



(72) IUNG, THIERRY, FR

(72) FARAL, ODILE, FR

(72) FARAL, MICHEL, FR

(72) BABBIT, MICHEL, FR

(72) ISSARTEL, CHRISTOPHE, FR

(71) USINOR, FR

(51) Int.Cl.⁷ B22D 11/06, C21D 8/02

(30) 1999/07/30 (99 10 060) FR

(54) **PROCEDE DE FABRICATION DE BANDES MINCES EN ACIER
DE TYPE "TRIP", ET BANDES MINCES AINSI OBTENUES**

(54) **PROCESS FOR THE PRODUCTION OF THIN TRIP-STEEL
STRIPS AND THIN STRIPS OBTAINED USING SUCH A
PROCESS**

(57) L'invention a pour objet un procédé de fabrication de bandes minces en acier de type « TRIP », selon lequel: - on coule directement à partir d'acier liquide une bande d'épaisseur comprise entre 1,5 et 10 mm, préférentiellement 1 à 5 mm, ledit acier ayant la composition (en pourcentages pondéraux) C% compris entre 0,05 et 0,25, (Mn + Cu + Ni)% compris entre 0,5 et 3, (Si + Al)% compris entre 0,1 et 4, (P + Sn + As + Sb)% inférieur ou égal à 0,1, (Ti + Nb + V + Zr + terres rares)% inférieur à 0,3, Cr% inférieur à 1, Mo% inférieur à 1, V% inférieur à 1, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ; - on effectue un laminage à chaud en ligne de ladite bande à une température supérieure à la température Ar₃ dudit acier avec un taux de réduction compris entre 25 et 70%, en une ou plusieurs passes ; - on effectue un premier refroidissement forcé de ladite bande à une vitesse comprise entre 5 et 100° C/s ; - on laisse séjourner la bande à des températures comprises entre 550 et 400° C pendant le temps nécessaire pour que s'y produise une transformation bainitique avec une proportion d'austénite résiduelle supérieure à 5%, tout en évitant la formation de perlite, puis on interrompt cette transformation par un second refroidissement forcé de ladite bande qui l'amène à une température inférieure à 400° C ; - on effectue un bobinage de ladite bande à une température inférieure à 350° C. L'invention a également pour objet une bande mince en acier de type « TRIP » susceptible d'être obtenue par le procédé précédent.

Abrégé descriptif

L'invention a pour objet un procédé de fabrication de bandes minces en acier de type « TRIP », selon lequel :

- on coule directement à partir d'acier liquide une bande d'épaisseur comprise entre 1,5 et 10 mm, préférentiellement 1 à 5 mm, ledit acier ayant la composition (en pourcentages pondéraux) C% compris entre 0,05 et 0,25, (Mn + Cu + Ni)% compris entre 0,5 et 3, (Si + Al)% compris entre 0,1 et 4, (P + Sn + As + Sb)% inférieur ou égal à 0,1, (Ti + Nb + V + Zr + terres rares)% inférieur à 0,3, Cr% inférieur à 1, Mo% inférieur à 1, V% inférieur à 1, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

- on effectue un laminage à chaud en ligne de ladite bande à une température supérieure à la température A_r3 dudit acier avec un taux de réduction compris entre 25 et 70%, en une ou plusieurs passes ;

- on effectue un premier refroidissement forcé de ladite bande à une vitesse comprise entre 5 et 100°C/s ;

- on laisse séjourner la bande à des températures comprises entre 550 et 400°C pendant le temps nécessaire pour que s'y produise une transformation bainitique avec une proportion d'austénite résiduelle supérieure à 5%, tout en évitant la formation de perlite, puis on interrompt cette transformation par un second refroidissement forcé de ladite bande qui l'amène à une température inférieure à 400°C ;

- on effectue un bobinage de ladite bande à une température inférieure à 350°C.

L'invention a également pour objet une bande mince en acier de type « TRIP » susceptible d'être obtenue par le procédé précédent.

**PROCEDE DE FABRICATION DE BANDES MINCES EN ACIER DE TYPE
« TRIP », ET BANDES MINCES AINSI OBTENUES**

L'invention concerne la coulée continue de bandes minces en acier. Plus particulièrement, elle concerne la fabrication de bandes minces en acier de type « TRIP » directement à partir de métal liquide.

Les aciers désignés habituellement par le terme TRIP (ce terme signifiant « TRansformation Induced Plasticity ») sont des aciers présentant simultanément une très haute résistance et une haute ductilité, ce qui les rend particulièrement aptes à une mise en forme. Ces propriétés sont obtenues grâce à leur structure microscopique particulière. Ils présentent, en effet, au sein d'une matrice ferritique, une phase dure de bainite et/ou de martensite, ainsi que de l'austénite résiduelle représentant de 5 à 20% de la structure. Les tôles en acier TRIP sont habituellement obtenues soit par la voie coulée continue de brames - laminage à chaud (la voie la plus courte, donc la plus économique, mais qui procure des produits de relativement forte épaisseur), soit par la voie coulée continue de brames - laminage à chaud - laminage à froid - recuit (utilisée pour les produits de faible épaisseur). La bainite permet de stabiliser l'austénite.

La réalisation de tôles d'acier TRIP de haute qualité à partir de bandes obtenues par la filière coulée continue classique - laminage à chaud est cependant rendue difficile par le problème suivant. Après le laminage à chaud de la brame initiale, on recherche une stabilisation de l'austénite lors de la transformation bainitique qui se produit pendant le bobinage de la bande, celui-ci ayant lieu à une température de 400°C (\pm 50°C). Pour amener la bande laminée à chaud à sa température de bobinage, un refroidissement par aspersion d'eau est nécessaire. Or ce refroidissement se produit dans un domaine de températures où un phénomène dit de « remouillage » est susceptible de se produire. Ce remouillage est dû à une instabilité de la vapeur d'eau formée par caléfaction au contact de la bande, la vapeur retournant pour partie à l'état liquide. Il y a donc localement des contacts eau (liquide) - bande au lieu d'un contact eau (vapeur) - bande, et cela conduit à des hétérogénéités dans le phénomène de trempe de la bande. Ces hétérogénéités dans le refroidissement se traduisent par des hétérogénéités notables dans la microstructure de la bande, dont elles altèrent les propriétés mécaniques.

Le but de l'invention est de rendre possible la production fiable de bandes d'acier TRIP de haute qualité par une filière de fabrication courte, c'est à dire ne comprenant pas d'étape de laminage à froid et recuit.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication de bandes minces en acier de type « TRIP », selon lequel :

- on coule directement à partir d'acier liquide une bande d'épaisseur comprise entre 1,5 et 10 mm, préférentiellement 1 à 5 mm, ledit acier ayant la composition (en pourcentages pondéraux) C% compris entre 0,05 et 0,25, (Mn + Cu + Ni)% compris entre

0,5 et 3, (Si + Al)% compris entre 0,1 et 4, (P + Sn + As + Sb)% inférieur ou égal à 0,1, (Ti + Nb + V + Zr + terres rares)% inférieur à 0,3, Cr% inférieur à 1, Mo% inférieur à 1, V% inférieur à 1, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

5 - on effectue un laminage à chaud en ligne de ladite bande à une température supérieure à la température A_r dudit acier avec un taux de réduction compris entre 25 et 70%, en une ou plusieurs passes ;

- on effectue un premier refroidissement forcé de ladite bande à une vitesse comprise entre 5 et 100°C/s ;

10 - on laisse séjourner la bande à des températures comprises entre 550 et 400°C pendant le temps nécessaire pour que s'y produise une transformation bainitique avec une proportion d'austénite résiduelle supérieure à 5%, tout en évitant la formation de perlite, puis on interrompt cette transformation par un second refroidissement forcé de ladite bande qui l'amène à une température inférieure à 400°C ;

- on effectue un bobinage de ladite bande à une température inférieure à 350°C.

15 L'invention a également pour objet une bande mince en acier de type « TRIP », susceptible d'être obtenue par le procédé précédent.

Comme on l'aura compris, un premier aspect essentiel de l'invention est l'utilisation d'un procédé de coulée continue de l'acier en bandes minces directement à partir de métal liquide, au lieu d'un procédé classique de coulée de brames destinées à être laminées à chaud sur un train à bandes. La bande ainsi produite subit un laminage à chaud en ligne, puis un refroidissement qui l'amène dans le domaine de températures où la transformation bainitique se produit. C'est seulement une fois que cette transformation s'est produite et que la microstructure recherchée, typique des aciers TRIP, a été obtenue qu'a lieu un deuxième refroidissement qui interrompt la transformation, et rapproche la bande de sa température de bobinage. Celle-ci se situe à une valeur plus basse que celle des bandes laminées à chaud produites par le procédé classique, puisque la transformation bainitique a déjà eu lieu, et qu'un séjour prolongé de la bande bobinée dans la gamme de températures où a eu lieu cette transformation risquerait de conduire à une évolution indésirable de la microstructure.

30 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit.

La coulée continue de bandes minces directement à partir de métal liquide est une technique qui est expérimentée depuis plusieurs années pour la coulée d'aciers au carbone, d'aciers inoxydables et d'autres alliages ferreux, mais elle n'a encore jamais été employée pour la fabrication d'aciers de type TRIP. La technique la plus couramment utilisée en coulée de bandes minces d'alliages ferreux, et qui est en train de parvenir au stade industriel, est la technique dite de « coulée entre cylindres », selon laquelle on introduit du métal liquide entre deux cylindres rapprochés à axes horizontaux, mis en rotation en sens inverses et refroidis intérieurement. L'espace de coulée est obturé latéralement par des plaques en réfractaire appliquées contre les faces latérales planes des cylindres. Des

« peaux » de métal solidifié se forment sur chacun des cylindres, et se rejoignent au niveau du col (la zone où l'écart entre les surfaces latérales cylindriques des cylindres est le plus faible et correspond sensiblement à l'épaisseur désirée pour la bande) pour former une bande solidifiée. Avant d'être bobinée, la bande peut ensuite subir divers traitements thermiques et/ou thermomécaniques tels qu'un ou plusieurs laminages à chaud, des refroidissements, des réchauffages... C'est un ensemble particulier de tels traitements qui constitue l'un des éléments essentiels de l'invention.

Selon l'invention, on coule un acier dont la composition est définie comme suit (tous les pourcentages sont des pourcentages pondéraux).

10 Sa teneur en carbone est comprise entre 0,05 et 0,25%. La limite inférieure est nécessitée par la stabilisation de l'austénite résiduelle, qui s'effectue lors du refroidissement de la bande par rejet de carbone depuis la phase ferritique dans la phase austénitique. Au-delà de 0,25%, on considère que la bande n'aura plus une soudabilité suffisante pour les applications habituelles des aciers TRIP.

15 Sa teneur en manganèse est comprise entre 0,5 et 3%. Le manganèse a pour fonctions de stabiliser l'austénite (c'est un élément gammagène) et de durcir l'acier. En dessous de 0,5%, ces effets ne sont pas suffisamment marqués. Au dessus de 3%, l'effet gammagène devient trop important pour garantir la formation d'une matrice ferritique, et de plus le manganèse ségrège de manière exagérée, ce qui dégrade les propriétés mécaniques de la bande. Le manganèse peut être partiellement substitué par du cuivre et/ou du nickel qui ont également des effets gammagènes.

20 D'autre part, on peut optionnellement imposer une teneur en cuivre comprise entre 0.5 et 2 % (en restant dans le cadre Mn + Cu + Ni compris entre 0.5 et 3 %). Le cuivre ajouté permet spécifiquement d'obtenir un durcissement par précipitation. De plus, le cuivre étant insoluble dans la cémentite, il permet comme le silicium et l'aluminium d'obtenir un effet bénéfique pour l'austénite résiduelle. D'autre part, les conditions de refroidissement rapide imposées par la coulée de bandes minces permettent d'éviter les problèmes de dégradation de l'état de surface du produit qui dissuadent de réaliser cet ajout de cuivre dans les aciers TRIP produits par les procédés classiques.

30 Le total de ses teneurs en silicium et aluminium est compris entre 0,1 et 4%. Ces éléments empêchent la précipitation de cémentite dans l'austénite et favorisent la formation de la ferrite à haute température. Par rapport aux teneurs en silicium habituellement rencontrées sur les aciers TRIP (de 0,2 à 1,5%), on notera que le procédé selon l'invention peut autoriser des teneurs plus élevées, pour des raisons et dans des conditions qui seront vues plus loin.

35 La teneur cumulée en phosphore, étain, arsenic, antimoine ne doit pas excéder 0,3%, pour limiter la fragilité des produits, et de préférence la teneur en phosphore ne dépasse pas 0,05%.

On peut également ajouter du titane, du niobium, du vanadium, du zirconium ou des terres rares, à des teneurs dont la somme ne dépasse pas 0,3%. Ces éléments forment des carbures, nitrures ou carbonitrures qui bloquent la croissance des grains à haute température et augmentent la résistance par l'effet de précipitation.

5 Enfin, il faut éviter une présence trop importante d'éléments qui ralentiraient la transformation bainitique. C'est le cas du chrome, du molybdène et du vanadium. En tout état de cause, les teneurs de chacun de ces éléments ne doivent pas dépasser 1%. Optimalement, le total de leurs teneurs ne doit pas dépasser 0,3%, et encore plus préférentiellement 0,05%.

10 Les autres éléments présents dans l'acier sont ceux que l'on s'attend habituellement à trouver en tant qu'impuretés résultant de l'élaboration, dans des proportions qui n'influent pas notablement sur les propriétés recherchées pour les aciers TRIP.

15 Le métal liquide dont la composition répond aux critères précédemment énoncés est coulé sur une installation de coulée entre cylindres, de manière à former en continu une bande solidifiée dont l'épaisseur peut aller de 0,5 à 10 mm et plus classiquement aller de 1 à 5 mm. A sa sortie des cylindres, la bande traverse de préférence une zone d'inertage, telle qu'une enceinte étanche, à l'intérieur de laquelle on maintient au voisinage de la bande une atmosphère non oxydante pour le métal, grâce à une insufflation d'un gaz neutre (azote ou argon) abaissant la teneur en oxygène à un très bas niveau. On peut aussi envisager de conférer à cette atmosphère des propriétés réductrices en y introduisant de l'hydrogène.

20 Le but de cet inertage est d'éviter, ou au moins de limiter sensiblement, la formation de calamine à la surface de la bande, dont la présence, lors de l'étape de laminage à chaud qui va suivre, conduirait à l'apparition de défauts tels que des incrustations de calamine à la surface de la bande. Le dispositif d'inertage peut être remplacé ou complété par un dispositif assurant l'enlèvement de la calamine formée, par exemple un ensemble de brosses rotatives. Un intérêt de l'utilisation d'un tel dispositif d'inertage et/ou décalaminage avant le laminage à chaud est qu'il permet d'augmenter la teneur tolérable du métal en silicium. En effet, dans le procédé classique de fabrication des aciers TRIP par coulée de brames - laminage à chaud, on préfère éviter, le plus souvent, d'imposer une teneur en silicium supérieure à 0,25%, car sinon les conditions de formation de calamine sont généralement telles que l'on assiste à une apparition importante de fayalite (oxyde de fer et de silicium), très difficile à enlever avant le laminage à chaud. Dans les installations classiques où la coulée des brames et leur refroidissement s'effectuent à l'air libre, les brames coulées, déjà fortement calaminées, séjournent à la température ambiante, et doivent être réchauffées dans un four de grande taille (donc difficile à inerte) situé hors de la ligne de coulée avant d'être envoyées au train à bandes. Pour limiter la formation de calamine fortement chargée en fayalite et obtenir ainsi un état de surface correct de la bande, il est donc préférable, dans la filière habituelle de fabrication

des aciers TRIP laminés à chaud, de limiter la teneur en silicium du métal à la valeur précédemment citée, alors que, comme on l'a dit, des teneurs plus élevées présenteraient des avantages métallurgiques sensibles. L'utilisation d'une coulée entre cylindres pourvue d'un laminoir à chaud en ligne a, de ce point de vue, l'avantage qu'il est beaucoup plus facile d'empêcher ou de limiter la formation de fayalite sur la faible distance séparant la coulée et le laminage (ou d'enlever la fayalite qui a pu se former) que dans une installation classique.

Après sa coulée, et après avoir traversé l'éventuelle zone d'inertage, la bande est ensuite laminée à chaud en ligne, de manière connue, pour lui conférer une épaisseur comprise généralement entre 1 et 3 mm. Ce laminage doit s'effectuer dans le domaine austénitique, donc à une température supérieure à la température A_r3 de la nuance coulée. Il est effectué avec un taux de réduction total compris entre 25 et 70%. Le rôle de ce laminage à chaud en ligne est double. Il doit d'abord refermer les porosités qui ont pu se former au cœur de la bande lors de sa solidification. Il doit surtout « casser » la microstructure résultant de la solidification, de manière à l'affiner et à rendre possible l'obtention de la microstructure finale désirée. Ce laminage à chaud peut avoir lieu en une ou plusieurs passes, c'est à dire par passage de la bande dans une cage de laminoir unique, ou par passage de la bande dans plusieurs cages successives, la première assurant une réduction faible visant à refermer les porosités, et la ou les suivantes assurant l'obtention de l'épaisseur définitive. A titre d'exemple, on peut proposer les triplets (épaisseur coulée/taux de réduction au laminage à chaud/épaisseur finale) suivants :

Epaisseur de bande initiale (mm)	Taux de laminage à chaud (%)	Epaisseur de bande finale (mm)
4	25	3
4	50	2
2	40	1,2
1.5	40	0.9
1	60	0,6

Tableau 1 : exemples de triplets (épaisseur coulée/taux de réduction au laminage à chaud/épaisseur finale)

25

Après ce laminage à chaud, on réalise un premier refroidissement forcé de la bande, par exemple au moyen d'une aspersion d'eau. Ce refroidissement vise à former au sein de la bande une structure ferritique, tout en évitant l'apparition de perlite. A cet effet, il faut le réaliser à une vitesse comprise entre 5 et 100°C/s, préférentiellement entre 25 et 80°C/s, ce qui est parfaitement compatible avec les technologies classiques de refroidissement de bandes ayant les épaisseurs considérées. Une vitesse de refroidissement trop faible provoquerait l'apparition de perlite, ce qui rendrait impossible la transformation

30

bainitique qui constitue l'une des caractéristiques essentielles de l'invention. Une vitesse de refroidissement trop élevée risque de ne pas permettre d'obtenir la structure ferritique telle que recherchée pour la matrice, car on passerait directement dans le domaine bainitique, voire dans le domaine martensitique. La gamme de vitesses de refroidissement
5 préférentielle permet de mieux assurer l'obtention d'un résultat optimal.

Ce premier refroidissement doit être tel, en vitesse et en durée, qu'il amène la bande dans un état thermique qui autorise un séjour de la bande à l'air dans le domaine de températures 550-400°C, préférentiellement 530-470°C (afin d'obtenir le taux d'austénite recherché pour des temps de maintien raisonnables, tout en garantissant qu'on ne formera
10 pas de perlite) pendant le temps nécessaire pour que se produise une transformation bainitique stabilisant la proportion d'austénite restante à plus de 5%, tout en évitant la formation de perlite. Une fois ce résultat obtenu, la bande subit un deuxième refroidissement forcé, par exemple par aspersion d'eau, de manière à amener la bande hors du domaine de température précédent (donc à moins de 400°C), de préférence jusqu'à sa
15 température de bobinage, qui doit être inférieure à 350°C. Ce domaine de températures de bobinage est choisi pour éviter toute évolution majeure de la structure de la bande bobinée, telle qu'une précipitation de carbures qui déstabiliserait l'austénite.

La durée du séjour de la bande à l'air sans refroidissement forcé nécessaire pour obtenir la transformation bainitique telle que souhaitée varie selon les paramètres de coulée
20 précis, à savoir la composition de la bande et sa vitesse de défilement dans la zone de l'installation correspondante. Cette durée doit être déterminée expérimentalement, en s'aidant des courbes de transformation classiques des nuances d'acier considérées, et en fonction du taux d'austénite résiduelle précis que l'on désire obtenir. Un taux d'austénite élevé améliore la ductilité, mais inversement, un taux d'austénite inférieur à 5% en fin de
25 transformation bainitique procurera une formation de martensite insuffisante pour obtenir l'effet TRIP. A titre d'exemple, sur une nuance à 0,2% de carbone, 1,5% de manganèse et 1,5% de silicium, on obtient une teneur en austénite de 6% pour un maintien de la bande de 10 s à 470°C ou de 20s à 530°C. Dans la pratique, la durée de ce séjour peut se situer généralement entre 5 et 30 s.

30 Si on prend pour hypothèse que la bande coulée a une épaisseur initiale de 3 mm et une vitesse de 60 m/min à sa sortie des cylindres (ce qui est courant sur une installation de coulée entre cylindres), la vitesse de défilement de la bande laminée à chaud dans la zone de transformation bainitique varie selon le taux de laminage à chaud qui lui a été appliqué. Le tableau 2 montre des exemples de vitesses de défilement de la bande dans la
35 zone de transformation bainitique en fonction du taux de laminage à chaud, compte tenu des hypothèses précédentes.

Taux de laminage à chaud (%)	Vitesse de la bande (m/s)
25	1,3
40	1,7
60	2,5
70	3,3

Tableau 2 : vitesses de défilement de la bande dans la zone de transformation bainitique en fonction du taux de laminage à chaud (épaisseur coulée 3 mm, vitesse de coulée 60 m/min)

5

Dans ces conditions, si on décide d'imposer à la bande une température de fin de laminage de 900°C, une vitesse de refroidissement dans la première zone d'aspersion de 50°C/s, un séjour de 10 s à 500°C dans la zone de transformation bainitique et une vitesse de refroidissement dans la deuxième zone d'aspersion de 50°C/s pour porter la bande à moins de 250°C, la bande mettra 20 à 25 s pour parvenir de la cage de laminage jusqu'à la bobineuse. Si ces deux organes sont distants d'environ 40 m, ce qui est raisonnable sur une installation de coulée entre cylindres habituelle, la vitesse de défilement de la bande après son laminage doit donc être d'environ 2 m/s, ce qui est parfaitement compatible avec les conclusions que l'on tire du tableau 2. Technologiquement, la mise en pratique du procédé selon l'invention ne pose donc pas de problème majeur. Pour obtenir le résultat recherché, on peut agir aussi sur la longueur des zones de refroidissement et sur le débit du liquide de refroidissement dans chacune de ces zones. A cet effet, si les zones de refroidissement se composent d'une succession de rampes d'aspersion d'eau, on peut choisir d'utiliser un nombre variable de rampes pour régler avec souplesse les longueurs de ces zones.

20

On aura compris que l'étape essentielle du procédé selon l'invention est le séjour de la bande dans le domaine de transformation bainitique après son laminage à chaud, auquel le second refroidissement impose une brève durée, ainsi que la réalisation du bobinage de la bande dans une gamme de températures où la transformation bainitique a déjà eu lieu. Cela évite que le déroulement de la transformation bainitique ne soit affecté par le phénomène de remouillage, et fiabilise l'obtention d'une microstructure homogène au sein de la bande. Le fait de réaliser la bande par coulée entre cylindres (ou, de manière générale, par coulée directe de bandes minces de 1,5 à 10 mm et notamment de 1 à 5 mm d'épaisseur) et de la laminier à chaud en ligne est une condition quasiment indispensable à la viabilité économique de la réalisation de la transformation bainitique dans ces conditions. En effet, il serait envisageable de réaliser cette transformation bainitique par séjour à 550-400°C pendant une à quelques secondes d'une bande sortant d'un train à bandes classique. Toutefois, compte tenu des vitesses de défilement de la bande habituelles à la sortie d'un train à bandes qui sont nettement plus élevées que les vitesses de défilement en sortie d'un laminoir en ligne de coulée entre cylindres, cela nécessiterait une distance

25

30

démesurée (de l'ordre de 500 m) entre la sortie du train à bande et la bobineuse. Cela enlèverait tout intérêt économique à cette solution. De plus, en réalisant le laminage à chaud et la transformation bainitique en ligne avec la coulée, on n'a pas besoin d'un réchauffage intermédiaire, coûteux en énergie. Enfin, les transformations métallurgiques mises en jeu par le procédé selon l'invention, où la température de la bande ne fait que décroître entre sa coulée et son bobinage, ne sont pas susceptibles d'être gênées par des structures qui auraient été obtenues à la suite d'un premier refroidissement du produit jusqu'à la température ambiante et demeureraient au moins à l'état résiduel après le réchauffage précédant le laminage à chaud. Cela pourrait être le cas si la filière de fabrication entre la coulée du demi-produit initial et le bobinage de la bande définitive devait être discontinuée.

Après leur bobinage, les bandes obtenues par le procédé selon l'invention sont prêtes à être utilisées de la même manière que les bandes d'acier TRIP de même composition obtenues par la filière classique coulée continue de brames - laminage à chaud.

REVENDICATIONS

1) Procédé de fabrication de bandes minces en acier de type « TRIP », selon lequel :

5 - on coule directement à partir d'acier liquide une bande d'épaisseur comprise entre 1,5 et 10 mm préférentiellement 1 à 5 mm, ledit acier ayant la composition (en pourcentages pondéraux) C% compris entre 0,05 et 0,25, (Mn + Cu + Ni)% compris entre 0,5 et 3, (Si + Al)% compris entre 0,1 et 4, (P + Sn + As + Sb)% inférieur ou égal à 0,1, (Ti + Nb + V + Zr + terres rares)% inférieur à 0,3, Cr% inférieur à 1, Mo% inférieur à 1, V%
10 inférieur à 1, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

- on effectue un laminage à chaud en ligne de ladite bande à une température supérieure à la température A_r , dudit acier avec un taux de réduction compris entre 25 et 70%, en une ou plusieurs passes ;

15 - on effectue un premier refroidissement forcé de ladite bande à une vitesse comprise entre 5 et 100°C/s ;

- on laisse séjourner la bande à des températures comprises entre 550 et 400°C pendant le temps nécessaire pour que s'y produise une transformation bainitique avec une proportion d'austénite résiduelle supérieure à 5%, tout en évitant la formation de perlite, puis on interrompt cette transformation par un second refroidissement forcé de ladite bande
20 qui l'amène à une température inférieure à 400°C ;

- on effectue un bobinage de ladite bande à une température inférieure à 350°C.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la teneur en phosphore de l'acier est inférieure ou égale à 0,05%

25 3) Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le total des teneurs en chrome, molybdène et vanadium ne dépasse pas 0,3%.

4) Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le total des teneurs en chrome, molybdène et vanadium ne dépasse pas 0,05%.

5) Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la teneur en cuivre est comprise entre 0,5 et 2 %.

30 6) Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la vitesse du premier refroidissement est comprise entre 25 et 80°C/s.

7) Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'après le premier refroidissement on laisse séjourner la bande entre 530 et 470°C pendant le temps nécessaire pour que s'y produise une transformation bainitique avec une proportion
35 d'austénite résiduelle supérieure à 5%, tout en évitant la formation de perlite.

8) Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la durée du séjour de ladite bande dans le domaine où se produit la transformation bainitique est comprise entre 5 et 30 s.

9) Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ledit second refroidissement amène ladite bande à sa température de bobinage.

10) Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'entre sa coulée et son laminage à chaud, ladite bande traverse une zone où on maintient au
5 voisinage de sa surface une atmosphère non oxydante pour le métal.

11) Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'avant le laminage à chaud, on effectue une opération de décalaminage de la surface de ladite bande.

12) Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite bande est coulée entre deux cylindres rapprochés à axes horizontaux mis en rotation en
10 sens inverses et refroidis intérieurement.

13) Bande mince en acier de type « TRIP », susceptible d'être obtenue par un procédé selon l'une des revendications 1 à 12.