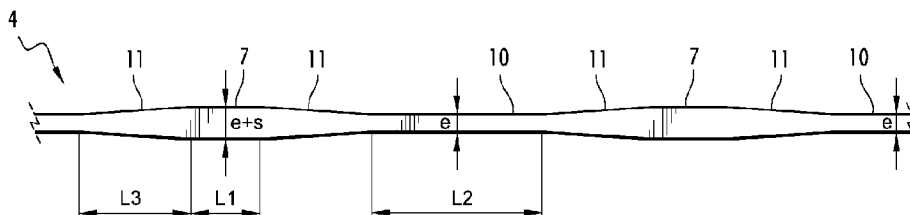




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2014/01/17
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2015/07/23
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2021/04/20
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2016/07/13
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: IB 2014/058350
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2015/107393

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C21D 8/02* (2006.01),
B21C 37/08 (2006.01), *C22C 1/10* (2006.01),
C22C 19/00 (2006.01), *C22C 19/03* (2006.01),
C22C 38/04 (2006.01), *C22C 38/08* (2006.01)
 (72) Inventeurs/Inventors:
 PANIER, ROLAND, FR;
 REYDET, PIERRE-LOUIS, FR;
 LAURAIN, NICOLAS, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
 APERAM, LU
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCÉDE DE FABRICATION D'UNE BANDE D'ÉPAISSEUR VARIABLE ET BANDE ASSOCIÉE
 (54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING A STRIP HAVING A VARIABLE THICKNESS AND ASSOCIATED STRIP



(57) **Abrégé/Abstract:**

Procédé de fabrication d'une bande d'épaisseur variable selon sa longueur comprenant les étapes de : - fourniture d'une bande initiale d'épaisseur constante; - laminage homogène à froid de la bande initiale selon sa longueur pour obtenir une bande intermédiaire d'épaisseur constante selon la direction de laminage; - laminage flexible à froid de la bande intermédiaire selon sa longueur pour obtenir une bande (4) d'épaisseur variable, ayant, selon sa longueur, des premières zones (7) de première épaisseur (e+s) et des deuxième zones (10) de deuxième épaisseur (e), inférieure à la première épaisseur (e+s), - recuit au défilé de la bande (4). Le taux de déformation plastique engendré, après un éventuel recuit intermédiaire, par les étapes de laminage homogène à froid et de laminage flexible à froid dans les premières zones (7) est supérieur ou égal à 30%.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/107393 A1

(43) Date de la publication internationale
23 juillet 2015 (23.07.2015)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
C21D 8/02 (2006.01) **C22C 38/08** (2006.01)
C22C 19/00 (2006.01) **C22C 1/10** (2006.01)
C22C 19/03 (2006.01) **B21C 37/08** (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/IB2014/058350
- (22) Date de dépôt international :
17 janvier 2014 (17.01.2014)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (71) Déposant : **APERAM** [LU/LU]; 12C, rue Guillaume Kroll, L-1882 Luxembourg (LU).
- (72) Inventeurs : **PANIER, Roland**; 77 Faubourg du grand Mouesse, F-58000 Nevers (FR). **REYDET, Pierre-Louis**; Le Champ Buisson, Rue du Champaul, F-58130 Urzy (FR). **LAURAIN, Nicolas**; 12 rue Saint Denis, F-91640 Briis-sous-Forges (FR).
- (74) Mandataires : **DOMENEGO, Bertrand** et al.; Cabinet Lavoix, 2, place d'Estienne d'Orves, F-75009 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : METHOD FOR MANUFACTURING A STRIP HAVING A VARIABLE THICKNESS AND ASSOCIATED STRIP

(54) Titre : PROCÉDE DE FABRICATION D'UNE BANDE D'ÉPAISSEUR VARIABLE ET BANDE ASSOCIÉE

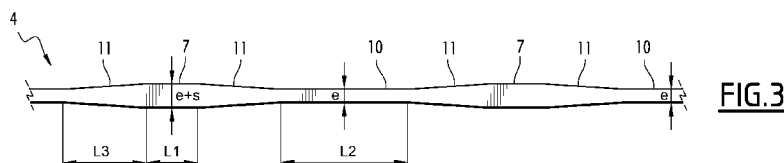


FIG. 3

(57) Abstract : The invention relates to a method for the manufacture of a strip having a variable thickness along the length thereof, wherein said method comprises the following steps: - uniform cold rolling of the initial strip along the length thereof to obtain an intermediate strip having a constant thickness in the direction of rolling; - flexible cold rolling of the intermediate strip along the length thereof to obtain a strip (4) having a variable thickness having, along the length thereof, first areas (7) having a first thickness (e+s) and second areas (10) having a second thickness (e), less than the first thickness (e+s), - process annealing of the strip (4). The plastic deformation rate, after optional process annealing, resulting from the steps of uniform cold rolling and flexible cold rolling in the first areas (7) is greater than or equal to 30%.

(57) Abrégé : Procédé de fabrication d'une bande d'épaisseur variable selon sa longueur comprenant les étapes de : - fourniture d'une bande initiale d'épaisseur constante; - laminage homogène à froid de la bande initiale selon sa longueur pour obtenir une bande intermédiaire d'épaisseur constante selon la direction de laminage; - laminage flexible à froid de la bande intermédiaire selon sa longueur pour obtenir une bande (4) d'épaisseur variable, ayant, selon sa longueur, des premières zones (7) de première épaisseur (e+s) et des deuxième zones (10) de deuxième épaisseur (e), inférieure à la première épaisseur (e+s), - recuit au défilé de la bande (4). Le taux de déformation plastique engendré, après un éventuel recuit intermédiaire, par les étapes de laminage homogène à froid et de laminage flexible à froid dans les premières zones (7) est supérieur ou égal à 30%.

Procédé de fabrication d'une bande d'épaisseur variable et bande associée

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une bande d'épaisseur variable selon sa longueur, en alliage à base de fer.

5 Les Invar® cryogéniques, notamment l'Invar® M93, sont des alliages qui présentent de faibles coefficients de dilatation thermique, ce qui les rend notamment attractifs pour transporter des fluides cryogéniques.

Dans de telles applications, des éléments en Invar® cryogénique de différentes épaisseurs peuvent être assemblés, par exemple par soudure.

10 Les assemblages ainsi obtenus ne donnent pas entière satisfaction. En effet, les soudures constituent des zones affaiblies des structures formées par les éléments assemblés. La présence de ces zones affaiblies peut résulter en une diminution de la tenue en fatigue.

Un but de l'invention est de résoudre ce problème en proposant un procédé de fabrication d'une bande principalement à base de fer et de nickel qui permette de réaliser des structures renforcées d'un point de vue mécanique.

15 A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une bande d'épaisseur variable selon sa longueur, ladite bande étant réalisée dans un alliage comprenant, en poids :

$$34,5\% \leq \text{Ni} \leq 53,5\%$$

$$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 1,5\%$$

$$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

20 $0 \leq \text{C} \leq 0,07\%$

optionnellement :

$$0 \leq \text{Co} \leq 20\%$$

$$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$$

25 $0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$

le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration,

le procédé comprenant successivement les étapes suivantes :

- fourniture d'une bande initiale d'épaisseur constante (E_0) obtenue par laminage à chaud ;

- laminage homogène à froid de la bande initiale selon sa longueur pour obtenir une bande intermédiaire d'épaisseur constante (E_c) selon la direction de laminage ;

30 - laminage flexible à froid de la bande intermédiaire selon sa longueur pour obtenir une bande d'épaisseur variable selon la direction de laminage, la bande d'épaisseur variable ayant, selon sa longueur, des premières zones ayant une première épaisseur ($e+s$) et des deuxièmes zones ayant une deuxième épaisseur (e), inférieure à la première épaisseur ($e+s$),

35 - recuit final de recristallisation au défilé de la bande d'épaisseur variable dans un four de recuit final,

1a

dans lequel le taux de déformation plastique engendré, après un éventuel recuit intermédiaire de recristallisation, par les étapes de laminage homogène à froid et de laminage flexible à froid dans les premières zones de la bande d'épaisseur variable est supérieur ou égal à 30% et

5 dans lequel la différence ($\Delta\tau$) entre le taux de déformation plastique (τ_2) engendré, après un éventuel recuit intermédiaire de recristallisation, par les étapes de laminage homogène à froid et de laminage flexible à froid dans les deuxièmes zones de la bande à épaisseur variable et le
10 taux de déformation plastique (τ_1) engendré, après un éventuel recuit intermédiaire de recristallisation, par les étapes de laminage homogène à froid et de laminage flexible à froid dans les premières zones de la bande à épaisseur variable est inférieure ou égale à 13% si l'épaisseur (E_0) de la bande initiale est strictement supérieure à 2 mm et inférieure ou égale à 10% si l'épaisseur (E_0) de la bande initiale est inférieure ou égale à 2 mm.

15 L'invention a également pour objet une bande d'épaisseur variable ayant, selon sa longueur, des premières zones ayant une première épaisseur ($e+s$) et des deuxièmes zones ayant une deuxième épaisseur (e) inférieure à la première épaisseur ($e+s$), la bande d'épaisseur variable étant réalisée dans un alliage comprenant en poids:

$$34,5\% \leq Ni \leq 53,5\%$$

$$0,15\% \leq Mn \leq 1,5\%$$

$$0 \leq Si \leq 0,35\%$$

20 $0 \leq C \leq 0,07\%$

optionnellement :

$$0 \leq Co \leq 20\%$$

$$0 \leq Ti \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 0,5\%$$

25 le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration,

les premières zones ayant une première taille moyenne de grains (G_{1ASTM}) et les deuxièmes zones ayant une deuxième taille moyenne de grain (G_{2ASTM}), la différence en valeur absolue entre la première taille de grains (G_{1ASTM}) et la deuxième taille de grains (G_{2ASTM}) étant inférieure ou égale à 0,5 indice selon la norme ASTM E112-10.

30 L'invention a ensuite pour objet un flan ayant, selon sa longueur, au moins une première zone renforcée ayant une première épaisseur ($e+s$) et au moins une deuxième zone ayant une deuxième épaisseur (e) inférieure à la première épaisseur ($e+s$), le flan étant réalisé dans un alliage comprenant en poids:

$$34,5\% \leq Ni \leq 53,5\%$$

1b

$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 1,5\%$

$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%$

$0 \leq \text{C} \leq 0,07\%$

optionnellement :

5 $0 \leq \text{Co} \leq 20\%$

$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$

$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$

le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration,

10 la première zone renforcée ayant une première taille moyenne de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la deuxième zone ayant une deuxième taille moyenne de grain ($G_{2\text{ASTM}}$), la différence en valeur absolue entre la première taille de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la deuxième taille de grains ($G_{2\text{ASTM}}$) étant inférieure ou égale à 0,5 indice selon la norme ASTM E112-10.

L'invention a également pour objet un tronçon de tube réalisé dans un alliage comprenant en poids :

15 $34,5\% \leq \text{Ni} \leq 53,5\%$

$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 1,5\%$

$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%$

$0 \leq \text{C} \leq 0,07\%$

optionnellement :

20 $0 \leq \text{Co} \leq 20\%$

$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$

$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$

le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration, et

25 lequel tronçon comprend une zone centrale cylindrique d'épaisseur (e) encadrée par des extrémités renforcées cylindriques formées d'une pièce avec la zone centrale, d'épaisseur supérieure à l'épaisseur (e) de la zone centrale, et dans lequel les extrémités renforcées ont une première taille moyenne de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la zone centrale a une deuxième taille moyenne de grain ($G_{2\text{ASTM}}$), la différence en valeur absolue entre la première taille de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la deuxième taille de grains ($G_{2\text{ASTM}}$) étant inférieure ou égale à 0,5 indice selon la norme ASTM E112-10. L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée
30 uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en section longitudinale d'une bande initiale ;

- la figure 2 est une vue schématique en section longitudinale d'une bande intermédiaire ;

- la figure 3 est une vue schématique en section longitudinale d'une bande d'épaisseur variable ;

- la figure 4 est une représentation schématique d'un flan obtenu par le procédé de fabrication selon l'invention ;

5 - la figure 5 est une représentation schématique en section longitudinale d'un premier assemblage d'un flan avec une deuxième pièce ;

- la figure 6 est une représentation schématique en section longitudinale de deux flancs assemblés bout à bout ; et

- la figure 7 est une représentation schématique en coupe d'un tube cryogénique.

10 Un exemple de procédé de fabrication d'une bande d'épaisseur variable selon sa longueur en alliage principalement à base de fer et de nickel conforme à l'invention va maintenant être décrit.

Dans une première étape de ce procédé, on fournit une bande initiale 1 obtenue par laminage à chaud.

15 La bande initiale 1 est une bande en alliage de type Invar cryogénique. Cet alliage comprend en poids :

$$34,5\% \leq \text{Ni} \leq 53,5\%$$

$$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 1,5\%$$

$$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%, \text{ de préférence } 0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

20 $0 \leq \text{C} \leq 0,07\%$

optionnellement :

$$0 \leq \text{Co} \leq 20\%$$

$$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$$

25 le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration.

Le silicium a notamment pour fonction de permettre la désoxydation et d'améliorer la résistance à la corrosion de l'alliage.

Un alliage de type Invar cryogénique est un alliage qui présente trois propriétés principales :

30 - Il est stable vis-à-vis de la transformation martensitique jusqu'au dessous de la température T_L de liquéfaction d'un fluide cryogénique. Ce fluide cryogénique est par exemple du butane, du propane, du méthane, de l'azote ou de l'oxygène liquide. Les teneurs en éléments gammagènes, nickel (Ni), manganèse (Mn) et carbone (C), de l'alliage sont ajustées de façon à ce que la température de début de la transformation

35 martensitique soit strictement inférieure à la température T_L de liquéfaction du fluide cryogénique.

3

- Il présente un faible coefficient moyen de dilatation thermique entre la température ambiante et la température T_L de liquéfaction du fluide cryogénique.

- Il ne présente pas de transition de résilience « ductile-fragile ».

L'alliage utilisé a de préférence :

5 - un coefficient moyen de dilatation thermique entre 20°C et 100°C inférieur ou égal à $10,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, en particulier inférieur ou égal à $2,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;

- un coefficient moyen de dilatation thermique entre -180°C et 0°C inférieur ou égal à $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, en particulier inférieur ou égal à $2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; et

10 - une résilience supérieure ou égale à 100 joule/cm², en particulier supérieure ou égale à 150 joule/cm², à une température supérieure ou égale à -196°C.

De préférence, l'alliage utilisé présente la composition suivante, en % en poids :

$34,5 \leq \text{Ni} \leq 42,5\%$

$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 0,5\%$

$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%$, de préférence $0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,35\%$

15 $0,010\% \leq \text{C} \leq 0,050\%$

optionnellement :

$0 \leq \text{Co} \leq 20\%$

$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$

$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$

20 le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration.

Dans ce cas, l'alliage utilisé a de préférence :

- un coefficient moyen de dilatation thermique entre 20°C et 100°C inférieur ou égal à $5,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;

25 - un coefficient moyen de dilatation thermique entre -180°C et 0°C inférieur ou égal à $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; et

- une résilience supérieure ou égale à 100 joule/cm², en particulier supérieure ou égale à 150 joule/cm², à une température supérieure ou égale à -196°C.

Encore plus particulièrement,

$35\% \leq \text{Ni} \leq 36,5\%$

30 $0,2\% \leq \text{Mn} \leq 0,4\%$

$0,02 \leq \text{C} \leq 0,04\%$

$0,15 \leq \text{Si} \leq 0,25\%$

optionnellement

$0 \leq \text{Co} \leq 20\%$

35 $0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$

$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$

4

le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration.

Dans ce cas, l'alliage présente de préférence :

- un coefficient moyen de dilatation thermique entre 20°C et 100°C inférieur ou égal à $1,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;

5 - un coefficient moyen de dilatation thermique entre -180°C et 0°C inférieur ou égal à $2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;

- une résilience supérieure ou égale à 200 joule/cm² à une température supérieure ou égale à -196°C.

10 Un tel alliage est un alliage de type Invar® cryogénique. Le nom commercial de cet alliage est Invar®-M93.

De manière classique, les alliages utilisés sont élaborés en four à arc électrique ou en four sous vide à induction.

15 Après des opérations d'affinage en poche permettant de régler les teneurs en éléments d'alliage résiduels, les alliages sont coulés en demi-produits, lesquels sont transformés à chaud, en particulier par laminage à chaud, afin d'obtenir des bandes.

Ces demi-produits sont par exemple des lingots. En variante, il s'agit de brames coulées en continu au moyen d'une installation de coulée continue de brames.

20 La bande ainsi obtenue est décapée et polie en procédé continu afin de limiter ses défauts : calamine, pénétration oxydée, paille et inhomogénéité en épaisseur dans le sens de la longueur et de la largeur de la bande.

Le polissage est notamment réalisé au moyen de meules ou de papiers abrasifs. Une fonction du polissage est d'éliminer les résidus du décapage.

A l'issue de cette étape de polissage, on obtient la bande initiale 1 fournie dans la première étape du procédé selon l'invention.

25 En option, avant l'étape de laminage homogène à froid, on effectue sur la bande un recuit d'homogénéisation de la microstructure. Ce recuit d'homogénéisation de la microstructure est notamment réalisé au défilé dans un four de traitement thermique, appelé four de recuit d'homogénéisation de la microstructure dans la suite de la description, avec un temps de séjour dans le four de recuit d'homogénéisation de la
30 microstructure compris entre 2 minutes et 25 minutes et une température de la bande lors du recuit d'homogénéisation de la microstructure comprise entre 850°C et 1200°C.

La bande initiale 1 a une épaisseur E_0 constante comprise entre 1,9 mm et 18 mm (voir figure 1).

35 On lamine ensuite la bande initiale 1 au cours d'une étape de laminage homogène à froid. Le laminage homogène est effectué suivant la longueur de la bande initiale 1.

Par laminage homogène, on entend un laminage transformant une bande d'épaisseur constante en une bande plus fine d'épaisseur également constante.

Plus particulièrement, l'étape de laminage homogène comprend une ou plusieurs passes assurées dans un laminoir où la bande passe dans une fente de laminage délimitée entre des rouleaux de travail. L'épaisseur de cette fente de laminage reste constante au cours de chaque passe de l'étape de laminage homogène.

Cette étape de laminage homogène aboutit à une bande intermédiaire 3 d'épaisseur E_c constante selon la direction de laminage, c'est-à-dire selon la longueur de la bande intermédiaire 3 (voir figure 2).

En option, l'étape de laminage homogène comprend au moins un recuit intermédiaire de recristallisation.

Lorsqu'il est présent, le recuit intermédiaire de recristallisation est effectué entre deux passes de laminage homogène successives. En variante ou en option, il est réalisé avant l'étape de laminage flexible à la fin de l'étape de laminage homogène, c'est-à-dire après toutes les passes de laminage réalisées pendant l'étape de laminage homogène.

Par exemple, le recuit intermédiaire de recristallisation est réalisé au défilé dans un four de recuit intermédiaire avec une température de la bande lors du recuit intermédiaire comprise entre 850°C et 1200°C et un temps de séjour dans le four de recuit intermédiaire compris entre 30 secondes et 5 minutes.

Le recuit intermédiaire de recristallisation, ou s'il en est effectué plusieurs, le dernier recuit intermédiaire de recristallisation de l'étape de laminage homogène, est effectué lorsque la bande présente une épaisseur E_i comprise entre l'épaisseur E_0 de la bande initiale 1 et l'épaisseur E_c de la bande intermédiaire 3.

Lorsque le recuit intermédiaire de recristallisation est réalisé à la fin de l'étape de laminage homogène, l'épaisseur E_i de la bande lors du recuit intermédiaire de recristallisation est égale à l'épaisseur E_c de la bande intermédiaire 3 au début de l'étape de laminage flexible.

Avantageusement, dans le mode de réalisation dans lequel au moins un recuit intermédiaire de recristallisation est réalisé, on effectue un seul recuit intermédiaire de recristallisation. En particulier, ce recuit intermédiaire de recristallisation unique est effectué entre deux passes de laminage homogène successives lorsque la bande présente une épaisseur E_i strictement supérieure à l'épaisseur E_c de la bande intermédiaire 3.

De manière préférée, l'étape de laminage homogène ne comprend pas de recuit intermédiaire.

6

La bande intermédiaire 3 d'épaisseur E_c obtenue à l'issue de l'étape de laminage homogène est ensuite soumise à une étape de laminage flexible à froid.

Le laminage flexible est réalisé selon une direction de laminage s'étendant suivant la longueur de la bande intermédiaire 3.

5 Le laminage flexible permet d'obtenir une bande d'épaisseur variable selon sa longueur.

Pour cela, on fait varier en continu l'épaisseur de la fente de laminage du laminoir utilisé. Cette variation est fonction de l'épaisseur souhaitée de la zone de la bande en cours de laminage de manière à obtenir une bande d'épaisseur variable selon sa
10 longueur.

Plus particulièrement, et comme illustré sur la figure 3, on obtient à l'issue de l'étape de laminage flexible une bande 4 d'épaisseur variable comprenant des premières zones 7 ayant une première épaisseur $e+s$ et des deuxièmes zones 10 ayant une deuxième épaisseur e , inférieure à la première épaisseur $e+s$. La première épaisseur $e+s$
15 et la deuxième épaisseur e correspondent chacune à une épaisseur de fente de laminage donnée.

Les premières zones 7 et les deuxièmes zones 10 ont chacune une épaisseur sensiblement constante, respectivement $e+s$ et e .

Elles sont reliées entre elles par des zones de liaison 11 d'épaisseur non
20 constante selon la longueur de la bande 4 d'épaisseur variable. L'épaisseur des zones de liaison 11 varie entre e et $e+s$. Selon un exemple, elle varie linéairement entre e et $e+s$.

L'étape de laminage homogène et l'étape de laminage flexible engendrent dans les premières zones 7, c'est-à-dire dans les zones les plus épaisses de la bande 4, un taux τ_1 de déformation plastique, après un éventuel recuit intermédiaire de
25 recristallisation, supérieur ou égal à 30%, plus particulièrement compris entre 30% et 98%, encore plus particulièrement compris entre 30% et 80%. Dans les plages précitées, le taux τ_1 de déformation plastique est avantageusement supérieur ou égal à 35%, plus particulièrement supérieur ou égal à 40%, et encore plus particulièrement supérieur ou égal à 50%.

30 Le taux τ_1 de déformation plastique engendré dans les premières zones 7 est défini comme suit :

- Si aucun recuit intermédiaire de recristallisation n'est effectué pendant l'étape de laminage homogène, le taux τ_1 de déformation plastique est le taux de réduction total engendré dans les premières zones 7 de la bande 4 par l'étape de laminage homogène et

7

l'étape de laminage flexible, c'est-à-dire résultant de la réduction d'épaisseur depuis l'épaisseur initiale E_0 jusqu'à l'épaisseur $e+s$.

Dans ce cas, le taux τ_1 de déformation plastique, en pourcentage, est donné par

la formule suivante : $\tau_1 = \frac{E_0 - (e + s)}{E_0} \times 100$ (1).

5 Ainsi, dans le cas où aucun recuit intermédiaire de recristallisation n'est effectué, le taux τ_1 de déformation plastique est égal au taux de réduction total engendré dans les premières zones 7 par l'étape de laminage homogène et l'étape de laminage flexible.

- Si au moins un recuit intermédiaire de recristallisation est effectué pendant l'étape de laminage homogène, le taux τ_1 de déformation plastique est le taux de
10 réduction engendré dans les premières zones 7 du fait de la réduction d'épaisseur de la bande de l'épaisseur E_i qu'elle présente lors du dernier recuit intermédiaire de recristallisation effectué pendant l'étape de laminage homogène jusqu'à l'épaisseur $e+s$.

Dans ce cas, le taux τ_1 de déformation plastique, en pourcentage, est donné par

la formule suivante : $\tau_1 = \frac{E_i - (e + s)}{E_i} \times 100$ (2).

15 Ainsi, dans le cas où un ou plusieurs recuits intermédiaires sont effectués pendant l'étape de laminage homogène, le taux τ_1 de déformation plastique est strictement inférieur au taux de réduction total engendré dans les premières zones 7 par l'étape de laminage homogène et l'étape de laminage flexible à froid.

Le taux τ_2 de déformation plastique, après un éventuel recuit intermédiaire de
20 recristallisation, engendré dans les deuxièmes zones 10, est strictement supérieur au taux τ_1 de déformation plastique dans les premières zones 7. Il est calculé de manière analogue, en remplaçant $e+s$ par e dans les formules (1) et (2) ci-dessus.

La différence $\Delta\tau$ de taux de déformation plastique entre les deuxièmes zones 10 et les premières zones 7 est donnée par la relation $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$.

25 Cette différence $\Delta\tau$ est avantageusement inférieure ou égale à 13% si l'épaisseur E_0 est strictement supérieure à 2 mm. Elle est avantageusement inférieure ou égale à 10% si l'épaisseur E_0 est inférieure ou égale à 2 mm.

Plus particulièrement, la différence $\Delta\tau$ est inférieure ou égale à 10% si E_0 est strictement supérieure à 2mm, et la différence $\Delta\tau$ est inférieure ou égale à 8% si E_0 est
30 inférieure ou égale à 2mm.

Avantageusement, l'épaisseur E_c de la bande intermédiaire 3 avant l'étape de laminage flexible est en particulier égale à l'épaisseur e des deuxièmes zones 10

8

multipliée par un coefficient de réduction k compris entre 1,05 et 1,5. Avantageusement, k est environ égal à 1,3.

Avantageusement, les épaisseurs $e+s$ et e des premières et deuxièmes zones 7, 10 respectent l'équation :

5
$$e + s = (n + 1).e$$

où n est un coefficient constant compris entre 0,05 et 0,5.

En d'autres termes, la première épaisseur $e+s$ est égale à la deuxième épaisseur e multipliée par un coefficient de multiplication compris entre 1,05 et 1,5.

10 Cette équation se réécrit de la manière suivante : $s = n.e$, c'est-à-dire que la surépaisseur s des premières zones 7 par rapport aux deuxièmes zones 10 est égale au coefficient n multiplié par l'épaisseur e des deuxièmes zones 10.

L'épaisseur e des deuxièmes zones 10 est comprise entre 0,05 mm et 10 mm, plus particulièrement entre 0,15 mm et 10 mm, encore plus particulièrement entre 0,25 mm et 8,5 mm. Lorsque l'on réalise des feuillards, l'épaisseur e est inférieure ou égale à 2 mm, avantageusement comprise entre 0,25 mm et 2 mm. Lorsque l'on réalise des tôles, l'épaisseur e est strictement supérieure à 2 mm, en particulier comprise entre 2,1 mm et 10mm, plus particulièrement comprise entre 2,1 mm et 8,5 mm.

On soumet ensuite la bande 4 d'épaisseur variable résultant de l'étape de laminage flexible à un recuit final de recristallisation.

20 Le recuit final de recristallisation est réalisé au défilé dans un four de recuit final. La température du four de recuit final est constante pendant le recuit final de recristallisation. La température de la bande 4 pendant le recuit final de recristallisation est comprise entre 850°C et 1200°C.

Le temps de séjour dans le four de recuit final est compris entre 20 secondes et 5 minutes, plus particulièrement entre 30 secondes et 3 minutes.

La vitesse de défilement de la bande 4 dans le four de recuit final est constante. Elle est par exemple comprise entre 2m/min et 20m/min pour un four de recuit final de longueur de chauffe égale à 10m.

Avantageusement, la température de la bande 4 pendant le recuit final est de 30 1025°C. Dans ce cas, le temps de séjour dans le four de recuit final est par exemple compris entre 30 secondes et 60 secondes pour une bande 4 d'épaisseur variable ayant des deuxièmes zones 10 d'épaisseur e inférieure ou égale à 2 mm. Le temps de séjour dans le four de recuit final est par exemple compris entre 3 minutes et 5 minutes pour une bande 4 d'épaisseur variable ayant des deuxièmes zones 10 d'épaisseur e strictement supérieure à 2 mm.

35

Le temps de séjour dans le four de recuit final, ainsi que la température de recuit final sont choisies de manière à obtenir après le recuit de recristallisation final une bande 4 ayant des propriétés mécaniques et des tailles de grains quasiment homogènes entre les premières zones 7 et les deuxièmes zones 10. La suite de la description précise le sens de « quasiment homogène ».

5

De préférence, le recuit final est réalisé sous atmosphère réductrice, c'est-à-dire par exemple sous hydrogène pur ou sous atmosphère H_2-N_2 . La température de givre est de préférence inférieure à $-40^\circ C$. Dans le cas d'une atmosphère H_2-N_2 , la teneur en N_2 peut être comprise entre 0% et 95%. L'atmosphère H_2-N_2 comprend par exemple

10

approximativement 70% de H_2 et 30% de N_2 .
Selon un mode de réalisation, la bande 4 d'épaisseur variable passe en continu du laminoir de laminage flexible au four de recuit final, c'est-à-dire sans bobinage intermédiaire de la bande d'épaisseur variable 4.

En variante, à l'issue de l'étape de laminage flexible, on bobine la bande d'épaisseur variable 4 pour la transporter jusqu'au four de recuit final, puis on la déroule et on la soumet au recuit final de recristallisation.

15

Selon cette variante, la bande 4 enroulée a par exemple une longueur comprise entre 100 m et 2500 m, notamment si l'épaisseur e des deuxièmes zones 10 de la bande 4 est approximativement de 0,7 mm.

20

On obtient, à l'issue du recuit final de recristallisation, une bande 4 d'épaisseur variable selon sa longueur ayant les caractéristiques suivantes.

Elle comprend des premières zones 7 d'épaisseur $e+s$ et des deuxièmes zones d'épaisseur e , éventuellement reliées entre elles par des zones de liaison 11 d'épaisseur variant entre e et $e+s$.

25

De préférence, la différence en valeur absolue entre la taille moyenne des grains des premières zones 7 et la taille moyenne des grains des deuxièmes zones 10 est inférieure ou égale à 0,5 indice selon la norme ASTM E112-10. La taille moyenne de grains en indice ASTM est déterminée en utilisant la méthode de comparaison à des images types décrite dans la norme ASTM E112-10. Conformément à cette méthode, pour déterminer la taille moyenne des grains d'un échantillon, on compare une image de la structure des grains sur écran obtenue au moyen d'un microscope optique à un grossissement donné de l'échantillon ayant subi une attaque colorante (« contrast etch » en anglais) avec des images types illustrant des grains maclés de différentes tailles ayant subi une attaque colorante (correspondant à la plaque III de la norme). L'indice de la taille moyenne des grains de l'échantillon est déterminé comme étant l'indice correspondant au

30
35

grossissement utilisé porté sur l'image type ressemblant le plus à l'image vue sur l'écran du microscope.

Si l'image vue sur l'écran du microscope est intermédiaire entre deux images types successives de tailles de grains, l'indice de la taille moyenne des grains de l'image vue au microscope est déterminé comme étant la moyenne arithmétique entre les indices correspondants au grossissement utilisés portés sur chacune des deux images types.

Plus particulièrement, l'indice $G1_{ASTM}$ de la taille moyenne des grains des premières zones 7 est au plus inférieur de 0,5 à l'indice $G2_{ASTM}$ de la taille moyenne des grains des deuxièmes zones 10.

La bande 4 d'épaisseur variable peut présenter des propriétés mécaniques quasiment homogènes.

En particulier :

- la différence en valeur absolue entre la limite d'élasticité à 0,2% des premières zones 7 notée $Rp1$ et la limite d'élasticité à 0,2% des deuxièmes zones 10 notée $Rp2$ est inférieure ou égale à 6MPa, et

- la différence en valeur absolue entre la charge à la rupture des premières zones 7 notée $Rm1$ et la charge à la rupture des deuxièmes zones 10 notée $Rm2$ est inférieure ou égale à 6MPa.

Par limite d'élasticité à 0,2% on entend, de manière classique, la valeur de la contrainte à 0,2% de déformation plastique.

De manière classique, la charge à la rupture correspond à la contrainte maximale avant striction de l'échantillon test.

Dans l'exemple illustré, la bande 4 d'épaisseur variable présente un motif répété périodiquement sur toute la longueur de la bande 4. Ce motif comprend successivement une moitié de première zone 7 de longueur $\frac{L_1}{2}$, une zone de liaison 11 de longueur L_3 , une deuxième zone 10 de longueur L_2 , une zone de liaison 11 de longueur L_3 et une moitié de première zone 7 de longueur $\frac{L_1}{2}$.

Avantageusement, la longueur L_2 de la deuxième zone 10 est très nettement supérieure à la longueur L_1 de la première zone 7. A titre d'exemple, la longueur L_2 est comprise entre 20 et 100 fois la longueur L_1 .

Chaque séquence formée d'une première zone 7 encadrée par deux zones de liaison 11 forme une zone de surépaisseur de la bande 4 d'épaisseur variable, c'est-à-dire une zone d'épaisseur supérieure à e . Ainsi, la bande 4 d'épaisseur variable comprend des

deuxièmes zones 10 de longueur L2 d'épaisseur e, séparées entre elles par des zones de surépaisseur.

Après le recuit final de recristallisation, on découpe la bande 4 d'épaisseur variable dans les zones de surépaisseur, de préférence au milieu des zones de surépaisseur.

5 On obtient ainsi des flans 12 illustrés sur la figure 4 comprenant une deuxième zone de longueur L2 encadrée à chacune de ses extrémités longitudinales par une zone de liaison 11 de longueur L3 et par une moitié de première zone 7 de longueur $\frac{L1}{2}$.

A l'issue de l'étape de découpe, les flans 12 sont planés selon un procédé de planage connu.

10 Les flans 12 sont ensuite enroulés en bobines à l'unité.

Selon une variante du procédé de fabrication décrit ci-dessus, on réalise le planage de la bande 4 d'épaisseur variable après le recuit final de recristallisation et avant la découpe des flans 12.

15 Selon cette variante, on découpe la bande 4 d'épaisseur variable planée dans les zones de surépaisseur pour former les flans 12. De préférence, on découpe la bande 4 au milieu des zones de surépaisseur.

La découpe est par exemple réalisée sur la planeuse utilisée pour le planage de la bande 4. En variante, la bande planée 4 est enroulée en bobine, puis découpée sur une machine différente de la planeuse.

20 Les flans 12 sont ensuite enroulés en bobines à l'unité.

On obtient au moyen du procédé de fabrication décrit ci-dessus des flans 12 formés d'une pièce comprenant une zone centrale 13 d'épaisseur e, encadrée par des extrémités 14 renforcées, i.e. d'épaisseur supérieure à l'épaisseur e de la zone centrale 13. Les extrémités 14 correspondent à des zones de surépaisseur de la bande 4 d'épaisseur variable et la zone centrale 13 correspond à une deuxième zone 10 de la bande 4 d'épaisseur variable à partir de laquelle le flan 12 a été découpé.

25 Ces flans 12, qui présentent une épaisseur variable selon leur longueur tout en étant formés d'une pièce, ne présentent pas les faiblesses des assemblages soudés de l'état de la technique. En outre, leurs extrémités renforcées 14 permettent de les assembler par soudage à d'autres pièces en minimisant les faiblesses mécaniques dues à cet assemblage par soudage.

30 Selon des variantes, les flans 12 peuvent par exemple être obtenus par découpe de la bande 4 à d'autres endroits que dans deux zones de surépaisseurs successives. Par exemple, ils peuvent être obtenus par découpe alternativement dans une zone de

12

surépaisseur et dans une deuxième zone 10. Dans ce cas, on obtient des flans 12 ayant une seule extrémité renforcée 14 d'épaisseur supérieure à e .

Ils peuvent également être obtenus par découpe dans deux deuxième zones 10 successives.

5 A titre d'exemple, et comme illustré sur la figure 5, on peut assembler un flan 12 selon l'invention avec une deuxième pièce 16 en soudant l'une des extrémités renforcées 14 du flan 12 à un bord de la deuxième pièce 16. L'épaisseur de la deuxième pièce 16 est de préférence supérieure à l'épaisseur de la zone centrale 13 du flan 12. La soudure réalisée est plus particulièrement une soudure à clin, encore appelée soudure à recouvrement.

La pièce 16 peut être un flan 12 tel que décrit ci-dessus.

Ainsi, sur la figure 6, on a illustré deux flans 12 assemblés bout à bout par soudage. Ces deux flans 12 sont soudés entre eux par leurs extrémités renforcées 14.

Dans les exemples illustrés sur les figures 5 et 6 :

15 - la longueur de la zone centrale 13 est par exemple comprise entre 40 m et 60 m ;
et

- la longueur de chaque extrémité renforcée 14 est par exemple comprise entre 0,5 m et 2 m.

La deuxième épaisseur e est notamment environ égale à 0,7 mm.

20 La première épaisseur $e+s$ est environ égale à 0,9 mm.

En variante, on forme une pièce non plane à partir du flan 12.

Ainsi, dans l'exemple représenté sur la figure 7, on a formé à partir du flan 12 un tronçon de tube 18.

25 On appelle bords longitudinaux les bords du flan 12 s'étendant selon la longueur du flan 12.

Pour fabriquer le tronçon de tube 18, on enroule le flan 12 selon sa largeur, c'est-à-dire autour d'un axe longitudinal L de manière à former un flan 12 enroulé. On soude ensuite entre eux les bords longitudinaux du flan 12 enroulé de manière à former le tronçon de tube 18. Ce tronçon de tube 18 présente une zone centrale 20 cylindrique d'épaisseur e et des extrémités renforcées 22 cylindriques d'épaisseur supérieure à l'épaisseur e , et en particulier égale à $e+s$.

30 On réalise ensuite un tube 24 en soudant au moins deux tronçons de tube 18 entre eux par leurs extrémités renforcées 22. La soudure est une soudure orbitale, en particulier une soudure de type bout à bout.

35 L'épaisseur $e+s$ des extrémités renforcées 22 est définie en fonction des efforts de traction que doit subir le tube 24 pendant son montage et durant son utilisation.

Un tel tube 24 constitue par exemple un tube cryogénique adapté pour le transport de gaz naturel liquéfié et destiné à former par exemple le tube principal revêtu d'un matériau le protégeant contre la corrosion d'une conduite sous-marine cryogénique de transport de gaz naturel liquéfié ou le tube intérieur d'une telle conduite.

5 Dans ce cas, on a par exemple :

- l'épaisseur e environ égale à 8,2 mm ;
- l'épaisseur $e+s$ environ égale à 9,43 mm.

La longueur L_2 de la zone centrale 20 d'un tronçon de tube 18 est environ égale à 8m.

10 Le procédé de fabrication selon l'invention est particulièrement avantageux. En effet, il permet d'obtenir une bande en alliage principalement à base de fer et de nickel ayant la composition chimique définie ci-dessus ayant des zones d'épaisseurs différentes mais des propriétés mécaniques quasi-homogènes. Ces propriétés sont obtenues grâce à l'utilisation d'un taux de déformation plastique après un éventuel recuit intermédiaire de
15 recristallisation engendré par les étapes de laminage homogène et de laminage flexible dans les zones les plus épaisses supérieur ou égal à 30%.

Les exemples expérimentaux suivants illustrent l'importance de la plage de taux de déformation plastique revendiquée pour ce type d'alliage.

20 Dans une première série d'expériences, on a fabriqué des feuillards d'épaisseur variable, c'est-à-dire des bandes 4 d'épaisseur variable dont l'épaisseur e des deuxièmes zones 10 est inférieure ou égale à 2 mm.

Le tableau 1 ci-après illustre des essais de fabrication de feuillards d'épaisseur variable sans recuit de recristallisation intermédiaire.

25 Le tableau 2 ci-après contient des caractéristiques des feuillards obtenus par les essais du tableau 1.

Le tableau 3 ci-après illustre des essais de fabrication de feuillards d'épaisseur variable avec un recuit intermédiaire de recristallisation à l'épaisseur E_i .

Le tableau 4 ci-après contient des caractéristiques des feuillards obtenus par les essais du tableau 3.

30 Dans une deuxième série d'expériences, on a fabriqué des tôles d'épaisseur variable, c'est-à-dire des bandes 4 d'épaisseur variable dont l'épaisseur e des deuxièmes zones 10 est strictement supérieure à 2 mm.

Le tableau 5 illustre des essais de fabrication de tôles d'épaisseur variable avec ou sans recuit intermédiaire.

35 Le tableau 6 ci-après contient des caractéristiques des tôles obtenues par les essais du tableau 5.

14

Dans tous les tableaux, on a souligné les essais conformes à l'invention.

On constate que lorsque le taux de déformation plastique τ_1 après un éventuel recuit intermédiaire de recristallisation est supérieur ou égal à 30% (essais 1 à 7 du tableau 1, 1 à 3 du tableau 3 et 1 à 9 du tableau 5), la bande 4 d'épaisseur variable obtenue présente une différence de taille moyenne de grains entre la taille moyenne des grains des premières zones 7 (épaisseur e+s) et la taille des grains des deuxièmes zones 10 (épaisseur e) inférieure ou égale à 0,5 indice ASTM en valeur absolue. Cette faible différence de taille moyenne de grains entre les premières zones 7 et les deuxièmes zones 10 résulte en des propriétés mécaniques quasi-homogènes, à savoir une différence de limite d'élasticité à 0,2% DeltaRp entre les premières zones 7 et les deuxièmes zones 10 inférieure ou égale à 6 MPa en valeur absolue, et une différence entre la charge à la rupture DeltaRm des premières zones 7 et des deuxièmes zones 10 inférieure ou égale à 6 MPa en valeur absolue.

Il est ainsi possible d'obtenir une bande 4 d'épaisseur variable ayant des propriétés mécaniques et des tailles de grains quasiment homogènes à l'issue d'un recuit de recristallisation très simple, puisque réalisé à température et vitesse de défilement constants.

Essai	Longueur d'onde (m)	E_0 (mm)	k	E_c (mm)	e (mm)	n=s/e	e+s (mm)	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	τ_1 (%)	τ_2 (%)	$\tau_2-\tau_1$ (%)	Recuit final T°C ; durée
1	50	4,2	1,3	2,0	1,5	0,25	1,88	1,50	1,90	44,7	55	64	9	1025°C ; 60s
2	50	4,2	1,15	1,7	1,5	0,15	1,73	1,50	1,90	44,7	59	64	5	1025°C ; 60s
3	50	3,2	1,15	1,2	1,0	0,15	1,15	1,00	1,50	46,0	64	69	5	1025°C ; 60s
4	50	2,6	1,3	0,9	0,7	0,25	0,88	1,00	1,50	46,0	66	73	7	1025°C ; 40s
5	50	2,6	1,15	0,8	0,7	0,15	0,81	1,00	1,50	46,0	69	73	4	1025°C ; 40s
6	60	2,6	1,3	0,9	0,7	0,15	0,81	1,00	1,50	56,0	69	73	4	1025°C ; 40s
7	50	2,1	1,3	0,7	0,5	0,15	0,58	1,20	1,50	45,8	73	76	4	1025°C ; 30s
8	50	2,3	1,3	2,3	1,8	0,25	2,25	1,20	1,50	45,8	2	22	20	1025°C ; 60s
9	50	2,1	1,3	2,3	1,8	0,15	2,07	1,20	1,50	45,8	1	14	13	1025°C ; 60s
10	60	2,1	1,3	2,3	1,8	0,15	2,07	1,20	1,50	55,8	1	14	13	1025°C ; 60s

Tableau 1

Essai	Propriétés à l'épaisseur e+s			Propriétés à l'épaisseur e			Delta Rp (MPa)	Delta Rm (MPa)	Delta G _{ASTM}
	G ₁ ^{ASTM}	Rp (MPa)	Rm (MPa)	G ₂ ^{ASTM}	Rp (MPa)	Rm (MPa)			
1	8	288	487	8,5	292	491	-4	-4	0,5
2	8,5	293	492	9	296	495	-3	-3	0,5
3	8,5	293	492	9	295	495	-2	-3	0,5
4	8,5	293	490	9	296	496	-3	-6	0,5
5	9	297	496	9	296	496	1	0	0
6	9	297	495	9	296	496	1	-1	0
7	9,5	300	501	9,5	300	501	0	0	0
8	7,5	284	482	8,5	292	490	-8	-8	1
9	7,5	286	481	8,5	293	491	-7	-10	1
10	7,5	285	483	9	296	496	-11	-13	1,5

Tableau 2

17

Essai	Longueur d'onde (m)	E ₀ (mm)	k	E _i (mm)	Recuit à E _i T°C ; durée	E _c (mm)	e (mm)	n=s/e	e+s (mm)	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	ε ₁ (%)	ε ₂ (%)	ε ₂ -ε ₁ (%)	Recuit final T°C ; durée
1	50	2,6	1,3	1,5	1025°C ; 50s	0,8	0,6	0,25	0,75	1,20	1,50	45,8	50	60	10	1025°C ; 40s
2	50	2,6	1,3	1,5	1025°C ; 50s	0,8	0,6	0,15	0,69	1,20	1,50	45,8	54	60	6	1025°C ; 40s
3	60	2,6	1,3	1,5	1025°C ; 50s	0,7	0,5	0,15	0,58	1,20	1,50	55,8	62	67	5	1025°C ; 30s
4	50	4,2	1,30	2,00	1025°C ; 80s	1,95	1,5	0,25	1,88	1,50	1,90	44,7	6	25	19	1025°C ; 60s
5	50	4,2	1,15	2,00	1025°C ; 80s	1,73	1,5	0,15	1,73	1,50	1,90	44,7	14	25	11	1025°C ; 60s
6	50	3,2	1,30	1,30	1025°C ; 50s	1,30	1,0	0,25	1,25	1,50	1,90	44,7	4	23	19	1025°C ; 60s
7	50	3,2	1,15	1,50	1025°C ; 60s	1,15	1,0	0,15	1,15	1,00	1,50	46,0	23	33	10	1025°C ; 60s
8	50	2,6	1,30	0,90	1000°C ; 40s	0,91	0,7	0,25	0,88	1,00	1,50	46,0	3	22	19	1025°C ; 40s
9	60	2,6	1,15	1,00	1000°C ; 40s	0,81	0,7	0,15	0,81	1,00	1,50	56,0	20	30	11	1025°C ; 40s

Tableau 3

Essai	Propriétés à l'épaisseur e+s			Propriétés à l'épaisseur e			Delta Rp (MPa)	Delta Rm (MPa)	Delta G _{ASTM}
	G1 _{ASTM}	Rp (MPa)	Rm (MPa)	G2 _{ASTM}	Rp (MPa)	Rm (MPa)			
1	8,5	292	491	8,5	293	491	-1	0	0
2	8,5	293	492	8,5	291	492	2	0	0
3	8,5	293	490	9	296	496	-3	-6	0,5
4	7	281	478	8	290	487	-9	-9	1
5	7	281	477	8	288	487	-7	-10	1
6	6,5	277	473	8	288	487	-11	-14	1,5
7	7	282	477	8	289	487	-7	-10	1
8	6,5	277	474	7,5	285	482	-8	-8	1
9	7	282	479	8	289	487	-7	-8	1

Tableau 4

18

Essai	Longueur d'onde (m)	E ₀ (mm)	k	E _i (mm)	Recuit à E _i T°C ; durée	E _c (mm)	e (mm)	n=s/e	e+s (mm)	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	ε ₁ (%)	ε ₂ (%)	ε ₂ -ε ₁ (%)	Recuit final T°C ; durée
1	12	16	1.30		Néant	10.7	8.2	0.25	10.25	1.00	1.50	8.0	36	49	13	1025°C : 5min
2	6	16	1.15		Néant	9.4	8.2	0.15	9.43	0.50	0.75	4.0	41	49	8	1025°C : 5min
3	12	8.2	1.30		Néant	5.5	4.2	0.25	5.25	0.50	0.75	10.0	36	49	13	1025°C : 3min
4	12	8.2	1.15		Néant	4.8	4.2	0.15	4.83	1.50	2.25	6.0	41	49	8	1025°C : 3min
5	6	8.2	1.30		Néant	4.2	3.2	0.25	4.00	0.80	1.20	2.8	51	61	10	1025°C : 3min
6	9	8.2	1.15		Néant	3.7	3.2	0.15	3.68	1.00	1.50	5.0	55	61	6	1025°C : 3min
7	12	16	1.30	8.2	1050°C : 5 min	4.2	3.2	0.25	4.00	1.00	1.50	8.0	51	61	10	1025°C : 3min
8	12	16	1.15	8.2	1050°C : 5 min	4.8	4.2	0.15	4.83	0.50	0.75	10.0	41	49	8	1025°C : 3min
9	6	16	1.15	8.2	1050°C : 5 min	3.7	3.2	0.15	3.68	0.50	0.75	4.0	55	61	6	1025°C : 3min

Tableau 5

Essai	Propriétés à l'épaisseur e+s			Propriétés à l'épaisseur e			Delta Rp (MPa)	Delta Rm (MPa)	Delta G _{ASTM}
	G1 _{ASTM}	Rp (MPa)	Rm (MPa)	G2 _{ASTM}	Rp (MPa)	Rm (MPa)			
1	7	280	479	7.5	285	483	-5	-4	0.5
2	7	281	477	7.5	285	483	-4	-6	0.5
3	7.5	285	482	8	288	487	-3	-5	0.5
4	8	288	487	8	288	487	0	0	0
5	8.5	293	492	8.5	292	492	1	0	0
6	8.5	292	491	9	297	496	-5	-5	0.5
7	8.5	291	490	8.5	293	490	-2	0	0
8	8	289	487	8.5	292	491	-3	-4	0.5
9	8.5	292	491	8.5	292	490	0	1	0

Tableau 6

REVENDICATIONS

1.- Procédé de fabrication d'une bande d'épaisseur variable selon sa longueur, ladite bande étant réalisée dans un alliage comprenant, en poids :

$$34,5\% \leq \text{Ni} \leq 53,5\%$$

$$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 1,5\%$$

$$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

$$0 \leq \text{C} \leq 0,07\%$$

optionnellement :

$$0 \leq \text{Co} \leq 20\%$$

$$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$$

le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration,

le procédé comprenant successivement les étapes suivantes :

- fourniture d'une bande initiale d'épaisseur constante (E_0) obtenue par laminage à chaud ;
- laminage homogène à froid de la bande initiale selon sa longueur pour obtenir une bande intermédiaire d'épaisseur constante (E_c) selon la direction de laminage ;

- laminage flexible à froid de la bande intermédiaire selon sa longueur pour obtenir une bande d'épaisseur variable selon la direction de laminage, la bande d'épaisseur variable ayant, selon sa longueur, des premières zones ayant une première épaisseur ($e+s$) et des deuxièmes zones ayant une deuxième épaisseur (e), inférieure à la première épaisseur ($e+s$),

- recuit final de recristallisation au défilé de la bande d'épaisseur variable dans un four de recuit final,

dans lequel le taux de déformation plastique engendré, après un éventuel recuit intermédiaire de recristallisation, par les étapes de laminage homogène à froid et de laminage flexible à froid dans les premières zones de la bande d'épaisseur variable est supérieur ou égal à 30% et

dans lequel la différence ($\Delta\tau$) entre le taux de déformation plastique (τ_2) engendré, après un éventuel recuit intermédiaire de recristallisation, par les étapes de laminage homogène à froid et de laminage flexible à froid dans les deuxièmes zones de la bande à épaisseur variable et le taux de déformation plastique (τ_1) engendré, après un éventuel recuit intermédiaire de recristallisation, par les étapes de laminage homogène à froid et de laminage flexible à froid dans les premières zones de la bande à épaisseur variable est inférieure ou égale à 13% si l'épaisseur

(E_0) de la bande initiale est strictement supérieure à 2 mm et inférieure ou égale à 10% si l'épaisseur (E_0) de la bande initiale est inférieure ou égale à 2 mm.

2.- Procédé de fabrication selon la revendication 1, dans lequel le recuit final de recristallisation est réalisé à une température de recuit final comprise entre 850°C et 1200°C et un temps de séjour dans le four de recuit final compris entre 20 secondes et 5 minutes.

3.- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel l'étape de laminage homogène comprend au moins un recuit intermédiaire de recristallisation réalisé entre deux passes de laminage homogène successives et/ou à la fin du laminage homogène avant le laminage flexible à froid de la bande intermédiaire.

4.- Procédé de fabrication selon la revendication 3, dans lequel le recuit intermédiaire de recristallisation est réalisé au défilé dans un four de recuit intermédiaire avec une température de la bande lors du recuit intermédiaire comprise entre 850°C et 1200°C et un temps de séjour dans le four de recuit intermédiaire compris entre 30 secondes et 5 minutes.

5.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'épaisseur (E_0) de la bande intermédiaire est égale à la deuxième épaisseur (e) multipliée par un coefficient de réduction compris entre 1,05 et 1,5.

6.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la première épaisseur ($e+s$) est égale à la deuxième épaisseur (e) multipliée par un coefficient de multiplication compris entre 1,05 et 1,5.

7.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel avant l'étape de laminage homogène à froid, on soumet la bande initiale à un recuit d'homogénéisation de la microstructure dans un four de recuit d'homogénéisation de la microstructure avec un temps de séjour dans le four de recuit d'homogénéisation de la microstructure compris entre 2 minutes et 25 minutes et une température du four de recuit d'homogénéisation de la microstructure comprise entre 850°C et 1200°C.

8.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la bande initiale est obtenue à partir d'un demi-produit constitué d'un alliage élaboré au four à arc électrique ou en four sous vide à induction.

9.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel l'épaisseur (E_0) de la bande initiale est comprise entre 1,9 mm et 18 mm.

10.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, lequel comprend, après l'étape de recuit final de recristallisation, une étape de planage de la bande d'épaisseur variable.

11.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel la teneur en nickel de l'alliage est de 34,5% à 42,5%, la teneur en manganèse est de 0,15% à 0,5% et la teneur en carbone est de 0,010% à 0,050%.

12. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel la teneur en silicium de l'alliage est comprise entre 0.1 et 0.35% en poids.

13. Procédé de fabrication selon la revendication 2, dans lequel le temps de séjour dans le four de recuit final est compris entre 30 secondes et 3 minutes.

14. Procédé de fabrication selon la revendication 7, dans lequel le recuit d'homogénéisation de la microstructure est réalisé au défilé.

15. Procédé de fabrication selon la revendication 8, dans lequel le demi-produit est une brame ou un lingot.

16.- Procédé de fabrication d'au moins un flan, comprenant :

- la mise en œuvre du procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 15 de manière à obtenir une bande d'épaisseur variable selon sa longueur; et

- la découpe de la bande d'épaisseur variable de manière à obtenir plusieurs flans.

17.- Procédé selon la revendication 16, dans lequel la découpe de la bande d'épaisseurs variables est réalisée dans les premières zones, chaque flan étant formé par une partie de la bande d'épaisseur variable localisée entre deux premières zones successives.

18. Procédé de fabrication d'un tronçon de tube cryogénique, comprenant :

- la fabrication d'au moins un flan par mise en œuvre du procédé de fabrication selon la revendication 17, le flan comprenant des bords longitudinaux s'étendant selon la longueur du flan; puis

- l'enroulement du flan selon sa largeur ; et

- le soudage entre eux des bords longitudinaux du flan enroulé pour former un tronçon de tube.

19.- Bande d'épaisseur variable ayant, selon sa longueur, des premières zones ayant une première épaisseur (e+s) et des deuxièmes zones ayant une deuxième épaisseur (e) inférieure à la première épaisseur (e+s), la bande d'épaisseur variable étant réalisée dans un alliage comprenant en poids:

$$34,5\% \leq \text{Ni} \leq 53,5\%$$

$$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 1,5\%$$

$$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

$$0 \leq \text{C} \leq 0,07\%$$

optionnellement :

$$0 \leq \text{Co} \leq 20\%$$

$$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$$

le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration,

les premières zones ayant une première taille moyenne de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et les deuxièmes zones ayant une deuxième taille moyenne de grain ($G_{2\text{ASTM}}$), la différence en valeur absolue entre la première taille de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la deuxième taille de grains ($G_{2\text{ASTM}}$) étant inférieure ou égale à 0,5 indice selon la norme ASTM E112-10.

20. Bande selon la revendication 19, dans laquelle la teneur en silicium de l'alliage est de 0.1 et 0.35% en poids.

21.- Bande selon l'une des revendications 19 et 20, la teneur en nickel de l'alliage est de 34,5% à 42,5%, la teneur en manganèse est de 0,15% à 0,5% et la teneur en carbone est de 0,010% à 0,050%.

22.- Flan ayant, selon sa longueur, au moins une première zone renforcée ayant une première épaisseur (e+s) et au moins une deuxième zone ayant une deuxième épaisseur (e) inférieure à la première épaisseur (e+s), le flan étant réalisé dans un alliage comprenant en poids:

$$34,5\% \leq \text{Ni} \leq 53,5\%$$

$$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 1,5\%$$

$$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

$$0 \leq \text{C} \leq 0,07\%$$

optionnellement :

$$0 \leq \text{Co} \leq 20\%$$

$$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$$

le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration,

la première zone renforcée ayant une première taille moyenne de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la deuxième zone ayant une deuxième taille moyenne de grain ($G_{2\text{ASTM}}$), la différence en valeur absolue entre la première taille de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la deuxième taille de grains ($G_{2\text{ASTM}}$) étant inférieure ou égale à 0,5 indice selon la norme ASTM E112-10.

23.- Flan selon la revendication 22, dans lequel la teneur en silicium de l'alliage est de 0.1 à 0.35% en poids.

24.- Flan selon l'une des revendications 22 et 23, la teneur en nickel de l'alliage est de 34,5% à 42,5%, la teneur en manganèse est de 0,15% à 0,5% et la teneur en carbone est de 0,010% à 0,050%.

25.- Tronçon de tube réalisé dans un alliage comprenant en poids :

$$34,5\% \leq \text{Ni} \leq 53,5\%$$

$$0,15\% \leq \text{Mn} \leq 1,5\%$$

$$0 \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

$$0 \leq \text{C} \leq 0,07\%$$

optionnellement :

$$0 \leq \text{Co} \leq 20\%$$

$$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$$

le reste étant du fer et des impuretés résultant nécessairement de l'élaboration, et

lequel tronçon comprend une zone centrale cylindrique d'épaisseur (e) encadrée par des extrémités renforcées cylindriques formées d'une pièce avec la zone centrale, d'épaisseur supérieure à l'épaisseur (e) de la zone centrale, et dans lequel les extrémités renforcées ont une première taille moyenne de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la zone centrale a une deuxième taille moyenne de grain ($G_{2\text{ASTM}}$), la différence en valeur absolue entre la première taille de grains ($G_{1\text{ASTM}}$) et la deuxième taille de grains ($G_{2\text{ASTM}}$) étant inférieure ou égale à 0,5 indice selon la norme ASTM E112-10.

26. Tronçon de tube selon la revendication 25, dans lequel la teneur en silicium de l'alliage est de 0.1 à 0.35% en poids.

27.- Tronçon de tube selon la revendication 26, dans lequel la teneur en nickel de l'alliage est de 34,5% à 42,5%, la teneur en manganèse est de 0,15% à 0,5% et la teneur en carbone est de 0,010% à 0,050%.

28.- Ensemble comprenant au moins un flan selon l'une quelconque des revendications 22 à 24 et une pièce soudée au flan.

29.- Ensemble selon la revendication 28, dans lequel la pièce est soudée à la première zone renforcée du flan.

30.- Ensemble selon la revendication 29, dans lequel la pièce est un flan selon l'une quelconque des revendications 22 à 24.

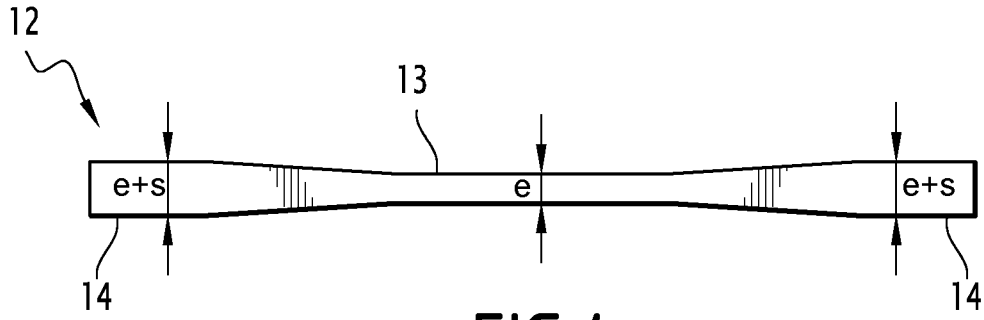


FIG. 4

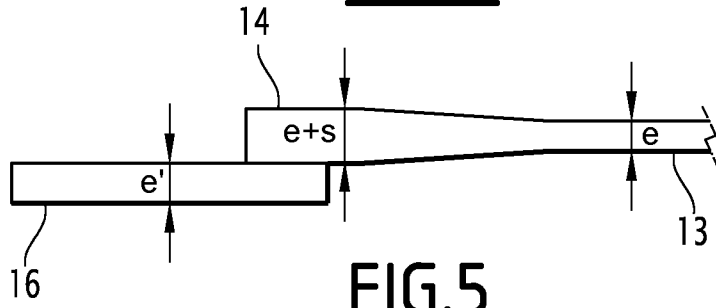


FIG. 5

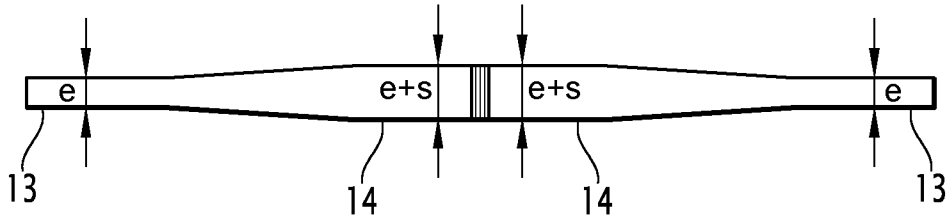


FIG. 6

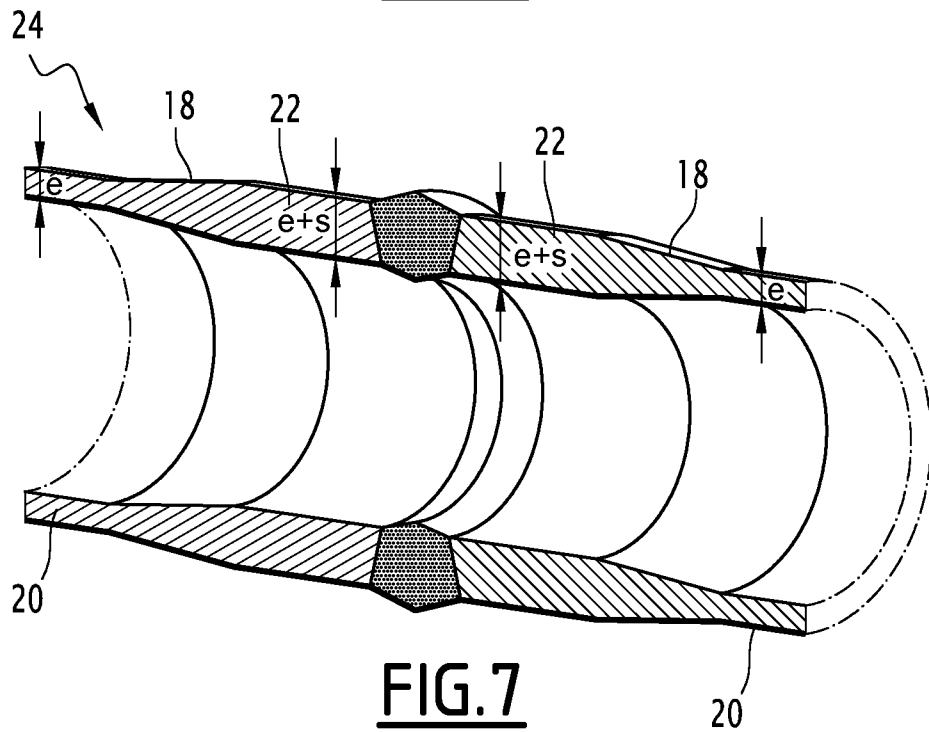


FIG. 7

