



⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑳ Numéro de dépôt : **94870193.3**

⑤① Int. Cl.⁶ : **C21D 8/04**

㉔ Date de dépôt : **14.12.94**

③① Priorité : **20.12.93 BE 9301421**

④③ Date de publication de la demande :
28.06.95 Bulletin 95/26

⑧④ Etats contractants désignés :
AT BE DE ES FR GB IT NL SE

⑦① 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)**

⑦② Inventeur : **Messien, Pierre
Rue des Hayettes, 39
B-4130 Esneux (BE)**

⑦④ Mandataire : **Pirmolin, Guy Jean
CENTRE DE RECHERCHES
METALLURGIQUES
11, rue Ernest Solvay
B-4000 Liège (BE)**

⑤④ **Procédé pour fabriquer une bande mince en acier doux laminée à froid pour l'emboutissage.**

⑤⑦ Procédé pour fabriquer une bande mince en acier doux laminée à froid pour l'emboutissage, dans lequel on lamine à chaud un acier doux dans un domaine de température où ledit acier présente une structure ferritique avec une température de fin de laminage inférieure à 780°C pour former une bande à chaud. On lamine ensuite à froid cette bande à chaud avec un taux de réduction d'épaisseur supérieur à 75 %, et de préférence compris entre 78 % et 85 %. La bande laminée à froid peut être ensuite soumise à un recuit final, soit en bobine, soit en continu et à un écrouissage superficiel au laminoir de skin-pass.

La présente invention concerne un procédé pour fabriquer une bande mince en acier doux laminée à froid pour l'emboutissage.

Pour fabriquer une bande mince destinée à l'emboutissage, on utilise le plus souvent une brame en acier doux, coulée en continu, dont l'épaisseur est en général supérieure à 150 mm, par exemple comprise entre 150 mm et 300 mm. Cette brame est laminée à haute température dans un laminoir dégrossisseur, afin de produire une ébauche dont l'épaisseur est généralement comprise entre 20 mm et 40 mm. Cette ébauche est ensuite laminée dans un train finisseur à chaud jusqu'à l'épaisseur désirée, le plus souvent comprise entre 1,5 mm et 4 mm.

Les aciers doux utilisés actuellement sont connus sous les dénominations ELC, pour "Extra Low Carbon" et ULC, pour "Ultra Low Carbon", dont les teneurs en carbone sont inférieures respectivement à 0,1 % et à 0,01 %.

Selon la pratique usuelle, le laminage des ébauches jusqu'à l'épaisseur désirée est effectué intégralement dans le domaine austénitique, avec des températures de fin de laminage à chaud supérieures à 850°C.

Il a par ailleurs déjà été proposé, notamment dans le brevet BE-A-08801010, de pratiquer le laminage à chaud de finition dans un domaine de température où l'acier présente une structure ferritique. La température de fin de laminage est alors inférieure à 780°C, par exemple comprise entre 750°C et 300°C; la bande laminée à chaud est ensuite bobinée à une température inférieure à 700°C, par exemple comprise entre 700°C et 200°C.

Un tel laminage à chaud dans la ferrite permet de produire des bandes à chaud plus douces et plus aisément laminables à froid.

Quelle que soit la voie choisie pour opérer le laminage à chaud, les bandes à chaud sont refroidies puis laminées à froid jusqu'à l'épaisseur finale désirée. Elles sont ensuite soumises à un recuit de recristallisation, soit en bobines dans un four soit dans une ligne de recuit continu comportant une zone de survieillessement.

Il est bien connu que l'aptitude à l'emboutissage des bandes minces à froid, obtenues à partir de bandes laminées à chaud dans le domaine austénitique, dépend du taux de réduction appliqué lors du laminage à froid. Cette aptitude à l'emboutissage, exprimée par le coefficient d'anisotropie plastique moyen $\bar{r}$, augmente d'abord avec le taux de réduction du laminage à froid, jusqu'à une valeur maximale le plus souvent supérieure à 1,5 obtenue pour un taux de réduction à froid compris entre 70 % et 75 %. L'aptitude à l'emboutissage de ces bandes à froid diminue ensuite rapidement lorsque le taux de réduction du laminage à froid dépasse 75 %.

Les bandes à froid, obtenues à partir de bandes à chaud laminées dans le domaine ferritique, présentent pour leur part une aptitude à l'emboutissage nettement plus faible que les bandes à froid d'origine austénitique, dans les mêmes conditions de réduction à froid. En particulier, le coefficient d'anisotropie plastique $\bar{r}$ de ces bandes vaut à peine 1,3 pour des taux de réduction compris entre 70 % et 75 %.

La présente invention a pour objet un procédé de fabrication d'une bande mince en acier laminée à froid, pour l'emboutissage, qui permet d'améliorer nettement l'aptitude à l'emboutissage de cette bande tout en profitant pleinement des avantages liés à un laminage à chaud de finition de la bande dans le domaine ferritique, avec une température de fin de laminage inférieure à 780°C.

Conformément à la présente invention, un procédé de fabrication d'une bande mince en acier doux laminée à froid pour l'emboutissage, dans lequel on lamine à chaud un acier doux dans un domaine de température où ledit acier présente une structure ferritique avec une température de fin de laminage inférieure à 780°C pour former une bande à chaud, est caractérisé en ce qu'on lamine ensuite à froid ladite bande à chaud avec un taux de réduction d'épaisseur conférant à la bande à froid un degré d'écrouissage final correspondant à un taux de réduction à froid supérieur à 75 %.

Selon une mise en oeuvre particulière, on opère ledit laminage à froid avec un taux de réduction d'épaisseur supérieur à 75 %, et de préférence compris entre 78 % et 85 %.

L'épaisseur de la bande à chaud peut avantageusement être déterminée en fonction de l'épaisseur finale désirée de la bande à froid et du taux de réduction appliqué au laminage à froid.

Du fait qu'une bande à chaud laminée dans la ferrite est plus aisément laminable à froid qu'une bande à chaud laminée dans l'austénite, l'épaisseur de la bande à chaud d'origine ferritique pourra être comprise dans une gamme élargie par exemple entre 1 mm et 8 mm, sans qu'il en résulte de difficultés au laminage à froid.

Suivant une autre mise en oeuvre intéressante du procédé de l'invention, on opère ledit laminage à chaud dans la ferrite au moyen de cylindres lubrifiés, avec une température de fin de laminage laissant subsister dans la bande à chaud un degré d'écrouissage au moins équivalent à celui qui correspond à un taux intermédiaire de réduction à froid de 10 % et on effectue ensuite le laminage à froid avec un taux de réduction égal à la différence entre le taux de réduction final désiré et ledit taux de réduction intermédiaire.

Cette dernière mise en oeuvre permet d'appliquer à la bande d'acier doux un écrouissage total lui assurant une aptitude à l'emboutissage élevée, c'est-à-dire un degré d'écrouissage correspondant à un laminage uni-

quement à froid avec un taux de réduction d'épaisseur d'au moins 75 %, tout en réalisant ledit écrouissage partiellement au cours du laminage à chaud dans la ferrite et partiellement au cours du laminage à froid avec une réduction d'épaisseur adaptée en conséquence.

5 Ce cumul des écrouissages à chaud et à froid peut être réalisé sur tout type d'acier ULC (IF et non IF) et ELC. A cet effet, le laminage à chaud dans la ferrite doit être effectué avec des cylindres lubrifiés, afin que les surfaces de la bande ne soient pas déformées par cisaillement; de plus, la température de fin de laminage à chaud dans la ferrite doit être abaissée dans une mesure propre à éviter une recristallisation complète de l'acier afin de laisser subsister un degré d'écrouissage déterminé dans la bande à chaud. Cette température de fin de laminage dépend notamment du type d'acier considéré; de plus, elle sera avantageusement choisie
10 en fonction du degré d'écrouissage à maintenir dans la bande à chaud.

La combinaison du laminage à chaud dans la ferrite et du laminage à froid avec un taux de réduction accru ou adapté, suivant l'invention, permet d'améliorer sensiblement diverses propriétés des bandes à froid.

Pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention, on utilise généralement une brame d'acier coulée en continu.

15 Après la coulée de la brame, on peut appliquer les techniques dites de l'enfournement chaud.

Conformément à ce qui est de préférence pratiqué dans les procédés de laminage comprenant une phase dans le domaine ferritique et contrairement à la pratique antérieure, le réchauffage de la brame peut 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 ($A_{c3} + 50^{\circ}C$) et $1150^{\circ}C$. Par ailleurs, cette température
20 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.

Enfin, une telle température de réchauffage modérée, ainsi qu'une précipitation des nitrures AlN induite au laminage à chaud, permet en particulier que les bandes à froid en aciers ELC et ULC-non IF, obtenues par le procédé de l'invention, présentent une excellente résistance au vieillissement naturel en raison de l'absence
25 quasi totale d'azote soluble dans ces aciers.

De plus, cette absence d'azote non précipité sur la bande à chaud dans la ferrite entraîne que les microstructures à grains allongés dans la direction de laminage, dites microstructures "pancake" classiquement obtenues après un laminage à chaud dans l'austénite, ne sont pas développées après le laminage à froid et le recuit en bobine de bandes à chaud laminées dans la ferrite. Les bandes laminées à froid et recuites, tant en
30 bobine qu'en continu, présentent toujours des microstructures à grains équiaxes. Toutefois, le laminage à froid avec un taux de réduction accru a pour effet de conférer à ces bandes un coefficient d'anisotropie plastique r de l'ordre de 1,5, qui permet de ranger ces bandes dans la catégorie dite DQ, c'est-à-dire Drawing Quality ou Qualité d'Emboutissage.

Le procédé de l'invention et les avantages qui en découlent seront à présent illustrés par des exemples
35 de bandes minces laminées à froid en aciers ELC et ULC.

Une première partie des bandes ont été laminées à chaud dans le domaine austénitique, laminées à froid avec des taux de réduction croissants puis recuites en continu dans des conditions usuelles. Ces bandes servent de référence.

Une deuxième partie des bandes ont été laminées à chaud dans le domaine ferritique, avec une structure entièrement recristallisée c.à.d. sans écrouissage résiduel, puis laminées à froid avec des taux de réduction inférieurs à 75 % correspondant aux taux optimaux des bandes austénitiques, et enfin recuites soit en bobine, soit en continu.

Une troisième partie des bandes ont été laminées à chaud dans le domaine ferritique, également avec une structure entièrement recristallisée, puis laminées à froid avec des taux de réduction supérieurs à 75 %
45 suivant la présente invention, et enfin recuites soit en bobine soit en continu.

Une quatrième partie des bandes ont été laminées à chaud dans la ferrite, avec une structure partiellement recristallisée de façon à maintenir dans ces bandes à chaud un degré d'écrouissage - estimé à partir de la dureté des bandes - correspondant à un taux de réduction d'épaisseur à froid supérieur à 10 %, puis laminées à froid de telle sorte que le degré d'écrouissage total corresponde à un taux de réduction d'épaisseur à froid
50 supérieur à 75 %.

Le tableau 1 illustre les améliorations observées sur les bandes à froid traitées par le procédé de l'invention par comparaison avec les bandes obtenues par les méthodes conventionnelles.

TABLEAU 1.

	acier	laminage à chaud	réduction à chaud (%)*	réduction à froid (%)	recuit	$\bar{r}$	Δr
5	ELC	ferrite	0	61	continu	1,08	0,25
			0	72	continu	1,24	0,27
			0	76	continu	1,41	0,22
10			0	80	continu	1,53	0,16
			0	84	continu	1,55	0,08
			0	89	continu	1,52	-0,12
15	ELC	ferrite	0	65	bobine	1,15	0,32
			0	73	bobine	1,34	0,27
			0	77	bobine	1,52	0,22
20			0	82	bobine	1,58	0,09
			0	88	bobine	1,55	-0,07
	ELC	austénite	0	62	continu	1,28	0,21
25			0	70	continu	1,48	0,29
			0	74	continu	1,53	0,22
			0	79	continu	1,37	0,12
			0	83	continu	1,12	0,05
30			0	86	continu	1,05	-0,15
	ULC	ferrite	0	60	continu	1,12	0,25
			0	71	continu	1,27	0,34
35			0	76	continu	1,52	0,22
			0	83	continu	1,62	0,08
			0	87	continu	1,67	-0,09
40	ULC	austénite	0	64	continu	1,32	0,28
			0	71	continu	1,48	0,27
			0	75	continu	1,49	0,19
45			0	79	continu	1,28	0,05
			0	82	continu	1,05	-0,08
	ULC	ferrite	10	50	continu	1,27	0,28
			10	60	continu	1,32	0,38
50			20	60	continu	1,77	0,24
			30	50	continu	1,84	0,32
			35	40	continu	1,82	-0,12
55			45	35	continu	1,85	-0,22

Dans ce tableau 1, l'appellation "réduction à chaud*" est appliquée au taux intermédiaire de réduction à

froid, assimilé à un taux de réduction à chaud parce qu'il est réalisé au cours du laminage à chaud dans la ferrite, et estimé à partir de la dureté de la bande à chaud.

On constate que les bandes à froid produites à partir de bandes à chaud laminées dans la ferrite, avec une structure entièrement recristallisée, développent leurs propriétés maximales pour des taux de réduction à froid supérieurs à 75 %. On constate également que les bandes à froid produites à partir de bandes à chaud laminées dans la ferrite, mais présentant une structure encore partiellement écrouie, développent leurs propriétés maximales lorsque le taux de réduction d'épaisseur cumulé est supérieur à 75 %, une partie de l'écrouissage requis étant réalisée par laminage à chaud et le reste étant réalisé par laminage à froid avec des taux de réduction d'épaisseur plus faibles, inférieurs à 75 %.

Par opposition, les bandes à froid obtenues à partir de bandes à chaud laminées dans l'austénite présentent une aptitude à l'emboutissage maximale pour un taux de réduction à froid compris entre 70 % et 75 %.

Comme on le voit dans ce tableau, les propriétés envisagées ici sont le coefficient d'anisotropie plastique $\bar{r}$ et l'anisotropie planaire Δr , qui expriment de façon connue l'aptitude à l'emboutissage.

Les résultats figurant sur ce tableau 1 montrent qu'effectivement l'acier ELC "ferritique" peut être produit en qualité DQ ($r > 1.4$) lorsque le taux de réduction à froid est suffisamment élevé (> 75 %). Cette qualité d'emboutissage DQ est par ailleurs très constante pour ces taux à froid élevés et on y associe une anisotropie planaire (Δr) faible (réduction des cornes d'emboutissage).

De même le procédé de l'invention permet de produire des nuances DDQ (Deep Drawing Quality) à partir d'acier ULC.

Le tableau 2 montre l'amélioration de la résistance au vieillissement naturel de bandes à froid recuites en continu, obtenues par le procédé de l'invention (I), par rapport à des bandes de référence (R) laminées à chaud dans l'austénite.

Cette amélioration est exprimée par l'accroissement de la limite d'élasticité ΔRe , en MPa et par la longueur relative, exprimée en %, du palier de la limite d'élasticité après vieillissement de 1 h à 100°C des bandes à froid ayant subi un léger écrouissage superficiel au laminage de skin-pass.

TABLEAU 2

acier		laminage à chaud	$\bar{r}$	ΔRe (MPa)	palier (%)
ELC	I	ferritique	1,53	3	0,8
	I	ferritique	1,55	4	1,2
	R	austénitique	1,48	18	5,3
	R	austénitique	1,53	24	5,8
ULC	I	ferritique	1,52	5	1,3
	I	ferritique	1,62	6	1,5
	R	austénitique	1,49	36	6,7

On peut constater que les accroissements de la limite d'élasticité (ΔRe) ainsi que de la longueur du palier de la limite d'élasticité après l'essai de vieillissement sont faibles, puisqu'ils n'excèdent pas respectivement 6 MPa et 1,5 % pour les bandes en acier ELC et ULC produites suivant l'invention. Ces bandes peuvent être considérées comme non vieillissantes, contrairement aux bandes de référence qui, au vieillissement, accusent des augmentations importantes de la limite d'élasticité ($\Delta Re = 18 - 36$ MPa) et de la longueur du palier de la limite d'élasticité (5,3 - 6,7 %).

Dans une modalité particulière de mise en oeuvre du procédé de l'invention, pour fabriquer une bande mince en acier de qualité pour emboutissage profond, on réchauffe une brame d'acier ELC jusqu'à une température comprise entre A_3 et 1150°C, on effectue le laminage de dégrossissage de cette brame dans le domaine austénitique, on effectue le laminage de finition de cette ébauche jusqu'à une épaisseur de 1 mm à 8 mm avec une température de fin de laminage de finition inférieure à 780°C, pour former une bande à chaud 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 supérieur à 75 %.

Revendications

1. Procédé pour fabriquer une bande mince en acier doux laminée à froid pour l'emboutissage, dans lequel on lamine à chaud un acier doux dans un domaine de température où ledit acier présente une structure ferritique avec une température de fin de laminage inférieure à 780°C pour former une bande à chaud, caractérisé en ce qu'on lamine ensuite à froid ladite bande à chaud avec un taux de réduction d'épaisseur conférant à la bande à froid un degré d'écrouissage final correspondant à un taux de réduction à froid supérieur à 75 %.
2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on opère ledit laminage à froid avec un taux de réduction d'épaisseur supérieur à 75 %.
3. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'on opère ledit laminage à froid avec un taux de réduction d'épaisseur compris entre 78 % et 85 %.
4. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on opère ledit laminage à chaud dans la ferrite au moyen de cylindres lubrifiés, avec une température de fin de laminage laissant subsister dans la bande à chaud un degré d'écrouissage au moins équivalent à celui qui correspond à un taux intermédiaire de réduction à froid de 10 % et en ce que l'on effectue ensuite le laminage à froid avec un taux de réduction égal à la différence entre le taux de réduction final désiré et ledit taux de réduction intermédiaire.
5. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'on soumet la bande laminée à froid à un recuit final.
6. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la bande à froid présente après le recuit une microstructure à grains équiaxes.
7. Procédé suivant la revendication 6, caractérisé en ce que l'on soumet la bande recuite à un écrouissage superficiel au laminoir de skin-pass.
8. Procédé pour fabriquer une bande mince en acier de qualité pour emboutissage profond, dans lequel on réchauffe une brame d'acier ELC jusqu'à une température comprise entre A_3 et 1150°C, on effectue le laminage de dégrossissage de cette brame dans le domaine austénitique, et on effectue le laminage de finition de cette ébauche jusqu'à une épaisseur de 1 mm à 8 mm avec une température de fin de laminage de finition inférieure à 780°C, pour former une bande à chaud, caractérisé 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 supérieur à 75 %.