



⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑰ Numéro de dépôt : **92870104.4**

⑸ Int. Cl.⁵ : **C21D 8/04, C21D 8/02,
B21B 1/26**

⑱ Date de dépôt : **13.07.92**

⑳ Priorité : **17.07.91 BE 9100673
09.08.91 BE 9100732**

⑺ Inventeur : **Messien, Pierre
39, rue Hayettes
B-4130 Esneux (BE)**
Inventeur : **Herman, Jean-Claude
98, rue des Brasseurs
B-4670 Blegny (BE)**

⑶ Date de publication de la demande :
20.01.93 Bulletin 93/03

⑸ Etats contractants désignés :
BE DE FR GB LU NL

⑺ Mandataire : **Lacasse, Lucien Emile et al
CENTRE DE RECHERCHES
METALLURGIQUES Abbaye du Val-Benoît 11,
rue Ernest Solvay
B-4000 Liège (BE)**

⑴ Demandeur : **CENTRE DE RECHERCHES
METALLURGIQUES CENTRUM VOOR
RESEARCH IN DE METALLURGIE Association
sans but lucratif
Vereniging zonder winstoogmerk Rue
Montoyer, 47
B-1040 Bruxelles (BE)**

⑸ **Procédé de fabrication d'une bande mince en acier doux.**

⑸ On effectue le laminage de finition jusqu'à une épaisseur de 0,5 mm à 2 mm, dans un domaine de température où l'acier présente une structure ferritique, avec une température de fin de laminage égale ou inférieure à 750°C; on lubrifie les cylindres utilisés pour ce laminage de finition, et on soumet ensuite la bande laminée à chaud à un recuit de recristallisation. La bande peut être en acier du type ULC - IF et la température d'engagement du laminage de finition est alors inférieure à 800°C. La bande peut également être en acier du type ELC ou ULC, et la température d'engagement du laminage de finition est alors comprise entre 750°C et 550°C ou entre 450°C et 250°C. Le taux de réduction de la bande au cours du laminage de finition est égal ou supérieur à 50 %. Ultérieurement, on peut laminier à froid la bande à chaud en au moins une étape de laminage à froid, avec un taux total de réduction à froid inférieur ou égal à 95 % , jusqu'à une épaisseur inférieure ou égale à 0,50 mm.

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une bande mince en acier doux, c'est-à-dire présentant une teneur en carbone inférieure à 0,2 %, et de préférence inférieure à 0,1 %.

Dans le cadre de la présente invention, la bande mince a une épaisseur inférieure ou égale à 2 mm. Une telle bande mince, revêtue ou non, est utilisée notamment en carrosserie automobile et dans les appareils électroménagers. En épaisseur particulièrement faible, c'est-à-dire inférieure à 0,50 mm, la bande de l'invention peut être utilisée par exemple pour la fabrication du fer-blanc.

Pour fabriquer une bande laminée à chaud, ductile et formable, on utilise le plus souvent une brame en acier doux coulé en continu, dont l'épaisseur est généralement comprise entre 150 mm et 300 mm. Après sa solidification, la brame est chargée dans un four de réchauffage où elle est homogénéisée à une température élevée, généralement supérieure à 1000°C, avant d'être laminée à chaud. Avant le réchauffage d'homogénéisation, la brame peut avoir été refroidie à une température relativement basse, pouvant aller jusqu'à la température ambiante; on pratique alors l'enfournement dit froid. La brame solidifiée peut aussi n'avoir été refroidie que jusqu'à une température intermédiaire, comprise par exemple entre 600°C et 900°C; dans ce cas, on pratique l'enfournement dit chaud dans le four de réchauffage. Enfin, la brame pourrait avoir subi seulement un refroidissement partiel, jusqu'à une température qui reste supérieure à 1000°C, et qui est de préférence comprise entre 1000°C et 1200°C; dans ce cas, la brame est prête pour être laminée directement, sans passer par un four de réchauffage.

La brame est laminée à haute température dans un laminoir dégrossisseur, afin de produire une ébauche ayant une épaisseur généralement comprise entre 20 mm et 40 mm. Cette ébauche est ensuite laminée dans un train finisseur à chaud jusqu'à l'épaisseur finale désirée, le plus souvent comprise entre 1,5 mm et 4 mm.

À la sortie du train finisseur à chaud, la bande laminée présente généralement une température supérieure à 850°C, dans le cas des aciers doux. La bande est finalement refroidie sur la table de sortie du train finisseur, puis elle est bobinée à une température généralement égale ou supérieure à 550°C.

Cette pratique conventionnelle du laminage à chaud permet de fabriquer une bande à chaud, ductile et formable, parfaitement recristallisée, qui peut être utilisée directement après le décapage ou qui peut être ultérieurement laminée à froid et soumise à un recuit de recristallisation pour produire une bande mince à froid. Dans le cas particulier des produits ayant une épaisseur finale inférieure à 0,25 mm, une seconde étape de laminage à froid peut ensuite s'avérer nécessaire pour conférer à la bande mince les caractéristiques mécaniques requises. Ce cycle de fabrication à froid est fréquemment appelé "traitement de double réduction à froid" par référence aux deux opérations de laminage à froid.

Dans le but de réduire les coûts de production et les frais d'investissement pour la fabrication de ces bandes à chaud et à froid, il a déjà été proposé de couler en continu des brames ayant une épaisseur inférieure à 100 mm. Ces brames minces remplacent en fait les ébauches conventionnelles et elles sont laminées directement jusqu'à l'épaisseur finale des bandes. Cette pratique permet de raccourcir les lignes de production en supprimant le réchauffage intermédiaire et le laminage de dégrossissage. Les bandes à chaud produites à partir de ces brames minces sont le plus souvent laminées dans l'austénite, avec des températures de fin de laminage à chaud supérieures à 850°C.

Les techniques conventionnelles de laminage à chaud qui viennent d'être rappelées permettent de fabriquer des bandes à chaud d'une épaisseur d'au moins 2,0 mm, sans difficulté majeure quant au maintien de la température de fin de laminage au-dessus de 850°C. De telles bandes sont dès lors laminées entièrement dans le domaine austénitique homogène.

Lorsque l'on souhaite fabriquer des bandes laminées à chaud de moindre épaisseur, la chute de température de la bande dans le train finisseur s'accroît rapidement à mesure que l'épaisseur diminue. En pratique, il est dès lors impossible de garantir des températures de fin de laminage élevées, c'est-à-dire supérieures à 850°C, sur toute la longueur et la largeur de la bande, lorsque l'épaisseur de cette bande est inférieure à 2 mm. Dans ces conditions, le laminage de la bande dans le train finisseur à chaud ne peut plus être effectué intégralement, dans toutes les cages, en phase austénitique homogène.

Par ailleurs, on sait qu'un laminage intercritique, c'est-à-dire dans une gamme de températures correspondant à la transformation austénite → ferrite de l'acier, donne lieu à divers inconvénients tels que des hétérogénéités dans les épaisseurs et les propriétés mécaniques des bandes, le non respect des tolérances de fabrication, ou des défauts de recristallisation dus à un écrouissage partiel de la ferrite.

Il n'est dès lors pas possible de fabriquer une bande à chaud de qualité avec une épaisseur inférieure à 2 mm par laminage en phase austénitique homogène, dans les trains finisseurs industriels existant actuellement. Ce manque de qualité affecte aussi bien la bande à chaud que la bande à froid recuite obtenue à partir de cette bande à chaud.

De même, il n'est pas possible de fabriquer un fer blanc de qualité supérieure après double réduction au départ d'une bande à chaud préalablement laminée en phase austénitique homogène. Les propriétés requises d'une bande à froid fabriquée par le traitement de double réduction à froid, rappelé plus haut, sont d'une part

la résistance, à savoir la limite d'élasticité et la charge de rupture, et d'autre part la ductilité, représentée essentiellement par l'allongement. L'état de surface constitue également une propriété importante de la bande.

Le niveau de résistance résulte de l'ensemble du processus de fabrication, et en particulier du taux de réduction de la seconde opération de laminage à froid; celui-ci ne dépasse généralement pas 50 %. La ductilité dépend aussi du taux de réduction au cours du dernier laminage à froid, ainsi que de la sensibilité au vieillissement du produit final.

A cet égard, on sait que le vieillissement d'un produit est dû en partie à la présence d'azote soluble, qui précipite au cours du temps et qui provoque une perte de ductilité du produit. Le vieillissement de l'acier peut être combattu par différentes méthodes.

Une première méthode consiste à limiter la température de réchauffage des brames à un niveau tel que la dissolution du nitrure AlN ne se produise pas. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle ne permet plus de garantir le laminage à chaud entièrement dans le domaine austénitique, ce qui conduit inévitablement à des structures hétérogènes et à des irrégularités dans les dimensions des bandes à chaud.

Il est également possible de stabiliser l'azote sous la forme de nitrures par l'addition d'éléments tels que le titane ou le bore. Ces éléments sont cependant très coûteux et leur emploi est incompatible avec la nécessité de maintenir le prix de revient de l'acier très bas.

Enfin, on peut augmenter la température de bobinage des bandes à chaud au-delà de 700°C, de manière à précipiter sous la forme du nitrure AlN tout l'azote préalablement dissous lors du réchauffage initial. Cependant, des températures de bobinage trop élevées conduisent à des hétérogénéités en long et en travers des bandes ainsi qu'à la formation d'une couche d'oxyde d'épaisseur excessive. De plus, des températures de bobinage voisines de 700°C donnent lieu à la formation de cémentite très grossière, qui détériore l'état de surface des produits très minces.

La procédure actuelle résulte dès lors d'un compromis considéré jusqu'à présent comme optimal: on réchauffe les brames à une température suffisante pour effectuer le laminage à chaud entièrement dans le domaine austénitique, et on bobine les bandes à chaud à une température de 550°C à 650°C de façon à précipiter une partie de l'azote sous la forme du nitrure AlN sans qu'il se produise une coalescence de la cémentite au-delà d'une certaine taille.

Cette procédure présente néanmoins l'inconvénient que l'acier reste vieillissant, puisqu'il contient de l'azote soluble, avec la conséquence d'une diminution de la ductilité du produit final.

La présente invention propose un procédé qui permet de remédier aux divers inconvénients précités et de fabriquer une bande laminée à chaud exempte de défauts et parfaitement homogène et dont l'épaisseur est égale ou inférieure à 2 mm. La bande à chaud obtenue par le procédé de l'invention possède la qualité d'emboutissage, ce qui est d'autant plus souhaitable que l'épaisseur de la bande est réduite et s'approche de la gamme usuelle d'épaisseur d'une bande laminée à froid. Suivant un autre aspect, la présente invention propose également un procédé de fabrication d'une bande laminée à froid, non vieillissante, dont les tolérances dimensionnelles sont strictement respectées et dans laquelle la cémentite est finement dispersée.

Conformément à la présente invention, un procédé de fabrication d'une bande mince en acier doux qui comporte une étape de laminage de finition à chaud, est caractérisé en ce que l'on effectue ledit laminage de finition dans un domaine de température où l'acier présente une structure ferritique, avec une température de fin de laminage égale ou inférieure à 750°C, en ce qu'on lubrifie les cylindres utilisés pour ledit laminage de finition, et en ce que l'on soumet ladite bande laminée à chaud à un recuit de recristallisation.

La position et l'étendue du domaine ferritique d'un acier dépendent en particulier de sa composition chimique, à savoir notamment de ses teneurs en carbone et en éléments d'alliage. La température d'engagement du laminage de finition dans la ferrite peut dès lors varier en fonction de l'acier utilisé.

Comme on l'a annoncé plus haut, la présente invention s'adresse à des aciers doux à bas carbone du type ELC (ELC = Extra Low Carbon, c'est-à-dire avec C < 0,1 %) et du type ULC (ULC = Ultra Low Carbon, c'est-à-dire avec C < 0,01 %); ces derniers peuvent éventuellement contenir de faibles quantités de titane et/ou de niobium, destinées à fixer les atomes interstitiels de carbone et d'azote, et à produire ainsi des aciers (ULC - IF) non vieillissants et hautement formables. Le symbole IF désigne les aciers "Interstitial Free", c'est-à-dire qui ne comportent pas d'atomes interstitiels.

Dans le cas des aciers ULC - IF, la température d'engagement du laminage de finition est égale ou inférieure à 800°C, et elle est de préférence comprise entre 750°C et 400°C.

Les aciers ELC et ULC sont, pour leur part, sensibles au phénomène de vieillissement dynamique, bien connu des spécialistes; il s'agit d'une augmentation de la résistance à la déformation dans certains domaines de température, due notamment à la présence d'atomes de C et N dans la structure de l'acier. Il importe que le laminage en phase ferritique soit conduit de façon à éviter des accroissements importants de la charge de laminage, dus précisément à ce vieillissement dynamique. En effet, ces accroissements de la charge pourraient conduire à des surcharges mécaniques indésirables sur les cages du laminoir.

Dès lors, la température d'engagement du laminage de finition, tant pour les aciers ELC que pour les aciers ULC, est comprise soit entre 750°C et 550°C, et de préférence entre 700°C et 600°C, soit entre 450°C et 250°C, et de préférence entre 400°C et 300°C.

Le laminage à chaud de finition en phase ferritique a pour but de produire des bandes à chaud minces qui présentent une structure écrouie. L'écroissage de ces bandes doit être élevé, de telle sorte que la dureté mesurée sur les bandes à chaud soit au moins égale à la moitié de la dureté que l'on mesure sur les mêmes bandes après un laminage à froid avec des taux de réduction supérieurs à 50 %.

L'obtention d'un écroissage élevé requiert l'application de taux de réduction importants, lesquels à leur tour suscitent dans les couches superficielles des bandes de fortes contraintes tangentielles de cisaillement. Il en résulte l'apparition de déformations indésirables dans la partie superficielle des bandes. Il est dès lors proposé de lubrifier les cylindres utilisés pour le laminage de finition, afin de réduire l'effort de frottement sur la bande et ainsi les contraintes de cisaillement responsables des déformations. On peut utiliser à cet effet une huile ou une graisse végétale ou animale, ou encore un lubrifiant minéral tel que le graphite.

Selon une caractéristique essentielle du procédé de l'invention, la bande laminée à chaud en phase ferritique qui présente une structure écrouie, est ensuite recristallisée.

Dans une première variante, la bande est recristallisée par un recuit continu effectué en direct après le laminage de finition; ce recuit peut alors opérer la réduction des oxydes de laminage.

Dans une autre variante, la bande laminée à chaud est bobinée et décapée, et ensuite recristallisée soit par un recuit continu soit par un recuit statique en bobine.

Une variante supplémentaire de l'invention consiste à réaliser en bobine la recristallisation de la bande à chaud qui a été écrouie pendant le laminage en phase ferritique. Les températures de bobinage élevées nécessaires pour assurer la recristallisation peuvent être obtenues en adaptant le refroidissement sur la table de sortie et en profitant de l'augmentation de température qui se produit dans les dernières cages du laminoir de finition. Cette élévation de température, provoquée par la déformation de la bande, est d'autant plus importante que l'écroissage dans les dernières cages du laminoir de finition est élevé.

L'écroissage ϵ réalisé pendant le laminage de la bande en phase ferritique est de préférence supérieur à 2. On rappellera que l'écroissage ϵ est défini comme le logarithme naturel du rapport entre l'épaisseur initiale et l'épaisseur finale du produit, c'est-à-dire

$$\epsilon = \ln \frac{e_i}{e_f}$$

On considère ici l'écroissage correspondant à l'ensemble des réductions dans la ferrite, effectuées soit à partir d'une brame d'épaisseur réduite coulée en continu soit à partir d'une ébauche obtenue par laminage préalable d'une brame plus épaisse.

Les vitesses du laminage en phase ferritique sont les vitesses de laminage usuelles; elles sont dès lors compatibles avec les possibilités des trains finisseurs existants. De même, les températures de bobinage, dans le cas où celui-ci est requis, sont déterminées en fonction des températures de fin de laminage en phase ferritique. Enfin, les températures maximales atteintes lors du recuit en direct des bandes écrouies sont également adaptées en fonction de la nature de l'acier pour assurer la recristallisation totale de celui-ci.

Dans le cadre de la présente invention, les bandes à chaud de faible épaisseur peuvent être ensuite laminées à froid avec un taux de réduction d'au moins 20 %, pour produire des bandes minces à froid d'épaisseur réduite, c'est-à-dire inférieure ou égale à 1,0 mm, et de préférence inférieure ou égale à 0,5 mm. Celles-ci sont ensuite recristallisées par recuit continu ou en bobine, pour produire des bandes de qualité d'emboutissage. Des bandes à froid d'épaisseur réduite, c'est-à-dire inférieure ou égale à 0,5 mm, présentant une qualité d'emboutissage peuvent être obtenues avec des taux de réduction à froid inférieurs à 90 % et pouvant atteindre 40%.

Sans sortir du cadre de l'invention, on peut également produire des bandes ultra-minces laminées à froid non vieillissantes, destinées par exemple à la fabrication du fer blanc.

A cet effet, on soumet l'acier à un laminage à chaud comprenant un laminage de dégrossissage et un laminage de finition, et à au moins une étape de laminage à froid, on effectue ledit laminage de finition dans le domaine ferritique jusqu'à une épaisseur de 0,5 à 2 mm avec une température de fin de laminage de finition comprise entre 750°C et 300°C, pour former une bande à chaud, on bobine ladite bande à chaud à une température comprise entre 750°C et 200°C, et on soumet cette bande à chaud à au moins une étape de laminage à froid jusqu'à l'épaisseur finale désirée, avec un taux de réduction total inférieur ou égal à 95 %.

Contrairement à la pratique antérieure, le réchauffage de la brame peut ici être limité à une température telle que le nitrure AlN ne soit pas dissous. Pour le type d'acier envisagé ici, la température de réchauffage est avantageusement comprise entre ($A_{c3} + 50^\circ\text{C}$) et 1050°C. Par ailleurs, cette température est suffisante pour éviter un réchauffage en phase intercritique, c'est-à-dire austénitique + ferritique, ou en phase ferritique, qui

conduirait à la formation de cémentite très grossière sur la bande laminée à chaud.

Le laminage de dégrossissage est effectué dans le domaine austénitique, pour former une ébauche dont l'épaisseur varie en fonction de l'épaisseur du produit final à fabriquer. Pour fixer les idées, l'épaisseur de l'ébauche est généralement comprise entre 20 mm et 50 mm.

5 Entre le laminage de dégrossissage et le laminage de finition, on refroidit l'ébauche de façon à opérer la transformation de phase de l'austénite en ferrite. La vitesse de refroidissement conditionne, de façon connue, la taille du grain ferritique, la taille et la dispersion des îlots de cémentite ou des îlots d'austénite résiduelle. On effectue dès lors un refroidissement accéléré de l'ébauche, afin d'obtenir une cémentite fine et dispersée et donc une structure ferritique homogène. La durée de ce refroidissement est avantageusement inférieure à 10 30 secondes.

Cette durée dépend de la température à laquelle on a refroidi l'ébauche et qui sera la température de début du laminage de finition dans le domaine ferritique. Selon la valeur de cette température, on obtient une structure mixte ferrite + austénite résiduelle finement dispersée ou une structure ferritique contenant de la cémentite finement dispersée.

15 Lorsque l'ébauche a atteint la température désirée, on effectue le laminage de finition dans le domaine ferritique, pour produire une bande à chaud ayant une épaisseur comprise entre 0,5 mm et 4 mm, et de préférence entre 0,5 mm et 2,5 mm. Le laminage de finition est réalisé sans attendre la coalescence des îlots d'austénite résiduelle ou de cémentite.

20 Eventuellement, on refroidit la bande à chaud jusqu'à la température de bobinage. Celle-ci est de préférence comprise entre 750°C et 200°C.

La bande à chaud mince est ensuite laminée à froid, généralement en deux opérations séparées par un recuit intermédiaire en continu ou en bobine, jusqu'à une épaisseur finale inférieure à 0,50 mm, et de préférence inférieure à 0,20 mm.

25 Au cours de la première opération de laminage à froid, l'épaisseur de la bande est réduite à moins de 0,5 mm, et de préférence à moins de 0,35 mm, avec un taux de réduction inférieur à 90 %.

La seconde opération de laminage à froid confère à la bande son épaisseur et ses propriétés finales, avec un taux de réduction inférieur à 50 % et de préférence inférieur à 30 %.

Une première série d'exemples illustrent les améliorations des propriétés de bandes à chaud obtenues par le procédé de l'invention.

30 Dans chaque exemple, on a comparé les propriétés de bandes obtenues de manière conventionnelle et de bandes obtenues conformément à l'invention, c'est-à-dire par laminage à chaud en phase ferritique et recristallisation. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants.

L'exemple 1 concerne des bandes à chaud minces en acier ULC-Ti. Les données relatives aux essais effectués ainsi que les propriétés obtenues après un recuit direct à 825°C pendant 60 s sont indiquées dans le 35 Tableau 1, dont les colonnes ont la signification suivante:

- 1) N°: indique le numéro de l'échantillon; 1, 2, 3 sont des bandes à chaud minces obtenues de manière conventionnelle; 4, 5, 6 sont des bandes à chaud laminées en phase ferritique et recristallisées.
- 2) e (mm): épaisseur finale de la bande à chaud.
- 40 3) T_e (°C): température d'entrée de la bande dans le train finisseur.
- 4) T_s (°C): température de sortie de la bande du train finisseur.
- 5) T_b (°C): température de bobinage de la bande à chaud.
- 6) LUB: bande laminée avec des cylindres lubrifiés (L) ou non lubrifiés (N).
- 7) ES (%): écrouissage de la structure de la bande laminée à chaud et bobinée, avant le recuit, déterminé à partir de la dureté HV de la bande, par la relation:
- 45

$$ES(\%) = \frac{HV_{mesurée} - HV_{recrist}}{HV_{écrouie\ à\ froid} - HV_{recrist}}$$

8) R_e (MNm⁻²): limite d'élasticité de la bande à chaud.

9) R_r (MNm⁻²): charge de rupture de la bande à chaud.

50 10) A (%): allongement de la bande à chaud.

11) r: coefficient d'anisotropie plastique (Lankford).

12) Δr: coefficient d'anisotropie planaire (dans le plan de laminage).

L'exemple 2 concerne des bandes à chaud minces en acier ELC. Il est illustré par le Tableau 2, dont les colonnes ont les mêmes objets que dans le Tableau 1. Dans cet exemple, les bandes à chaud n° 4, 5 et 6 ont subi un recuit direct de recristallisation à 720°C pendant 60 s.

55 On constate que, pour les deux types d'acier, les bandes à chaud fabriquées par le procédé de l'invention présentent une meilleure aptitude à la déformation que les bandes conventionnelles: nette amélioration des

coefficients d'anisotropie, sans modification déterminante de la limite d'élasticité, de la charge de rupture et de l'allongement.

L'exemple 3, illustré par le Tableau 3, concerne des bandes à froid en aciers des types ULC-Ti et ELC, laminées à froid à partir de bandes à chaud recristallisées. Les conditions du recuit direct de recristallisation sont les mêmes que pour les nuances d'acier correspondantes présentées respectivement dans les Tableaux 1 et 2.

Dans ce Tableau 3, les colonnes ont la signification suivante:

- | | | |
|----|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | 1) N°: | indique le numéro de l'échantillon; 1, 2 et 5 sont des bandes à chaud minces obtenues de manière conventionnelle; 3, 4, 6, 7 et 8 ont été produites par le procédé de l'invention. |
| 10 | 2) Acier: | type d'acier constituant la bande. |
| | 3) ES (%): | écrouissage de la structure de la bande laminée à chaud, avant le laminage à froid, déterminé à partir de sa dureté suivant la relation donnée au point (7) des Tableaux 1 et 2. |
| | 4) RF (%): | taux de réduction total du laminage à froid. |
| | 5) e_f (mm): | épaisseur finale de la bande laminée à froid. |
| 15 | 6) R_e (MNm ⁻²): | limite d'élasticité de la bande à froid. |
| | 7) R_r (MNm ⁻²): | charge de rupture de la bande à froid. |
| | 8) A (%): | allongement de la bande à froid. |
| | 9) r: | coefficient d'anisotropie plastique (Lankford). |
| | 10) Δr : | coefficient d'anisotropie planaire (dans le plan de laminage). |
| 20 | 11) LUB: | bande laminée avec des cylindres lubrifiés (L) ou non lubrifiés (N). |

Dans ce cas également, on constate que le procédé de l'invention a amélioré l'aptitude à la déformation par rapport aux bandes à froid conventionnelles: limite d'élasticité et charge de rupture plus faibles, léger accroissement de l'allongement et coefficients d'anisotropie plus favorables.

Une seconde série d'exemples illustrent la fabrication de bandes à froid. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 4. A titre de comparaison, ce tableau comprend également les résultats obtenus par un procédé de la technique antérieure.

Dans ce tableau, les colonnes ont la signification suivante:

- | | | |
|----|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30 | 1) N° : | numéro de l'exemple. Les exemples 1 à 5 se rapportent à l'invention (+); l'exemple 6 se réfère à un procédé antérieur. |
| | 2) T_R : | température de réchauffage de la brame. |
| | 3) T_D : | température de fin du laminage de dégrossissage. |
| | 4) T_F : | température de fin du laminage de finition. |
| | 5) T_B : | température de bobinage de la bande à chaud. |
| | 6) e_{ch} : | épaisseur de la bande à chaud. |
| 35 | 7) e_{fr1} : | épaisseur de la bande à froid après la première opération de laminage à froid. |
| | 8) e_{fr2} : | épaisseur de la bande à froid après la seconde opération de laminage à froid. |
| | 9) $R_e(NV)$: | limite d'élasticité de la bande à froid non vieillie. |
| | 10) $R_r(NV)$: | charge de rupture de la bande à froid non vieillie. |
| | 11) A (NV): | allongement de la bande à froid non vieillie. |
| 40 | 12) $R_e(V)$: | limite d'élasticité de la bande à froid après vieillissement de 50 jours à 50°C. |
| | 13) $R_r(V)$: | charge de rupture de la bande à froid après vieillissement de 50 jours à 50°C. |
| | 14) A (V): | allongement de la bande à froid après vieillissement de 50 jours à 50°C. |

Dans tous les cas, la bande à froid produite par le procédé de l'invention s'est avérée insensible au vieillissement. Cette caractéristique, due à la température limitée de réchauffage de la brame, se traduit par une remarquable stabilité des propriétés mécaniques, en particulier de l'allongement et dès lors de la ductilité de la bande. Ce résultat n'est pas atteint par le procédé antérieur. De plus, la ductilité est nettement plus élevée par le procédé de l'invention que par le procédé antérieur, ce qui favorise la mise en oeuvre de la bande à froid produite suivant l'invention.

L'exemple 4 concerne le cas particulier d'une bande qui n'a subi qu'une seule opération de laminage à froid à partir d'une bande à chaud recristallisée par un recuit continu en direct. La bande à froid obtenue présente également des propriétés très favorables, tant en ce qui concerne la résistance que la ductilité et le vieillissement. Il apparaît ainsi que, en utilisant une bande à chaud très mince avec une structure écrouie, le procédé de l'invention permet, pour certaines gammes d'épaisseurs finales, de supprimer une opération de laminage à froid sans nuire aux propriétés de la bande à froid obtenue.

D'une manière générale, une bande d'acier laminée à chaud par le procédé de l'invention se distingue par l'absence de vieillissement, ainsi que par une limite d'élasticité et une charge de rupture très basses dans le cas où la structure laminée dans le domaine ferritique recristallise totalement, c'est-à-dire si la température de laminage ($T_F \cong 700^\circ\text{C}$) et/ou si la température de bobinage ($T_B \cong 550^\circ\text{C}$) sont suffisamment élevées. Dans

toutes les autres conditions, l'acier, également non vieillissant, est caractérisé par une microstructure ferritique à grain allongé, partiellement ou totalement restaurée. Quel que soit l'état de la structure de la bande à chaud, la cémentite y est finement dispersée.

5 Au stade du laminage à froid, deux cas peuvent se présenter. D'une part, l'utilisation d'une bande à chaud très mince avec une structure écrouie ou recristallisée permet soit de réduire le taux de réduction global à froid (exemple 4), soit d'atteindre une épaisseur finale inférieure à 0,15 mm (exemple 5). D'autre part, l'utilisation d'une bande à chaud plus douce que les bandes à chaud classiques laminées dans le domaine austénitique, permet de partir d'une bande à chaud plus épaisse parce qu'elle autorise un taux de réduction total à froid plus élevé (exemples 1 - 3).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

TABLEAU 1.

N°	e (mm)	T _e (°C)	T _s (°C)	T _b (°C)	LUB	ES (%)	R _e (MNm ⁻²)	R _r (MNm ⁻²)	A (%)	r	Δr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,4	840	730	400	N	0,88	145	288	47,0	0,90	- 0,62
2	1,0	720	605	400	N	0,80	172	287	45,5	1,02	- 0,47
3	1,2	855	765	400	L	0,34	157	284	46,2	0,97	- 0,14
4	1,1	700	580	400	L	0,92	181	292	46,5	1,45	0,51
5	1,0	600	510	400	L	0,96	177	297	45,0	1,38	0,41
6	0,8	550	457	300	L	0,95	169	292	45,5	1,43	0,45

TABLEAU 2.

N°	e (mm)	T _e (°C)	T _s (°C)	T _b (°C)	LUB	ES (%)	R _e (MNm ⁻²)	R _r (MNm ⁻²)	A (%)	r	Δr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,3	852	738	659	N	0,00	189	307	44,1	0,72	- 0,50
2	1,3	810	665	580	N	0,22	178	301	42,1	0,62	- 0,60
3	1,1	780	655	550	L	0,35	178	312	42,5	0,85	- 0,45
4	1,2	720	607	400	L	0,71	172	296	43,4	0,98	0,10
5	0,9	650	554	400	L	0,79	169	292	43,0	1,01	0,15
6	0,9	450	382	300	L	0,95	173	298	44,2	1,02	0,05

T A B L E A U 3.

N°	Acier	ES (%)	RF (%)	e _f (mm)	R _e (MNm ⁻²)	R _r (MNm ⁻²)	A (%)	r	Δr	LUB
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ULC - Ti	0,32	72	0,4	174	309	43,2	1,21	- 0,72	L
2	ULC - Ti	0,87	48	0,4	168	304	42,8	1,04	- 0,21	N
3	ULC - Ti	0,93	42	0,4	157	297	44,2	2,01	0,59	L
4	ULC - Ti	0,97	45	0,4	162	301	44,8	1,78	0,19	L
5	ELC	0,81	53	0,4	208	327	37,2	0,70	- 0,39	N
6	ELC	0,52	55	0,4	187	303	40,3	1,13	0,17	L
7	ELC	0,74	48	0,4	197	309	40,2	1,18	0,22	L
8	ELC	0,82	45	0,4	198	314	41,3	1,24	0,25	L

TABLEAU 4.

5

10

15

20

N°1	T _R (°C)	T _D (°C)	T _F (°C)	T _B (°C)	e _{ch} (mm)	e _{fr1} (mm)	e _{fr2} (mm)
1	2	3	4	5	6	7	8
1 +	1020	920	720	650	1.9	0.24	0.17
2 +	1000	925	510	300	1.1	0.20	0.17
3 +	980	910	725	640	1.2	0.18	0.13
4 +	980	910	500	300	0.5	0.35	--
5 +	975	905	500	320	0.5	0.13	0.10
6	1280	1030	860	570	2.1	0.25	0.17

25

30

35

N°1	R _e (NV) (Nmm ⁻²)	R _r (NV) (Nmm ⁻²)	A (NV) (Nmm ⁻²)	R _e (V) (Nmm ⁻²)	R _r (V) (Nmm ⁻²)	A (V) (%)
1	9	10	11	12	13	14
1 +	540	548	4.2	543	547	4.1
2 +	517	533	6.9	515	535	7.0
3 +	545	554	5.0	549	558	4.9
4 +	508	527	7.0	510	532	7.2
5 +	512	532	7.0	515	540	7.1
6	567	580	2.9	588	592	0.8

40

Revendications

45

50

55

1. Procédé de fabrication d'une bande mince en acier doux, qui comporte une étape de laminage de finition à chaud, caractérisé en ce que l'on effectue ledit laminage de finition dans un domaine de température où l'acier présente une structure ferritique, avec une température de fin de laminage égale ou inférieure à 750°C, en ce qu'on lubrifie les cylindres utilisés pour ledit laminage de finition, et en ce que l'on soumet ladite bande laminée à chaud à un recuit de recristallisation.
2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la bande est en acier du type ULC - IF et en ce que la température d'engagement du laminage de finition est inférieure à 800°C.
3. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la bande est en acier du type ELC ou ULC et en ce que la température d'engagement du laminage de finition est comprise entre 750°C et 550°C ou entre 450°C et 250°C.

4. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le taux de réduction appliqué à la bande au cours dudit laminage de finition est égal ou supérieur à 50 %.
5. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on lubrifie lesdits cylindres au moyen d'une huile, d'une graisse ou d'un lubrifiant minéral tel que le graphite.
6. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le recuit de recristallisation de la bande à chaud est réalisé en continu, de préférence immédiatement après le laminage de finition.
7. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le recuit de recristallisation de la bande à chaud est réalisé en bobine.
8. Utilisation d'une bande à chaud obtenue par un procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 7, pour la fabrication d'une bande laminée à froid d'une épaisseur inférieure ou égale à 1,0 mm, et de préférence à 0,50 mm, dans laquelle on lamine à froid la bande à chaud avec un taux de réduction à froid compris entre 40 % et 90 %.
9. Procédé de fabrication d'une bande ultra-mince en acier laminée à froid, dans lequel on soumet l'acier à un laminage à chaud comprenant un laminage de dégrossissage et un laminage de finition, et à au moins une étape de laminage à froid, caractérisé en ce que l'on effectue le laminage de finition dans le domaine ferritique jusqu'à une épaisseur de 0,5 mm à 2 mm avec une température de fin de laminage de finition comprise entre 750°C et 300°C, pour former une bande à chaud, en ce que l'on bobine ladite bande à chaud à une température comprise entre 650°C et 200°C, et en ce que l'on soumet cette bande à chaud à au moins une étape de laminage à froid jusqu'à l'épaisseur finale désirée, avec un taux de réduction total inférieur ou égal à 95 %.
10. Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce que l'on refroidit l'ébauche rapidement après le laminage de dégrossissage pour assurer la transformation de phase de l'austénite en ferrite avant le laminage de finition et en ce que la durée de ce refroidissement est inférieure à 30 secondes.
11. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 9 et 10, caractérisé en ce que l'on bobine ladite bande à chaud à une température comprise entre 750°C et 200°C.
12. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'on lamine à froid ladite bande à chaud en deux opérations, jusqu'à une épaisseur finale inférieure à 0,50 mm, et de préférence inférieure à 0,20 mm.
13. Procédé suivant la revendication 12, caractérisé en ce que la première opération de laminage à froid confère à la bande une épaisseur inférieure à 0,5 mm avec un taux de réduction inférieur ou égal à 90 %.
14. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 12 et 13, caractérisé en ce que la seconde opération de laminage à froid confère à la bande à froid son épaisseur finale, avec un taux de réduction inférieur à 50 %, et de préférence inférieur à 30 %.