une épaisseur qui est inférieure à 3 mm étant donné que les vitesses de refroidissement qui peuvent être atteintes après la trempe sont élevées et aident à obtenir des structures martensitiques.

La tôle d'acier, un produit revêtu, présente une résistance substantielle à la corrosion à l'état brut, pendant les traitements de formage et thermique ainsi que pendant l'utilisation de la pièce finie.

La présence du revêtement au moment du traitement thermique des pièces permet d'empêcher toute décarburation du métal de base ainsi que toute oxydation. Ceci constitue un avantage indéniable, en particulier dans le cas d'un formage à chaud. En outre, le chauffage de la pièce traitée ne nécessite pas l'emploi d'un four à atmosphère contrôlée pour empêcher une décarburation.

Le traitement thermique du métal dans la tôle comprend le chauffage à une température comprise dans la gamme de A_{c1} , température de début de la transformation austénitique lors du chauffage, par exemple 750°C et 1200°C , dans un four, pendant une période qui dépend de la température à atteindre et de l'épaisseur de

- 24 -

l'ébauche. La composition est optimisée de manière à limiter le grossissement des grains au moment du traitement thermique. Si la structure recherchée est complètement martensitique, la température de maintien
5 devrait être supérieure à A_{c3} , par exemple 840°C , c'est-à-dire la température de la transformation austénitique complète. Le maintien de la température devrait être suivi par un refroidissement déterminé en fonction de la structure finale recherchée.

10

Les ébauches sont ensuite transférées du four à une presse d'emboutissage. Lorsque le temps écoulé entre la sortie des ébauches du four et l'introduction dans la presse d'emboutissage est supérieur à 10 secondes, une
15 transformation partielle à partir de l'austénite est susceptible de se produire: si l'on souhaite obtenir une structure martensitique complète, le temps de transfert entre la sortie du four et l'emboutissage devra être inférieur à 10 secondes.

20

Les inventeurs ont également découvert que l'obtention d'une structure martensitique est associée au degré de déformation lors de l'opération de formage à chaud: la quantité de déformation locale qui est provoquée par le
25 formage à chaud est étroitement liée à la forme de la pièce ou du produit et peut dépasser localement 40 % ou 50 % dans certaines régions particulières. Les inventeurs ont constaté que, lorsqu'une déformation locale dépasse une valeur critique de 10 %, la vitesse
30 de refroidissement doit être suffisamment élevée pour obtenir une transformation martensitique totale. Autrement, une transformation bainitique peut se produire en une quantité significative au lieu de la transformation martensitique. Donc, le risque est
35 qu'une structure hétérogène apparaisse sur des pièces qui ont une forme complexe avec certains endroits qui sont plus déformés que d'autres. A cet égard, les inventeurs ont mis en évidence que, aux endroits des pièces où la déformation due au formage est supérieure

- 25 -

à 10 %, la vitesse de refroidissement doit être augmentée au-delà de 50°C/seconde dans le but de garantir une transformation martensitique complète. La vitesse de refroidissement est définie comme étant la
5 vitesse moyenne entre la sortie de l'ébauche chauffée du four jusqu'à 400°C.

Mais on peut également chercher à obtenir des structures ferrito-bainitiques ou ferrito-
10 martensitiques, par un chauffage à une température comprise dans la gamme entre A_{c1} , par exemple 750°C, et A_{c3} , par exemple 840°C, suivi par un refroidissement approprié. Selon le niveau de résistance à atteindre et le traitement thermique appliqué, un ou plusieurs de
15 ces constituants est/sont présent(s) dans des proportions variables.

La modulation des paramètres du traitement thermique permet d'obtenir, avec une composition donnée,
20 différents niveaux de résistance de la tôle chaude et froide en fonction de l'épaisseur envisagée. Pour les niveaux de résistance les plus élevés, la structure est composée essentiellement de martensite.

25 L'acier est particulièrement approprié pour la production de pièces structurelles et anti-intrusion.

L'invention permet donc de produire une tôle d'acier laminée à chaud ou à froid d'une épaisseur souhaitée,
30 revêtue, qui offre des possibilités de formage étendues et qui, après un traitement thermique exécuté sur la pièce finie, permet d'obtenir une résistance mécanique qui est supérieure à 1000 MPa, une résistance substantielle aux chocs, à la fatigue, à l'abrasion et
35 à l'usure, tout en conservant une bonne résistance à la corrosion ainsi qu'une bonne capacité pour des opérations de soudage, de peinture et de collage.

- 26 -

La présente invention va maintenant être décrite de façon plus détaillée au moyen de plusieurs modes de réalisation illustratifs sans aucun caractère limitatif.

5

Exemples

Exemple 1

Dans un premier exemple de mise en application, une tôle d'acier laminée à froid de 1,9 mm d'épaisseur, 10 contenant en poids 0,23 % de carbone, 1,25 % de manganèse, 0,017 % de phosphore, 0,002 % de soufre, 0,27 % de silicium, 0,062 % d'aluminium, 0,021 % de cuivre, 0,019 % de nickel, 0,208 % de chrome, 0,005 % d'azote, 0,038 % de titane, 0,004 % de bore et 0,003 % 15 de calcium, a été pré-revêtue avec un alliage à base d'aluminium présentant une composition de 9,3 % de silicium et 2,8 % de fer, le reste étant de l'aluminium et des impuretés inévitables. Selon les conditions de fabrication, à savoir les réglages des dispositifs de soufflage sur la ligne opérationnelle, des tôles de 20 120 m de long et de 650 mm de large présentant des plage d'épaisseur variables ont été produites.

- Tôle A (selon l'invention): l'épaisseur t_{p1} et t_{p2} sur 25 chaque côté de la tôle a été contrôlée de manière à se trouver à l'intérieur de la plage de (20-33) micromètres, à chaque endroit des deux faces de la tôle, à la fois dans la direction longitudinale (ou de laminage) et dans la direction transversale. La mesure 30 a été exécutée de façon continue en employant des jauges d'épaisseur basées sur une émission de rayons X. A chaque instant, le champ de mesure de chaque jauge était une zone circulaire d'environ 20 mm de rayon. Les tôles ont ensuite été coupées pour former des ébauches 35 de 1,2 x 0,5 m² de dimensions totales.

- Tôle B (référence): sur ces tôles, l'épaisseur du pré-revêtement présentait une plus grande variabilité étant donné que l'épaisseur t_{p1} et t_{p2} sur les deux côtés

- 27 -

de la tôle était comprise dans la plage de (30-45) micromètres. Les ébauches coupées à partir de ces tôles présentaient la même épaisseur de pré-revêtement.

5 Les ébauches ont alors été soumises à un chauffage dans un four à $T = 920^{\circ}\text{C}$. Le temps de chauffage était de 3 minutes, avec 4 minutes de temps de maintien. La microstructure est alors complètement austénitique. Les ébauches ont ensuite été transférées du four à une
10 presse d'emboutissage. Lorsque le temps écoulé entre la sortie des ébauches du four et le transfert dans la presse d'emboutissage est supérieur à 10 secondes, une transformation partielle de l'austénite est susceptible de se produire, réduisant ainsi la résistance mécanique
15 de la pièce emboutie.

Les ébauches ont été directement refroidies sans emboutissage à chaud dans le but d'apprécier l'éventuelle refusion du revêtement.

20

Dans la série A, aucune fusion du pré-revêtement n'a été constatée. L'alliation intermétallique entre le pré-revêtement et le substrat d'acier s'est réalisée complètement.

25

Dans la série B, le pré-revêtement a principalement fait l'objet d'un alliage, mais quelques traces de refusion ont été observées, en particulier aux endroits auparavant plus épais du pré-revêtement. Cette refusion
30 partielle du pré-revêtement d'aluminium contribue à l'encrassement progressif des rouleaux dans le four. Les tôles selon l'invention ne contribuent pas à cette accumulation progressive sur les rouleaux.

35 Exemple 2

i) Conditions selon l'invention: dans un deuxième exemple de mise en application, une tôle d'acier laminée à froid de 1,2 mm d'épaisseur, 120 m de long et 650 mm de large, présentant la même composition et

- 28 -

comportant le même revêtement que dans l'exemple 1, a été fabriquée. Les tôles ont ensuite été coupées pour former des ébauches qui ont été chauffées à 920°C pendant 6 minutes, cette durée incluant la phase de
5 chauffage et le temps de maintien. La vitesse de chauffage V_c entre 20°C et 700°C était de 10°C/seconde. Les ébauches ont finalement été embouties et trempées dans le but d'obtenir des structures complètement martensitiques.

10

Les pièces obtenues après l'emboutissage à chaud sont recouvertes par un revêtement, de 40 micromètres d'épaisseur, illustré dans la Figure 1, qui présente une structure à quatre couches. En partant du substrat
15 d'acier, les couches sont les suivantes:

- (a) une couche d'inter-diffusion ou une couche intermétallique de 17 micromètres d'épaisseur. Cette couche est elle-même composée de deux sous-couches. La dureté HV50g est comprise dans la gamme de 295 à 407,
20 et la composition moyenne est la suivante: 90 % de Fe, 7% d'Al et 3 % de Si.
- (b) une couche intermédiaire, qui apparaît plus foncée, de 8 micromètres d'épaisseur. Cette couche présente une dureté de 940 HV50g et une composition
25 moyenne, en poids de 43 % de Fe, 57 % d'Al et 1 % de Si.
- (c) une couche intermétallique qui apparaît comme une phase pâle, de 8 micromètres d'épaisseur, affichant une dureté de 610 HV50g, une composition moyenne de
30 65 % de Fe, 31 % d'Al et 4 % de Si.
- (d) une couche superficielle plus foncée, de 7 μm d'épaisseur, d'une dureté de 950 HV50g et présentant une composition moyenne de 45 % de Fe, 54 % d'Al et 1 % de Si.

35

Les couches (c) et (d) sont quasiment continues, c'est-à-dire qu'elles occupent au moins 90 % du niveau correspondant à la couche considérée. En particulier, la couche (c) n'atteint pas l'extrême surface, excepté

- 29 -

très exceptionnellement. De toutes manières, cette couche (c) occupe moins de 10 % de l'extrême surface.

ii) Conditions de référence: d'autre part, des ébauches présentant le même matériau de base et des pièces pré-traitées ont été chauffées au four dans des conditions différentes. Les ébauches ont été chauffées à 950°C pendant 7 minutes, cette durée incluant la phase de chauffage. La vitesse de chauffage V_c était de 11°C/seconde. Ces conditions correspondent à un degré d'alliation qui est plus important que dans les conditions (i):

- dans ce revêtement, la couche intermétallique pâle (c) n'est pas continue et apparaît comme étant dispersée à l'intérieur du revêtement. Environ 50 % de cette couche sont présents à la surface extrême de la pièce. En outre, la couche d'inter-diffusion de 10 micromètres d'épaisseur en contact avec le substrat d'acier est plus mince que dans le cas précédent de la Figure 1.

Un soudage par résistance par points a été exécuté dans les deux situations i) et ii):

- (i): revêtement avec des couches (c) et (d) quasiment continues, la couche (c) occupant moins de 10 % de la surface extrême;
- (ii): revêtement avec des couches mélangées et discontinues, la couche (c) occupant plus de 10 % de la surface extrême.

Le soudage par résistance par points a été exécuté en superposant deux pièces et en les assemblant dans les conditions suivantes:

- effort de compression et effort de soudage: 4000 N
- temps de compression: 50 périodes
- temps de soudage et de maintien: 18 périodes respectivement

- 30 -

Dans chaque condition, la plage d'intensité appropriée a été déterminée pour obtenir:

- aucune projection pendant le soudage
- une taille de noyau acceptable

5

Pour la condition i), la plage de soudabilité, exprimée en termes d'intensité de courant, est de 1,4 kA. Pour la condition ii), la plage de soudabilité est extrêmement petite.

10

On peut donc voir que le revêtement selon l'invention donne des résultats nettement plus satisfaisants.

Exemple 3

15 Dans un troisième exemple de mise en application, une tôle d'acier laminée à froid de l'exemple 1 a été coupée pour former des ébauches de 500 x 500 mm² qui ont été chauffées à 920°C pendant 6 minutes, et ensuite embouties à chaud et refroidies dans des outils, dans
20 des conditions telles que deux vitesses de refroidissement différentes ont été obtenues:

- (A): vitesse de refroidissement: $V_A = 30^\circ\text{C/seconde}$
- (B): vitesse de refroidissement: $V_B = 60^\circ\text{C/seconde}$

25 A cause de la forme des pièces, différents niveaux de déformation ϵ ont été créés pendant l'emboutissage à chaud. En particulier, certaines zones largement déformées affichent des degrés de déformation supérieurs à 30 %.

30

- Comme cela est illustré dans la Figure 3, des observations métallographiques révèlent que lorsque $\epsilon > 10\%$, il se produit une transformation bainitique ou ferritique partielle sur des pièces refroidies avec
35 $V_A = 30^\circ\text{C/seconde}$, principalement sur des anciens joints de grains austénitiques. D'autre part, les pièces refroidies avec $V_B = 60^\circ\text{C/seconde}$ affichent une microstructure complètement martensitique, comme cela est illustré dans la Figure 4. Les dernières structures

- 31 -

affichent une résistance mécanique supérieure et une grande homogénéité dans le cas d'une sollicitation mécanique.

- 5 Donc, même dans des produits ou des pièces dans
lesquel(le)s la déformation est supérieure à 10 %, l'application d'un refroidissement selon l'invention
garantit une homogénéité micro-structurale et
mécanique.

10

Exemple 4

- Dans un quatrième exemple de mise en application, des pièces coulées en acier contenant différentes teneurs en soufre ont été élaborées. Ces aciers ont en outre
15 été laminés à chaud et ensuite laminés à froid pour former des tôles de 2,2 mm d'épaisseur. La teneur en soufre varie de 11 ppm (0,0011 %) à 59 ppm (0,006 %) en poids. A part le soufre, les compositions de ces différentes pièces coulées en acier comprennent, en
20 poids: 0,24 % de carbone, 1,17 % de manganèse, 0,01 % de phosphore, 0,25 % de silicium, 0,045 % d'aluminium, 0,01 % de cuivre, 0,02 % de nickel, 0,2 % de chrome, 0,04 % de titane, 0,003 % de bore et 0,002 % de calcium, le reste étant du fer et des impuretés
25 inévitables.

- Ces tôles ont été pré-revêtues avec un alliage à base d'aluminium dont la composition comprenait 9,3 % de silicium et 2,8 % de fer, le reste étant de l'aluminium
30 et des impuretés inévitables.

- Les tôles ont ensuite été coupées pour former des ébauches qui ont été chauffées à 950°C pendant 5 minutes, ensuite embouties à chaud et refroidies dans
35 des outils dans le but d'obtenir une structure complètement martensitique. La résistance mécanique dépassait 1450 MPa.

- 32 -

Des échantillons ont été extraits dans le sens transversal à la direction de laminage et ont été soumis à un test de pliage avec des modes de pliage alternés. Les inventeurs ont mis en évidence le fait que l'angle de pliage critique (angle à la rupture) est étroitement associé à la teneur en soufre de l'acier: lorsque la teneur en soufre est inférieure à 0,002 %, l'angle de pliage dépasse 60°, ce qui indique une ductilité et une absorption d'énergie plus élevées.

10

Des éprouvettes de traction compacte ont aussi été extraites dans la direction transversale au laminage dans le but de mesurer la résistance à la déchirure, c'est-à-dire l'énergie qui est nécessaire pour l'amorçage ou la propagation d'une fissure existante. Les résultats, qui sont illustrés dans la Figure 6, indiquent qu'une énergie d'amorçage supérieure à 18 Joules est obtenue lorsque la teneur en soufre est inférieure à 0,002 % en poids.

20

Etant donné que ces qualités de haute résistance et d'absorption d'énergie et de soudabilité élevées sont requises dans l'industrie automobile, les pièces ou les produits qui sont fabriqué(e)s selon l'invention seront utilisé(e)s avantageusement pour des applications de ce type.

25

Bien que la description ci-dessus soit claire s'agissant de la compréhension de l'invention, les termes suivants tels qu'ils sont utilisés dans la liste ci-dessous de modes de réalisation préférés et de revendications présentent les significations indiquées ci-dessus dans le but d'éviter toute confusion.

30

35 **Pré-revêtement** - le matériau (Al ou un alliage d'Al) qui est déposé ou appliqué sur au moins une partie de la bande, tôle, etc. d'acier de base pour former un composite de pré-revêtement acier de base, le composite

- 33 -

n'ayant pas été soumis à une réaction d'alliation entre le matériau d'Al ou d'alliage d'Al, et l'acier de base.

Alliage - une réaction entre le pré-revêtement et l'acier de base, pour produire au moins une couche intermédiaire dont la composition est différente à la fois de celle de l'acier de base et de celle du pré-revêtement. La réaction d'alliation se produit pendant le traitement thermique qui précède immédiatement l'emboutissage à chaud. La réaction d'alliation affecte l'épaisseur totale du pré-revêtement. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, la réaction d'alliation forme les couches suivantes: (a) d'inter-diffusion, (b) intermédiaire, (c) intermétallique et (d) superficielle, comme cela est décrit ci-dessus.

Acier pré-revêtu - le composite de pré-revêtement/acier de base, qui n'a pas été soumis à une réaction d'alliation entre le matériau du revêtement et l'acier de base.

Revêtement - le pré-revêtement après qu'il a été soumis à une réaction d'alliation entre le pré-revêtement et l'acier de base. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, le revêtement comprend les couches (a) d'inter-diffusion, (b) intermédiaire, (c) intermétallique et (d) superficielle décrites ci-dessus.

Acier ou produit revêtu - l'acier ou le produit pré-revêtu qui a été soumis à une réaction d'alliage entre le pré-revêtement et l'acier de base. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, l'acier revêtu est une bande, tôle, etc. d'acier de base qui est pourvue d'un revêtement selon l'invention qui comprend les couches (a) d'inter-diffusion, (b) intermédiaire, (c) intermétallique et (d) superficielle décrites ci-dessus.

- 34 -

Ebauche - une forme coupée à partir d'une bande.

Produit - Une ébauche emboutie.

5 Donc, la présente invention fournit, entre autres, les modes de réalisation préférés suivants:

1. Procédé pour fabriquer un produit de tôle d'acier revêtu et embouti à chaud, comprenant les
10 étapes suivantes:

 (A) chauffer une tôle d'acier pré-revêtue avec de l'aluminium ou un alliage d'aluminium dans un four préchauffé à une température et pendant un temps définis par le diagramme ABCD montré dans la Figure 7
15 si l'épaisseur de ladite tôle est supérieure ou égale à 0,7 mm et inférieure ou égale à 1,5 mm, et par le diagramme EFGH montré dans la Figure 7 si l'épaisseur de ladite tôle est supérieure à 1,5 mm et inférieure ou égale à 3 mm, à une vitesse de chauffage V_c entre 20°C
20 et 700°C comprise entre 4°C/seconde et 12°C/seconde, afin d'obtenir une ébauche chauffée;

 (B) transférer ladite ébauche chauffée vers une matrice; et

 (C) emboutir ladite ébauche chauffée dans
25 ladite matrice pour obtenir ainsi un produit de tôle en acier embouti à chaud, et

 dans lequel ledit produit chauffé est refroidi à une vitesse moyenne de 30°C/seconde entre la sortie dudit four et l'arrivée à 400°C.

30

2. Procédé pour fabriquer un produit de tôle d'acier revêtu embouti à chaud selon le mode de réalisation 1, dans lequel le temps écoulé entre la sortie de ladite ébauche chauffée du four et le
35 commencement dudit emboutissage n'est pas supérieur à 10 secondes, et

 dans lequel ladite ébauche chauffée est déformée à un degré supérieur à 10 % pendant ledit emboutissage, et ledit produit chauffé est refroidi à une vitesse

- 35 -

moyenne d'au moins 50°C/seconde entre la sortie dudit four et l'arrivée à 400°C.

3. Procédé pour fabriquer un produit de tôle
5 d'acier revêtu embouti à chaud selon le mode de réalisation 1 ou 2, dans lequel ladite tôle d'acier pré-revêtue est obtenue par un pré-revêtement par immersion à chaud d'une bande d'acier qui présente un premier côté et un second côté avec de l'aluminium ou
10 un alliage d'aluminium, l'épaisseur du pré-revêtement sur au moins un dudit premier côté et dudit second côté de ladite bande étant comprise entre 20 ppm et 33 ppm à chaque endroit sur au moins un desdits premier et second côtés de ladite bande; et par la découpe de
15 ladite bande d'acier pré-revêtue pour obtenir une tôle.

4. Produit embouti en acier revêtu, comprenant:
(a) une bande d'acier de base présentant un premier côté et un second côté; et
20 (b) un revêtement sur au moins un dudit premier côté de ladite bande d'acier de base et dudit second côté de ladite bande d'acier de base, dans lequel:
(i) ledit revêtement résulte d'une inter-diffusion
25 entre ledit acier de base et le pré-revêtement en aluminium ou en alliage d'aluminium,
(ii) ledit revêtement comprend, en partant de l'acier de base vers l'extérieur:
- (a) une couche d'inter-diffusion,
30 - (b) une couche intermédiaire,
- (c) une couche intermétallique, et
- (d) une couche superficielle,
dans lequel ledit revêtement présente une épaisseur supérieure à 30 micromètres, et dans lequel ladite
35 couche (a) présente une épaisseur inférieure à 15 micromètres.

5. Produit embouti en acier revêtu selon le mode de réalisation 4, dans lequel lesdites couches (c) et

- 36 -

(d) sont quasiment continues en occupant au moins 90 % de leur niveau correspondant auxdites couches considérées, et dans lequel moins de 10 % de la couche (c) sont présents à la surface extrême du produit.

5

6. Produit embouti en acier revêtu selon le mode de réalisation 4 ou 5, dans lequel l'acier dans la bande comprend les éléments suivants, en poids sur la base du poids total:

10 0,15 % < carbone < 0,5 %

0,5 % < manganèse < 3 %

0,1 % < silicium < 0,5 %

0,01 % < chrome < 1 %

titane < 0,2 %

15 aluminium < 0,1 %

phosphore < 0,1 %

soufre < 0,05 %

0,0005 % < bore < 0,08 %,

et comprend en outre du fer et des impuretés inhérentes

20 au traitement.

7. Produit embouti en acier revêtu selon l'un quelconque des modes de réalisation 4 à 6, dans lequel l'acier dans la bande comprend les éléments suivants,

25 en poids sur la base du poids total:

0,20 % < carbone < 0,5 %

0,8 % < manganèse < 1,5 %

0,1 % < silicium < 0,35 %

0,01 % < chrome < 1 %

30 titane < 0,1 %

aluminium < 0,1 %

phosphore < 0,05 %

soufre < 0,03 %

0,0005 % < bore < 0,01 %,

35 et comprend en outre du fer et des impuretés inhérentes au traitement.

- 37 -

8. Produit embouti en acier revêtu selon l'un quelconque des modes de réalisation 4 à 7, dans lequel l'acier comprend 20 ppm, ou moins, de soufre.

5 9. Produit embouti en acier revêtu selon l'un quelconque des modes de réalisation 4 à 8, dans lequel le rapport du titane et de l'azote dans la tôle d'acier, en pour cent en poids, est supérieur à 3,42.

10 10. Produit embouti en acier revêtu selon l'un quelconque des modes de réalisation 4 à 9, dans lequel le pré-revêtement en aluminium ou en alliage d'aluminium comprend de 8 % à 11 % de silicium en poids, de 2 % à 4 % de fer en poids, le reste étant de
15 l'aluminium et des impuretés inhérentes au traitement.

11. Véhicule à moteur terrestre comprenant le produit en acier revêtu traité thermiquement produit selon l'un quelconque des modes de réalisation 4 à 10.
20

12. Véhicule à moteur terrestre comprenant le produit en acier revêtu traité thermiquement produit selon l'un quelconque des modes de réalisation 1 ou 3.

25 La description présentée ci-dessus de l'invention fournit une manière et un procédé pour fabriquer et utiliser celle-ci de telle sorte que l'homme du métier soit capable de la fabriquer et de l'utiliser, cette possibilité étant offerte en particulier par le contenu
30 des revendications annexées, qui constituent une partie de la description originale. Telles qu'elles sont employées ci-dessus, les expressions "sélectionné dans le groupe comprenant", "choisi parmi" et analogues comprennent des mélanges des matières spécifiées. Des
35 termes tels que "contient/contiennent" et analogues, tels qu'ils sont employés ici, sont des termes ouverts qui signifient "comprenant au moins", sauf indication contraire. Toutes les références, demandes, normes, publications et brochures, ainsi que tous les brevets,

- 38 -

tests, documents, textes, articles, etc. mentionnés ici sont incorporés ici à titre de référence. Lorsqu'une limite ou une plage numérique est indiquée, les points finaux sont inclus. De même, toutes les valeurs et sous-gammes à l'intérieur d'une limite ou d'une plage numérique sont spécifiquement incluses comme si cela était explicitement précisé. La description ci-dessus est présentée dans le but de permettre à un homme du métier de fabriquer et d'utiliser l'invention, et est proposée dans le contexte d'une application particulière avec ses exigences. Différentes modifications des modes de réalisation préférés apparaîtront clairement à l'homme du métier, et les principes génériques qui sont définis ici peuvent être appliqués à d'autres modes de réalisation et à d'autres applications sans sortir de l'esprit et de la portée de l'invention. Donc, la présente invention n'est pas destinée à être limitée aux modes de réalisation décrits, mais doit être interprétée selon la plus large portée cohérente avec les principes et les caractéristiques divulgués ici.

Revendications :

1. Procédé pour fabriquer un produit de tôle d'acier revêtu et embouti à chaud, comprenant les étapes suivantes:

(A) chauffer une tôle d'acier pré-revêtue avec de l'aluminium ou un alliage d'aluminium dans un four préchauffé à une température et pendant un temps définis par un diagramme ABCD ayant les coordonnées de temps définies et de température avec A (3 minutes, 930°C), B (6 minutes, 930°C), C (13 minutes, 880°C) et D (4.5 minutes, 880°C), si l'épaisseur de ladite tôle est supérieure ou égale à 0,7 mm et inférieure ou égale à 1,5 mm, et par un diagramme EFGH ayant les coordonnées de temps définies et de température avec E (4 minutes, 940°C), F (8 minutes, 940°C), G (13 minutes, 900°C) et H (6.5 minutes, 900°C), si l'épaisseur de ladite tôle est supérieure à 1,5 mm et inférieure ou égale à 3 mm, à une vitesse de chauffage V_c entre 20°C et 700°C comprise entre 4°C/seconde et 12°C/seconde, afin d'obtenir une ébauche chauffée;

(B) transférer ladite ébauche chauffée vers une matrice; et

(C) emboutir ladite ébauche chauffée dans ladite matrice pour obtenir ainsi un produit de tôle en acier embouti à chaud, et

dans lequel ledit produit chauffé est refroidi à une vitesse moyenne de 50°C/seconde entre la sortie dudit four et l'arrivée à 400°C, dans lequel le temps écoulé entre la sortie de ladite ébauche chauffée du four et le commencement dudit emboutissage n'est pas supérieur à 10 secondes.

2. Procédé pour fabriquer un produit de tôle d'acier revêtu embouti à chaud selon la revendication 1, dans lequel ladite ébauche chauffée est déformée à un degré supérieur à 10 % pendant ledit emboutissage, et ledit produit chauffé est refroidi à une vitesse moyenne d'au moins 50°C/seconde entre la sortie dudit four et l'arrivée à 400°C.

3. Procédé pour fabriquer un produit de tôle d'acier revêtu embouti à chaud selon la revendication 1 ou 2, dans lequel ladite tôle d'acier pré-revêtue est obtenue par un pré-revêtement par immersion à chaud d'une bande d'acier qui présente un premier côté et un second côté avec de l'aluminium ou un alliage d'aluminium, l'épaisseur du pré-revêtement sur au moins un dudit premier côté et dudit second côté de ladite bande étant comprise entre 20 ppm et 33 ppm à chaque endroit sur au moins un desdits premier et second côtés de ladite bande; et par découpe de ladite bande d'acier pré-revêtue pour obtenir une tôle.

4. Produit embouti en acier revêtu, comprenant:

(a) une bande d'acier de base présentant un premier côté et un second côté; et

(b) un revêtement sur au moins un dudit premier côté de ladite bande d'acier de base et dudit second côté de ladite bande d'acier de base,

dans lequel:

(i) ledit revêtement résulte d'une inter-diffusion entre ledit acier de base et le pré-revêtement en aluminium ou en alliage d'aluminium,

- 41 -

(ii) ledit revêtement comprend, en partant de l'acier de base vers l'extérieur:

- (a) une couche d'inter-diffusion,
- (b) une couche intermédiaire,
- (c) une couche intermétallique, et
- (d) une couche superficielle,

dans lequel ledit revêtement présente une épaisseur supérieure à 30 micromètres, et dans lequel ladite couche (a) présente une épaisseur inférieure à 15 micromètres, et dans lequel lesdites couches (c) et (d) sont quasiment continues en occupant au moins 90 % de leur niveau correspondant auxdites couches considérées, et dans lequel moins de 10 % de la couche (c) sont présents à la surface extrême du produit.

5. Produit embouti en acier revêtu selon la revendication 4, dans lequel l'acier dans la bande comprend les éléments suivants, en poids sur la base du poids total:

0,15 % < carbone < 0,5 %
0,5 % < manganèse < 3 %
0,1 % < silicium < 0,5 %
0,01 % < chrome < 1 %
titane < 0,2 %
aluminium < 0,1 %
phosphore < 0,1 %
soufre < 0,05 %
0,0005 % < bore < 0,08 %,

et comprend en outre du fer et des impuretés inhérentes au traitement.

6. Produit embouti en acier revêtu selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, dans lequel l'acier dans la bande comprend les éléments suivants, en poids sur la base du poids total:

0,20 % < carbone < 0,5 %
0,8 % < manganèse < 1,5 %
0,1 % < silicium < 0,35 %
0,01 % < chrome < 1 %
titane < 0,1 %
aluminium < 0,1 %
phosphore < 0,05 %
soufre < 0,03 %
0,0005 % < bore < 0,01 %,

et comprend en outre du fer et des impuretés inhérentes au traitement.

7. Produit embouti en acier revêtu selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel l'acier comprend 20 ppm, ou moins, de soufre.

8. Produit embouti en acier revêtu selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans lequel le rapport du titane et de l'azote dans la tôle d'acier, en pour cent en poids, est supérieur à 3,42.

9. Produit embouti en acier revêtu selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel le pré-revêtement en aluminium ou en alliage d'aluminium comprend de 8 % à 11 % de silicium en poids, de 2 % à 4 % de fer en poids, le reste étant de l'aluminium et des impuretés inhérentes au traitement.

10. Véhicule à moteur terrestre comprenant le produit en acier revêtu traité thermiquement produit selon l'une quelconque des revendications 4 à 9.

11. Véhicule à moteur terrestre comprenant le produit en acier revêtu traité thermiquement produit selon l'une quelconque des revendications 1 ou 3.

1/4

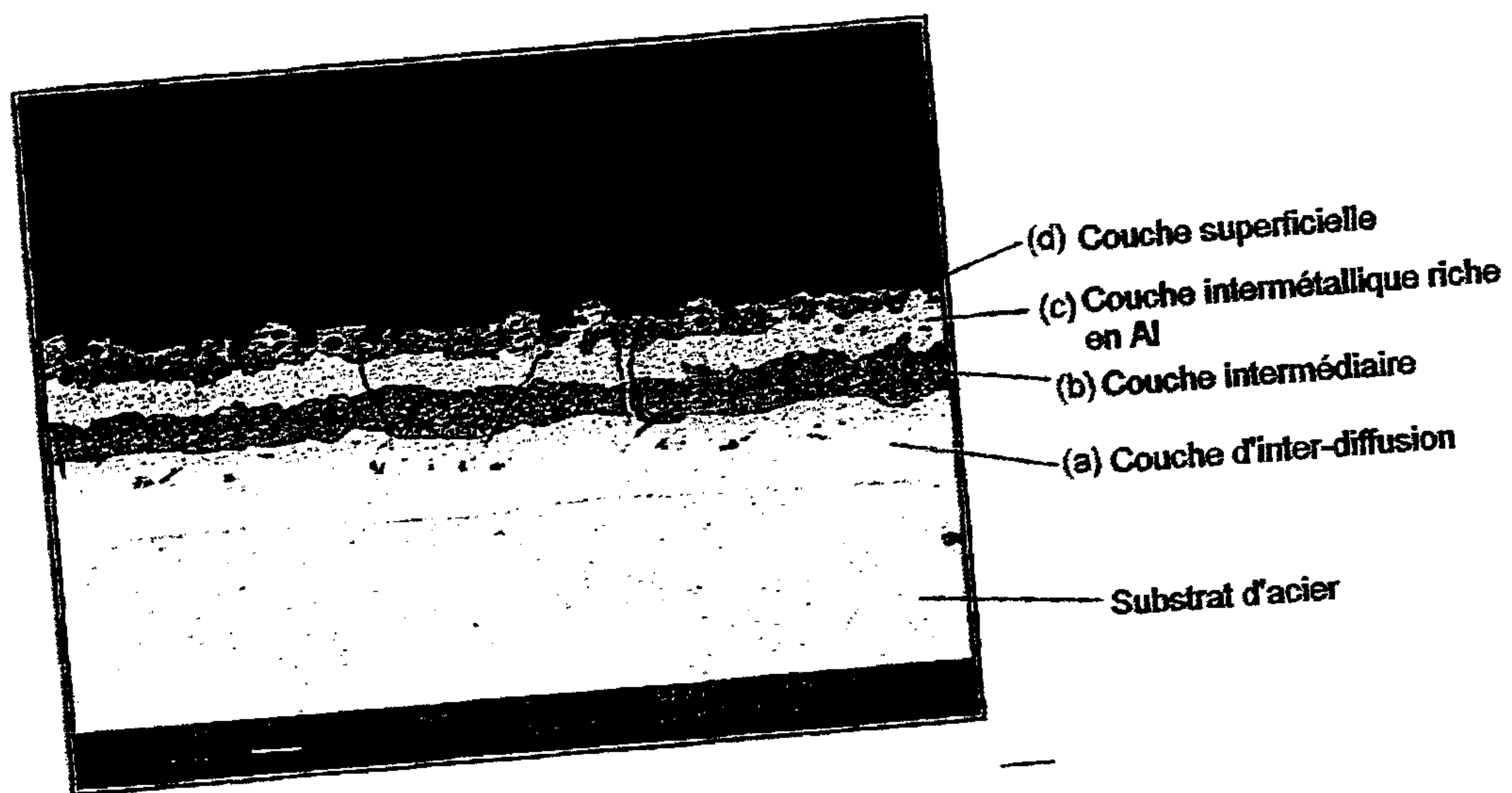


Fig. 1

10µm

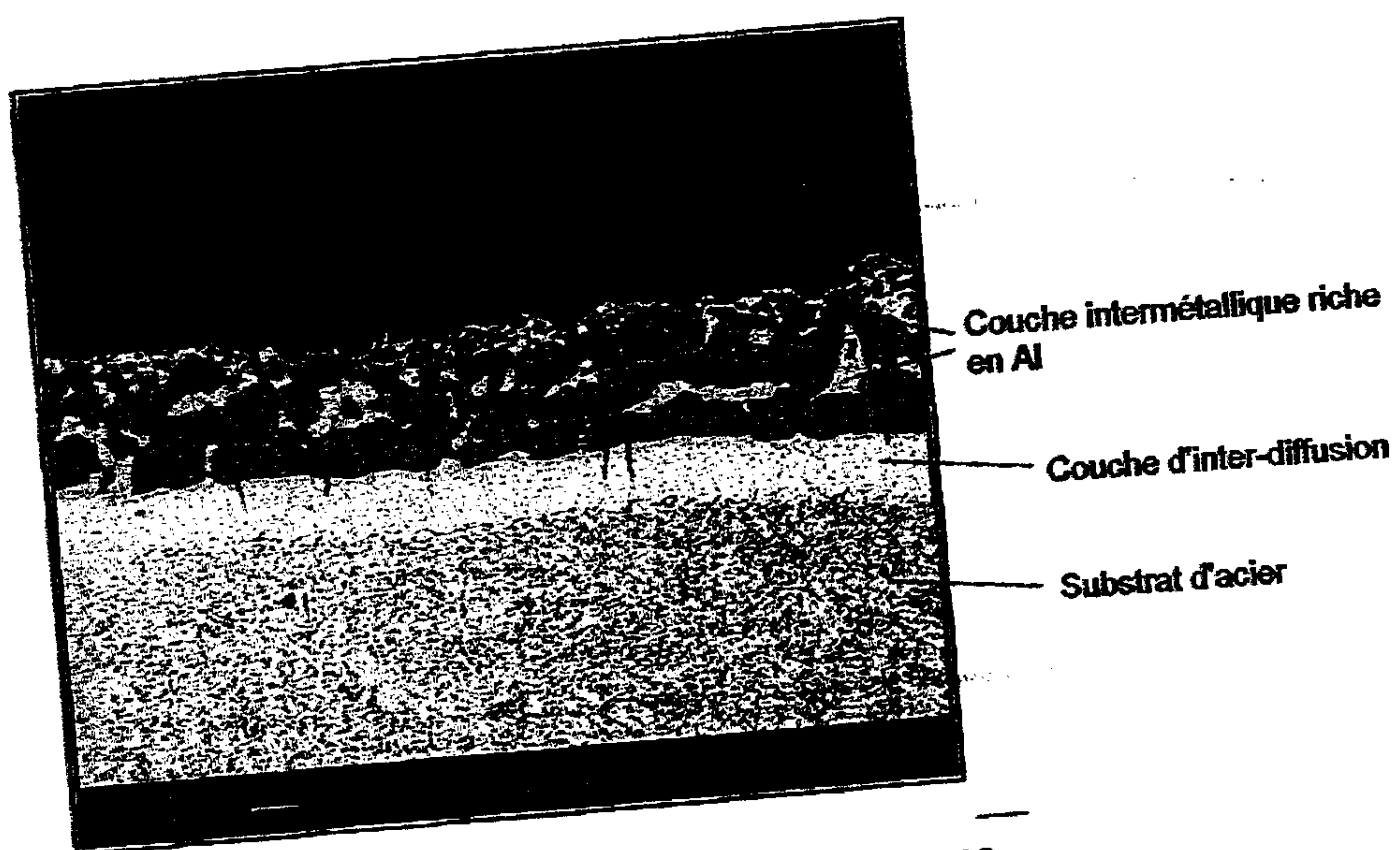


Fig.2

10µm

2/4

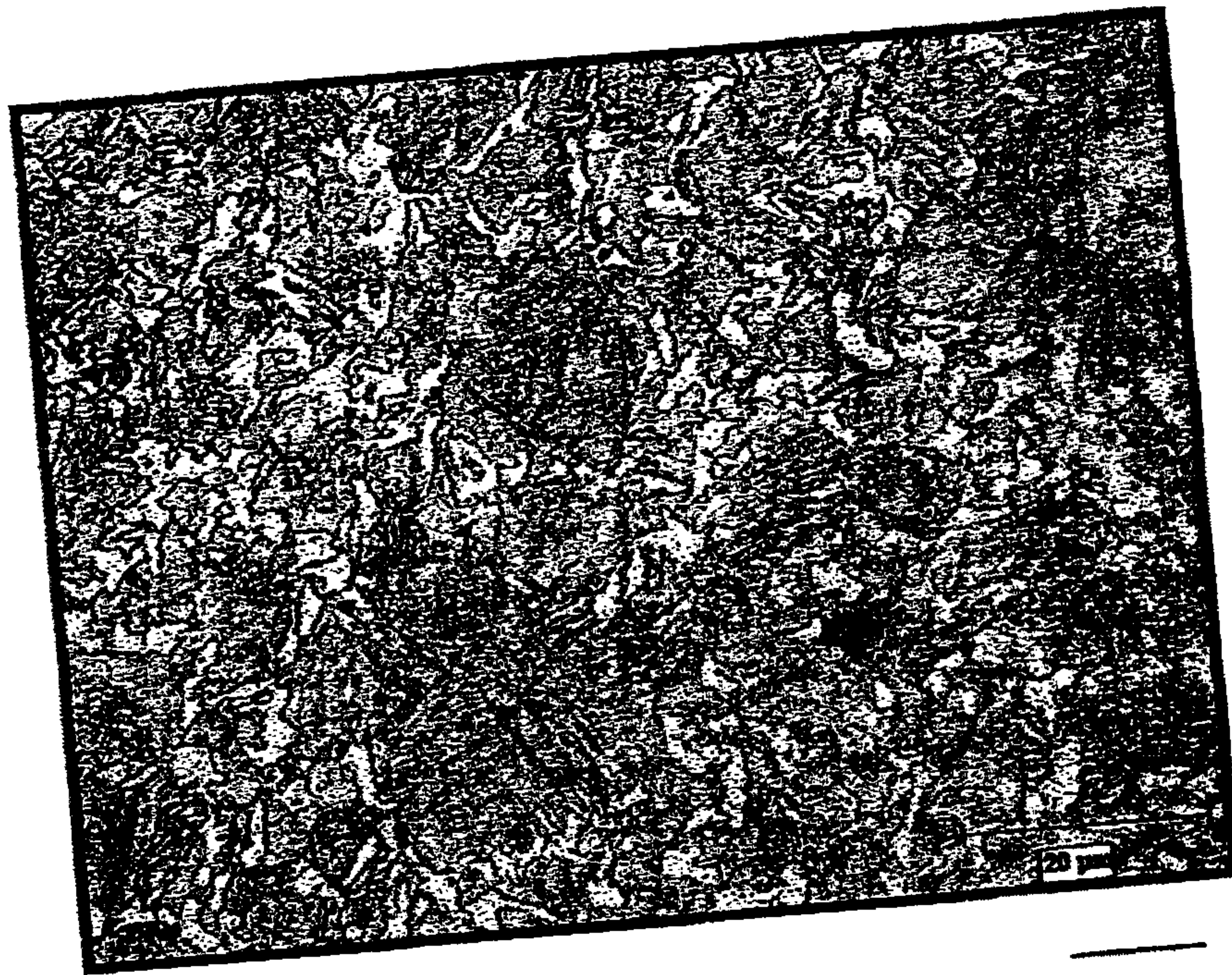


Fig. 3

10μm



Fig. 4

10 μm

3/4

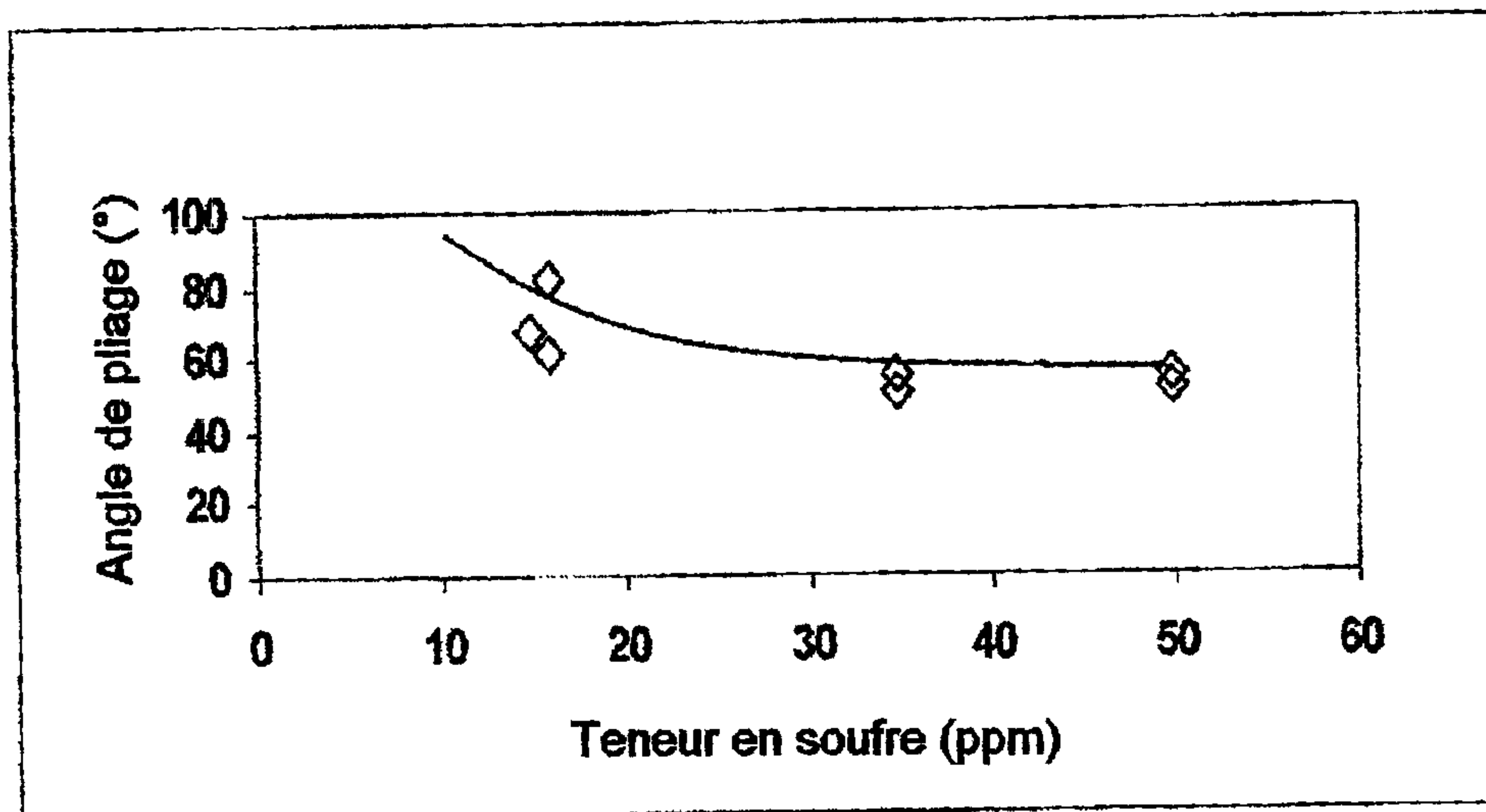


Fig. 5

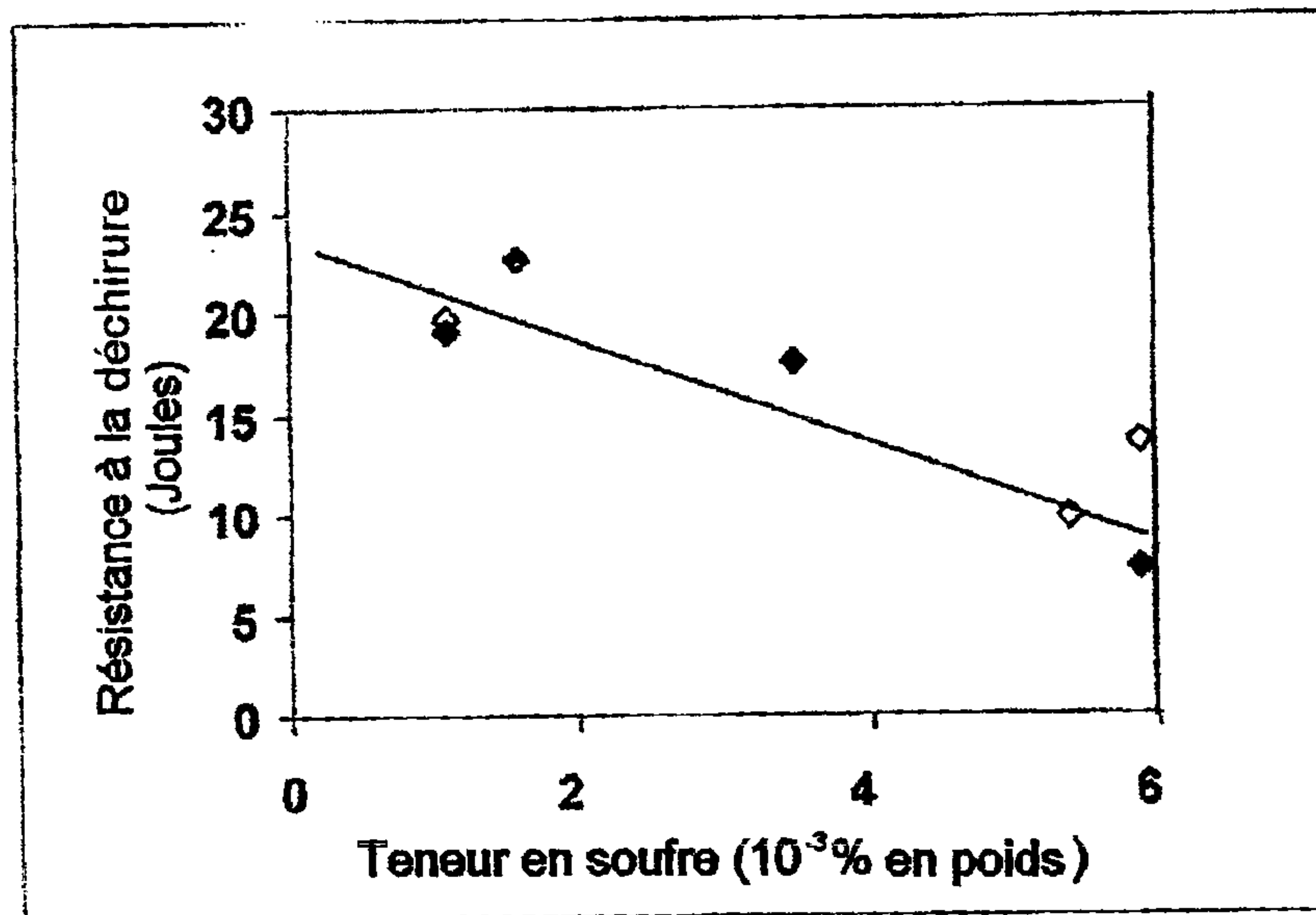


Fig. 6

4/4

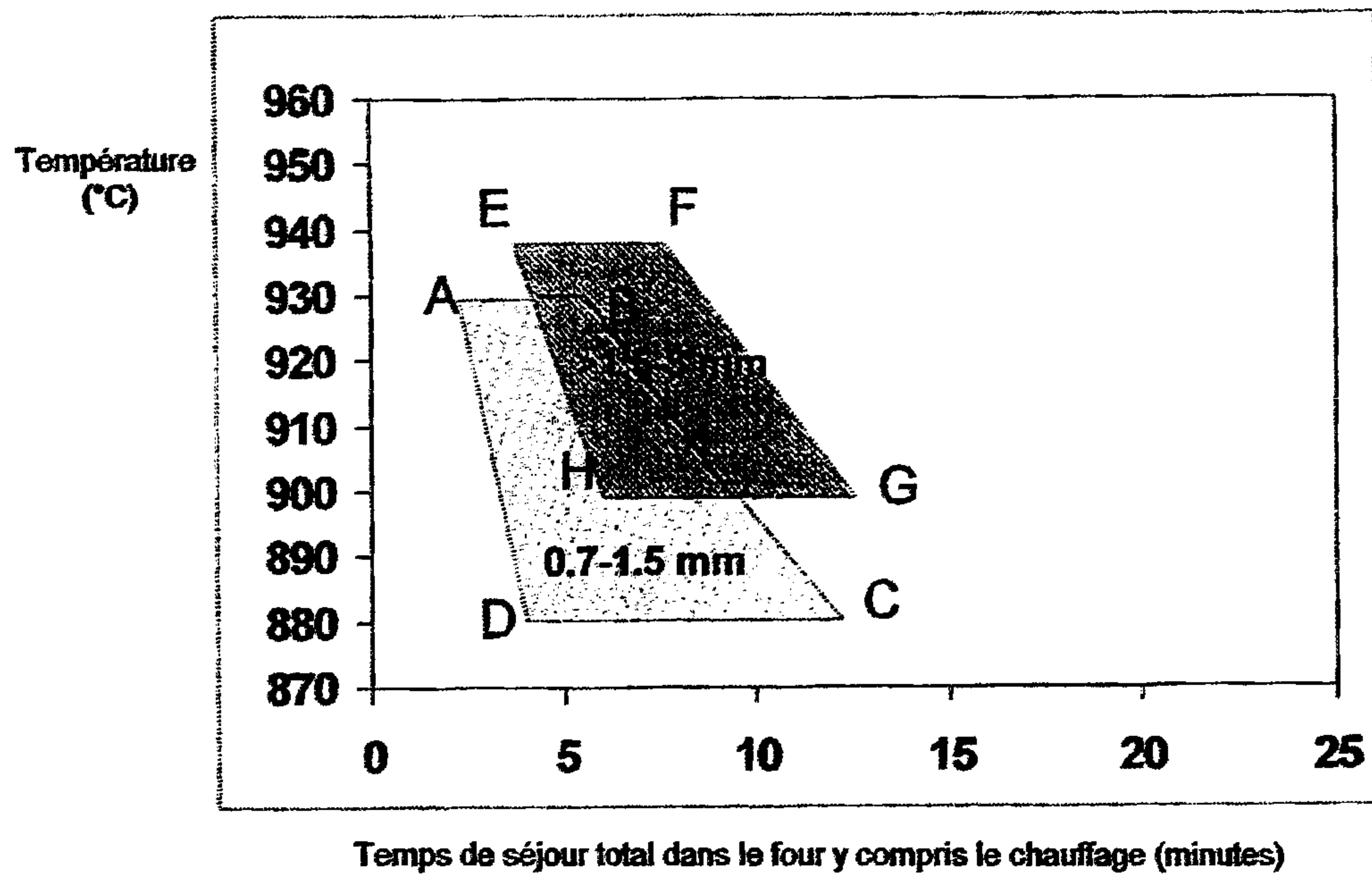
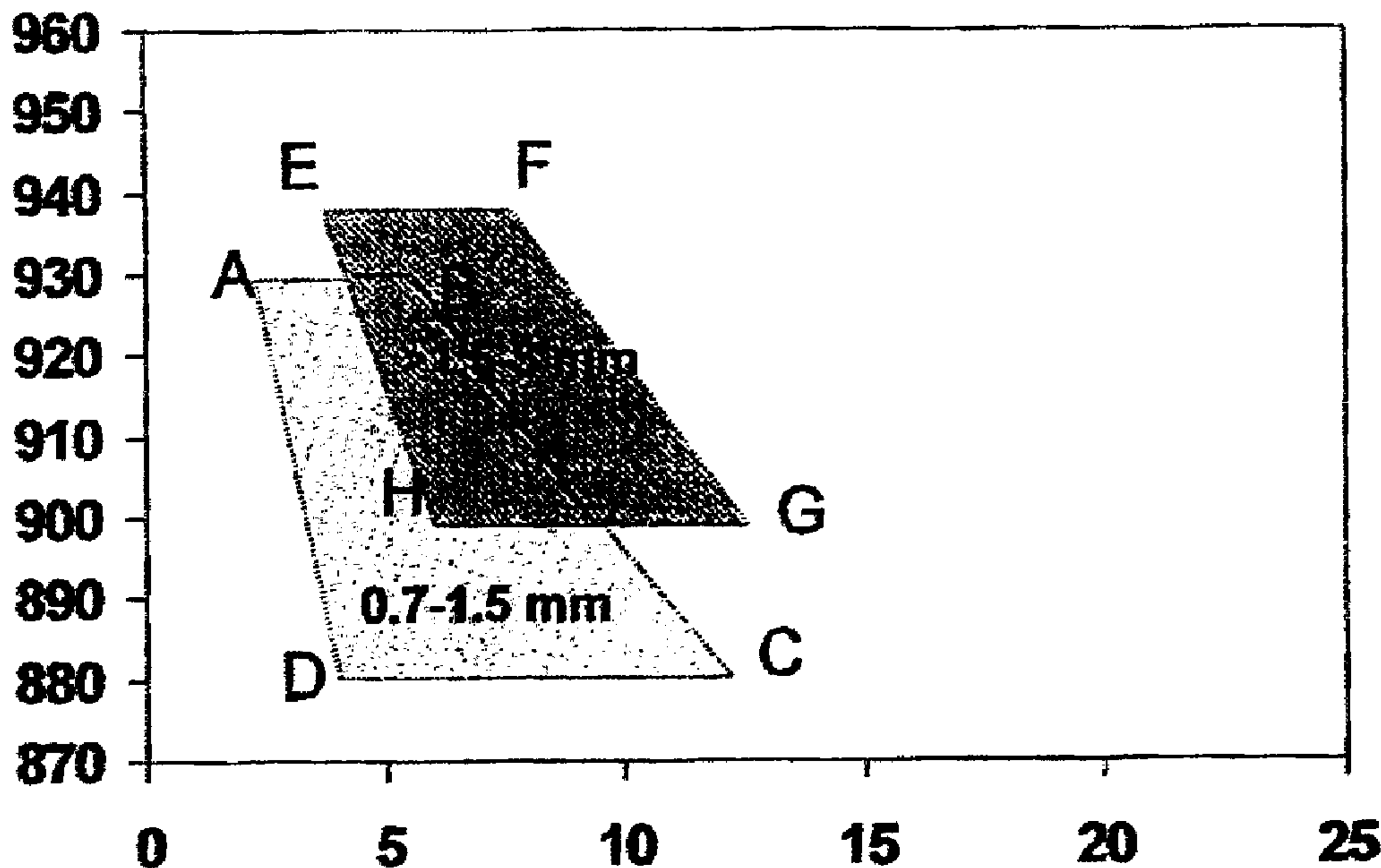


Fig. 7

Température
(°C)



Temps de séjour total dans le four y compris le chauffage (minutes)