

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

②① Numéro de dépôt: 89100781.7

⑤¹ Int. Cl.⁴: **C21D 9/573** , **C21D 9/64**

②② Date de dépôt: 18.01.89

③ Priorité: 25.01.88 FR 8800904

④⁴³ Date de publication de la demande:
02.08.89 Bulletin 89/31

⑧4 Etats contractants désignés:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

71 Demandeur: **COMPAGNIE GENERALE DES
ETABLISSEMENTS MICHELIN - MICHELIN &
CIE**
4, rue du Terrail
F-63000 Clermont-Ferrand (FR)

(72) Inventeur: Reiniche, André
205, avenue de la Libération
F-63000 Clermont-Ferrand(FR)
Inventeur: Sauvage, Philippe
22, Chemin des Gannes
F-63119 Chateaugay(FR)

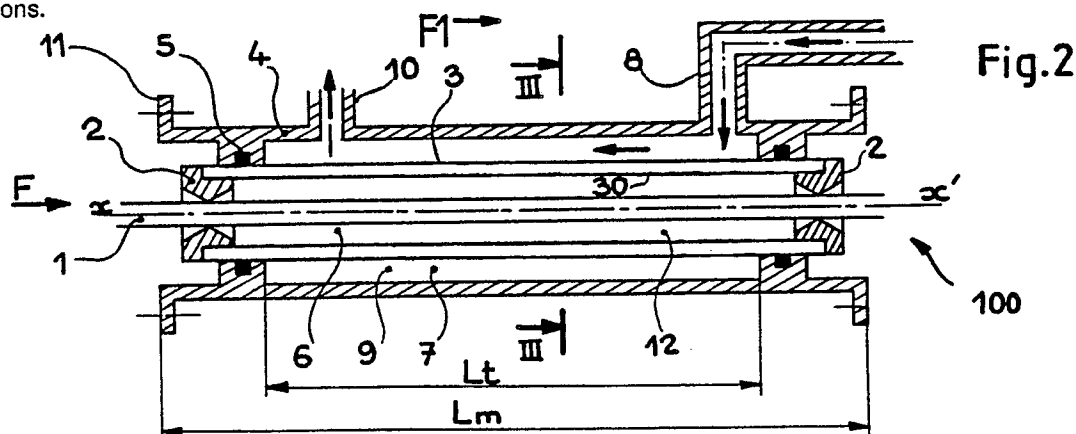
74 Mandataire: Doussaint, Jean-Marie et al
MICHELIN & CIE Service K. Brevets
F-63040 Clermont-Ferrand Cedex (FR)

54 Procédés et dispositifs permettant de traiter thermiquement des fils d'acier au carbone de façon à obtenir une structure perlitique fine.

(57) Procédé pour traiter thermiquement au moins un fil (1) d'acier au carbone de façon à obtenir une structure perlitique fine, le fil (1), préalablement à ce traitement, ayant été maintenu à une température supérieure à la température de transformation AC3. On refroidit le fil (1) et on effectue ensuite le traitement de perlitisa-tion, ce traitement de refroidissement et de perlitisa-tion étant effectué en faisant passer le fil (1) dans au moins un tube (3) contenant un gaz (12) pratiquement dépourvu de ventilation forcée, le tube (3) étant entouré par un fluide caloporteur (9).

Dispositif (100) permettant la mise en oeuvre de ce procédé.

Procédés et installations complets de traitement thermiques de fils (1) d'acier au carbone utilisant ce procédé ou ce dispositif. Fils (1) d'acier obtenus selon ces procédés et/ou avec ces dispositifs et ces installations.



PROCEDES ET DISPOSITIFS PERMETTANT DE TRAITER THERMIQUEMENT DES FILS D'ACIER AU CARBONE DE FACON A OBTENIR UNE STRUCTURE PERLITIQUE FINE.

L'invention concerne les procédés et les dispositifs permettant de traiter thermiquement des fils d'acier au carbone de façon à obtenir une structure perlitique fine. Ces fils sont utilisés notamment pour renforcer des articles en caoutchoucs et/ou en matières plastiques, par exemple des enveloppes de pneumatiques.

Ces traitements thermiques ont pour but d'une part d'augmenter l'aptitude au tréfilage des fils et d'autre part d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques et leur endurance.

Les traitements connus de ce type comportent deux phases :

- une première phase qui consiste à chauffer le fil et à le maintenir à une température supérieure à la température de transformation AC3 de façon à obtenir une austénite homogène ;
- une deuxième phase qui consiste à refroidir le fil pour obtenir une structure perlitique fine.

Un des procédés les plus utilisés est un traitement thermique dit "de patentage" qui consiste en une austénitisation du fil à une température de 900 à 1000 °C suivie d'une immersion dans un bain de plomb ou de sels fondus maintenus à une température de 450 à 600 °C.

Les bons résultats obtenus, particulièrement dans le cas du traitement thermique au plomb, sont généralement attribués au fait que les coefficients de convection très élevés qui sont réalisés entre le fil et le fluide refroidissant permettent d'une part un refroidissement rapide du fil entre la température de transformation AC3 et une température légèrement supérieure à celle de plomb, d'autre part une limitation de la "recalescence" pendant la transformation de l'austénite métastable en perlite, la recalescence étant une augmentation de la température du fil due au fait que l'énergie apportée par la transformation métallurgique est supérieure à l'énergie perdue par rayonnement et convection.

Le patentage se traduit malheureusement par des prix de revient élevés car la manipulation des métaux liquides ou des sels fondus conduit à des technologies lourdes et à la nécessité d'un nettoyage du fil après patentage. D'autre part, le plomb est très toxique et les problèmes d'hygiène qu'il pose conduisent à des dépenses importantes.

La demande de brevet français n° 86,16705 décrit un procédé pour traiter thermiquement un fil d'acier au carbone de façon à obtenir une structure perlitique fine en réglant la température du fil durant la transformation d'austénite en perlite de telle sorte qu'elle ne diffère pas de plus de 10 °C, par excès ou par défaut, d'une température donnée inférieure à la température de transformation AC1 et supérieure à la température du nez perlitique, ce réglage étant obtenu en faisant passer un courant électrique dans le fil pendant un temps supérieur au temps de perlitisation et en effectuant une ventilation modulée pendant une partie de ce temps. Ce procédé permet d'éviter l'emploi de métaux ou de sels fondus, et il élimine donc les problèmes d'hygiène et de nettoyage de fils précités, tout en conduisant à des installations plus simples et de fonctionnement plus souple. Ce procédé nécessite cependant l'emploi de compresseurs ou de turbines pour l'obtention d'une ventilation modulée, ce qui peut conduire à des frais d'investissement et de fonctionnement relativement élevés. D'autre part ce procédé n'est utilisable à l'échelle industrielle que pour des fils de diamètre relativement faible, par exemple au plus égal à 3 mm.

Le but de l'invention est de permettre de réaliser un traitement thermique pour la transformation d'austénite en perlite qui évite l'utilisation de métaux ou de sels fondus, ainsi que l'emploi d'une ventilation forcée, tout en permettant de traiter des fils dont le diamètre peut varier dans de larges limites.

En conséquence, l'invention concerne un procédé pour traiter thermiquement au moins un fil d'acier au carbone de façon à obtenir une structure perlitique fine, le fil, préalablement à ce traitement, ayant été maintenu à une température supérieure à la température de transformation AC3 pour obtenir une austénite homogène, ce procédé étant caractérisé par les points suivants :

a) on refroidit le fil depuis une température supérieure à la température de transformation AC3 jusqu'à une température inférieure à la température de transformation AC1

b) on effectue ensuite le traitement de perlitisation à une température inférieure à la température de transformation AC1 ;

c) ce traitement de refroidissement et de perlitisation est effectué en faisant passer le fil dans au moins un tube contenant un gaz pratiquement dépourvu de ventilation forcée, le tube étant entouré par un fluide caloporteur de telle sorte qu'un transfert de chaleur s'effectue depuis le fil, à travers le gaz et le tube, vers le fluide caloporteur ;

d) les caractéristiques du tube, du fil et du gaz sont choisies de telle sorte que les relations suivantes soient vérifiées, au moins lors du refroidissement précédant la perlitisation :

$$1,05 \leq R \leq 14 \quad (1)$$

$$5 \leq K \leq 10 \quad (2)$$

avec, par définition;

$$R = D_{ti}/D_f$$

$$K = [\text{Log}(D_{ti}/D_f)] \times D_{t2}/\lambda$$

5 D_{ti} étant le diamètre intérieur du tube exprimé en millimètres, D_f étant le diamètre du fil exprimé en millimètres, ce diamètre étant au plus égal à 6 mm, λ étant la conductibilité du gaz déterminée à 600 °C, cette conductibilité étant exprimée en $\text{watts.m}^{-1}.\text{°K}^{-1}$, Log étant le logarithme népérien.

L'invention concerne également un dispositif permettant de traiter thermiquement au moins un fil d'acier au carbone de façon à obtenir une structure perlitique fine, le fil, préalablement à ce traitement, ayant été
10 maintenu à une température supérieure à la température de transformation AC3 pour obtenir une austénite homogène, ce dispositif étant caractérisé par les points suivants :

a) il comporte des moyens permettant de refroidir le fil depuis une température supérieure à la température de transformation AC3 jusqu'à une température inférieure à la température de transformation AC1 ;

15 b) il comporte des moyens permettant d'effectuer le traitement de perlitisation à une température inférieure à la température de transformation AC1 ;

c) ces moyens de refroidissement et de perlitisation comportent au moins un tube et des moyens pour faire passer le fil dans le tube, ce tube contenant un gaz pratiquement dépourvu de ventilation forcée, ce tube étant entouré par un fluide caloporteur de telle sorte qu'un transfert de chaleur s'effectue depuis le
20 fil à travers le gaz et le tube, vers le fluide caloporteur ;

d) les caractéristiques du tube, du fil et du gaz sont choisies de telle sorte que les relations suivantes soient vérifiées, au moins lors du refroidissement précédant la perlitisation :

$$1,05 \leq R \leq 15 \quad (1)$$

$$5 \leq K \leq 10 \quad (2)$$

25 avec, par définition,

$$R = D_{ti}/D_f$$

$$K = [\text{Log}(D_{ti}/D_f)] \times D_{t2}/\lambda$$

D_{ti} étant le diamètre intérieur du tube exprimé en millimètres, D_f étant le diamètre du fil exprimé en millimètres, ce diamètre étant au plus égal à 6 mm, λ étant la conductibilité du gaz déterminée à 600 °C, cette conductibilité étant exprimée en $\text{watts.m}^{-1}.\text{°K}^{-1}$, Log étant le logarithme népérien.
30

Le terme "pratiquement dépourvu de ventilation forcée" veut dire que le gaz dans le tube est soit immobile, soit soumis à une faible ventilation qui ne modifie pratiquement pas les échanges thermiques entre le fil et le gaz, cette faible ventilation étant par exemple due uniquement au déplacement du fil lui-même.
35

L'invention concerne également les procédés et les installations complètes de traitement thermique de fils d'acier au carbone utilisant les procédés ou les dispositifs précédemment décrits.

L'invention concerne également les fils d'acier obtenus selon les procédés et/ou avec les dispositifs et les installations conformes à l'invention.

40 L'invention sera aisément comprise à l'aide des exemples non limitatifs qui suivent et des figures toutes schématiques relatives à ces exemples.

Sur le dessin :

- La figure 1 représente des courbes de transformation d'austénite en perlite, ainsi qu'une courbe montrant l'évolution de la température en fonction du temps pour un fil d'acier traité de façon à obtenir une structure perlitique fine ;
45

- La figure 2 représente un dispositif conforme à l'invention, cette figure étant une coupe effectuée selon l'axe du dispositif ;

- La figure 3 représente le dispositif de la figure 2, selon une coupe perpendiculaire à l'axe du dispositif, cette coupe étant schématisée par les segments de ligne droite III-III à la figure 2 ;

50 -La figure 4 représente un autre dispositif conforme à l'invention, cette figure étant une coupe effectuée selon l'axe du dispositif ;

-La figure 5 représente le dispositif de la figure 4 selon une coupe perpendiculaire à l'axe du dispositif, cette coupe étant schématisée par les segments de ligne droite V-V à la figure 4.

- Les figures 6 et 7 représentent chacune un autre dispositif conforme à l'invention.

55 - La figure 8 représente une installation complète pour traiter thermiquement un fil d'acier, cette installation utilisant au moins un dispositif conforme à l'invention ;

La figure 9 représente en coupe une portion de la structure perlitique fine d'un fil traité conformément à l'invention ;

La figure 1 représente la courbe ϕ montrant l'évolution de la température d'un fil d'acier en fonction du temps, lorsque ce fil est soumis à un traitement de perlitisation. Cette figure représente également la courbe X_1 correspondant au début de la transformation d'austénite métastable en perlite et la courbe X_2 correspondant à la fin de la transformation d'austénite métastable en perlite, pour l'acier de ce fil. Sur cette figure 1, l'axe des abscisses correspond au temps T et l'axe des ordonnées correspond à la température θ .

Préalablement au traitement de perlitisation, le fil a été chauffé et maintenu à une température supérieure à la température de transformation AC3 de façon à obtenir une austénite homogène, cette température θ_A , par exemple comprise entre 900 °C et 1000 °C, correspondant au point A de la figure 1. Le point dit "nez perlitique", correspond au temps minimum T_m de la courbe X_1 , la température de ce nez perlitique étant référencée θ_p . L'origine O des temps T correspond au point A.

Le fil est refroidi jusqu'à ce qu'il atteigne une température inférieure à la température de transformation AC1, l'état du fil après ce refroidissement correspondant au point B, la température obtenue en ce point B au bout du temps T_B étant référencée θ_B . Cette température θ_B a été représentée à la figure 1 comme supérieure à la température θ_p du nez perlitique, ce qui est le plus fréquent dans la pratique, sans être absolument nécessaire. Durant ce refroidissement du fil entre les points A et B il y a transformation d'austénite stable en austénite métastable, dès que la température du fil descend au dessous du point de transformation AC3, et des "germes" apparaissent aux joints de grains de l'austénite métastable. La zone comprise entre les courbes X_1 , X_2 est référencée ω . La perlitisation consiste à faire passer le fil de l'état représenté par le point B, à gauche de la zone ω , à un état représenté par le point C, à droite de la zone ω . Cette transformation du fil est par exemple schématisée par le segment de ligne droite BC qui coupe la courbe X_1 en B_x et la courbe X_2 en C_x , mais l'invention s'applique aussi aux cas où la variation de température du fil entre les points B et C n'est pas linéaire.

La formation des germes se poursuit dans la partie du segment BC située à gauche de la zone ω , c'est-à-dire dans le segment BB_x. Dans la partie du segment BC traversant la zone ω , c'est-à-dire dans le segment B_xC_x, il y a transformation d'austénite métastable en perlite, c'est-à-dire perlitisation. Le temps de perlitisation est susceptible de varier d'un acier à l'autre, aussi le traitement représenté par le segment C_xC a pour but d'éviter d'appliquer au fil un refroidissement prématuré au cas où la perlitisation ne serait pas terminée. En effet, de l'austénite métastable résiduelle qui subirait un refroidissement rapide se transformerait en bainite qui n'est pas une structure favorable à la tréfilabilité après traitement thermique, ni à la valeur d'usage et aux propriétés mécaniques du produit final.

Un refroidissement rapide entre les points A et B suivi d'un maintien isotherme dans le domaine de l'austénite métastable, c'est-à-dire entre les points B et B_x permet un accroissement du nombre de germes et une diminution de leur taille. Ces germes sont les points de départ de la transformation ultérieure de l'austénite métastable en perlite et il est bien connu que la finesse de la perlite, donc la valeur d'usage du fil sera d'autant plus grande que ces germes seront plus nombreux et plus petits.

Après le traitement de perlitisation, on refroidit le fil, par exemple jusqu'à la température ambiante, ce refroidissement, de préférence rapide, étant schématisé par exemple par le segment de ligne courbe CD, la température en D étant référencée θ_D .

Les figures 2 et 3 représentent un dispositif 100 conforme à l'invention. Ce dispositif 100 est un échangeur de chaleur comportant une enceinte 3 sous forme d'un tube de diamètre intérieur D_i et de diamètre extérieur D_e , dans lequel défile suivant la flèche F le fil 1 à traiter, le diamètre du fil 1 étant référencé D_f , ce fil 1 étant un fil d'acier au carbone.

La figure 2 est une coupe effectuée suivant l'axe xx' du fil 1 qui est aussi l'axe du dispositif 100, et la figure 3 est une coupe effectuée perpendiculairement à cet axe xx' , la coupe de la figure 3 étant schématisée par les segments de ligne droite III-III, à la figure 2, l'axe xx' étant schématisé par la lettre "x" à la figure 3. Les moyens d'entraînement du fil 1 sont des moyens connus non représentés sur ces figures 2 et 3 dans un but de simplification, ces moyens comportant par exemple un enrouleur actionné par un moteur, pour enrouler le fil après traitement. L'espace 6 entre le fil 1 et le tube 3 est rempli d'un gaz 12 qui est directement au contact du fil 1 et de la paroi intérieure 30 du tube 3. Le gaz 12 reste dans l'espace 6 pendant le traitement du fil 1, le dispositif 100 étant dépourvu de moyens susceptibles de permettre une ventilation forcée du gaz 12, c'est-à-dire que le gaz 12 dépourvu de ventilation forcée n'est éventuellement mis en mouvement dans l'espace 6 que par le déplacement du fil 1 selon la flèche F. Lors du traitement thermique du fil 1, un transfert de chaleur s'effectue depuis le fil 1 vers le gaz 12. λ est la conductibilité du gaz 12 déterminée à 600 °C. Cette conductibilité est exprimée en watts.m⁻¹.°K⁻¹. Le fil 1 est guidé par deux guide-fils 2 réalisés par exemple en céramique ou en carbure de tungstène, ces guides 2 étant situés

l'un à l'entrée, l'autre à la sortie du fil 1 dans le tube 3. Le tube 3 est refroidi extérieurement par un fluide caloporteur 9, par exemple de l'eau circulant dans un manchon 4 annulaire qui entoure le tube 3. Ce manchon 4 a une longueur L_m , un diamètre intérieur D_{mi} , un diamètre extérieur D_{me} . Le manchon 4 est alimenté en eau 9 par la tubulure 8, l'eau 9 sort du manchon 4 par la tubulure 10, l'écoulement de l'eau 9 le long du tube 3 s'effectuant ainsi en sens inverse de la direction F. L'étanchéité entre la zone 7 contenant de l'eau 9 (volume intérieur du manchon 4) et l'espace 6 contenant le gaz 12 est obtenue à l'aide de joints réalisés par exemple en élastomères. La longueur du tube 3 en contact avec le fluide 9 est référencée L_t à la figure 2.

L'échangeur 100 peut constituer à lui seul un dispositif conforme à l'invention. On peut aussi assembler plusieurs échangeurs 100, selon l'axe xx' , grâce aux brides 11 constituant les extrémités du manchon 4, le fil 1 traversant alors plusieurs échangeurs 100 disposés en série selon l'axe xx' .

Ces dispositifs permettent le traitement thermique du fil 1 représenté par la partie de la courbe ϕ située entre les points A et C, c'est-à-dire au traitement comportant un refroidissement suivi d'une perlitisation. Ces dispositifs peuvent aussi servir au refroidissement du fil 1 après perlitisation, si on le désire, ce refroidissement correspondant à la partie CD de la courbe ϕ .

Les caractéristiques du tube 3, du fil 1 et du gaz 12 sont choisies de telle sorte que les relations suivantes soient vérifiées, au moins lors du refroidissement précédant la perlitisation et schématisé par la partie AB de la courbe ϕ :

$$1,05 \leq R \leq 15 \quad (1)$$

$$5 \leq K \leq 10 \quad (2)$$

avec, par définition :

$$R = D_{ti}/D_f$$

$$K = [\text{Log}(D_{ti}/D_f)] \times D_{12}/\lambda$$

D_{ti} et D_f étant exprimés en millimètres, λ étant la conductibilité du gaz déterminée à 600 °C et exprimée en watts.m⁻¹.°K⁻¹, Log étant le logarithme népérien. D_f est au plus égal à 6 mm.

Le gaz 12 est par exemple l'hydrogène, l'azote, l'hélium, un mélange d'hydrogène et d'azote, d'hydrogène et de méthane, d'azote et de méthane, d'hélium et de méthane, d'hydrogène, d'azote et de méthane.

Pour des fils 1 de diamètre important, le rapport R entre le diamètre intérieur D_{ti} et le diamètre D_f du fil est voisin de 1, et l'utilisation d'un gaz 12 très conducteur, par exemple de l'hydrogène, devient nécessaire.

Les figures 4 et 5 représentent un autre dispositif 200 conforme à l'invention avec un axe yy' , la figure 4 étant une coupe selon cet axe et la figure 5 étant une coupe perpendiculaire à cet axe, la coupe de la figure 5 étant schématisée par les segments de ligne droite V-V à la figure 4, l'axe xx' , étant schématisé par la lettre "x" et l'axe yy' étant schématisé par la lettre "y", à la figure 5.

Cet échangeur 200 est analogue à l'échangeur 100 précédemment décrit avec la différence qu'il comporte six tubes 3 entourés par le manchon 4 cylindrique, un fil 1 étant disposé selon l'axe xx' de chacun de ces tubes, cet axe xx' étant donc également l'axe du fil 1 disposé dans ce tube 3. Chacun de ces tubes 3 est rempli par le gaz 12, comme pour l'échangeur 100, et le volume 7 intérieur du manchon 4, à l'extérieur des tubes 3 est le siège d'une circulation de fluide caloporteur, par exemple de l'eau.

Comme l'échangeur 100, l'échangeur 200 peut constituer à lui seul un dispositif conforme à l'invention, ou être assemblé coaxialement avec d'autres échangeurs 200 grâce aux brides 11 constituant les extrémités des manchons 4, les fils 1 traversant ainsi plusieurs échangeurs 200 disposés en série.

Pour obtenir une transformation d'austénite en perlite dans les meilleures conditions, il est préférable que les étapes de transformation du fil schématisées par la ligne BC à la figure 1 s'effectuent à une température qui varie le moins possible, la température du fil 1, par exemple, ne différant pas de plus de 10 °C par excès ou par défaut de la température θ_B obtenue après le refroidissement schématisé par la ligne AB. Cette limitation de la variation de la température étant donc effectuée pendant un temps supérieur au temps de perlitisation, ce temps de perlitisation correspondant au segment BxCx. Avantagusement, la température du fil 1 ne diffère pas de plus de 5 °C par excès ou par défaut de la température θ_B sur cette ligne BC. La figure 1 représente par exemple le cas idéal où la température est constante et égale à θ_B pendant les étapes schématisées par la ligne Bc qui est donc un segment de droite parallèle à l'axe des abscisses.

La transformation d'austénite en perlite qui s'effectue dans le domaine ω dégage une quantité de chaleur d'environ 100 000 J.Kg⁻¹, avec une vitesse de transformation qui varie dans ce domaine en fonction du temps, cette vitesse étant faible au voisinage des points B_x C_x et maximum vers le milieu du segment B_x C_x. Dans ces conditions, si l'on veut une température pratiquement constante lors de cette transformation, il est nécessaire d'effectuer des échanges thermiques modulés, c'est-à-dire des échanges thermiques dont la puissance par unité de longueur du fil 1 varie le long du dispositif où s'effectue cette

transformation, le refroidissement dû au gaz 12 étant maximum lorsque la vitesse de perlitisation est maximum, ceci afin d'éviter le phénomène de recalescence dû à une montée en température excessive du fil 1 lors de la perlitisation.

Cette modulation peut être effectuée de préférence en faisant varier soit le diamètre intérieur des tubes 3 où passe le fil, soit la longueur des divers tubes 3 où passe le fil.

La figure 6 représente un dispositif dans lequel cette modulation est effectuée en faisant varier le diamètre intérieur des tubes. Ce dispositif 300 conforme à l'invention, comporte sept échangeurs de chaleur analogues à l'échangeur 100 précédemment décrit et représenté aux figures 2 et 3. Ces échangeurs référencés 100-1 à 100-7 sont reliés en série par leurs brides 11, le fil 1 passant de l'échangeur 100-1 à l'échangeur 100-7 dans le sens de la flèche F, la tubulure 10 de sortie d'eau d'un échangeur étant reliée à la tubulure d'admission 8 de l'échangeur précédent, dans le sens opposé à celui de la flèche F, l'eau 9 s'écoulant donc en série dans ces échangeurs 100. Pour chacun des échangeurs 100, le diamètre intérieur D_{ti} du tube 3 est constant, mais ce diamètre D_{ti} varie de l'échangeur 100-1 à l'échangeur 100-7 de la façon suivante :

- le diamètre D_{ti} diminue de l'échangeur 100-2 à l'échangeur 100-4, de telle sorte que la puissance de refroidissement par unité de longueur croisse de l'échangeur 100-2 à l'échangeur 100-4 ;
- le diamètre D_{ti} augmente de l'échangeur 100-4 à l'échangeur 100-6, ce qui permet de réaliser des puissances de refroidissement par unité de longueur décroissantes.

Les longueurs d'éléments, référencées L_{m1} à L_{m7} , sont constantes pour les éléments 100-1 à 100-7, ainsi que les longueurs de tube 3 en contact avec l'eau, référencées L_{t1} à L_{t7} .

L'échangeur 100-4 dont la puissance de refroidissement est la plus élevée, correspond donc à la zone où la vitesse de perlitisation est la plus grande.

Dans cette zone, on a les relations suivantes :

$$1,05 \leq R \leq 8 \quad (3)$$

$$3 \leq K \leq 8 \quad (4)$$

R et K ayant les mêmes définitions que précédemment.

Le dispositif 400 représenté sur la figure 7 a la même structure que le dispositif 300 précédemment décrit, avec sept échangeurs référencés 100-1 à 100-7 reliés en série par leur bride 11. La différence avec le dispositif 300 vient de ce que les échangeurs 100 de ce dispositif 400 ont tous le même diamètre intérieur D_{ti} pour les tubes 3, et de ce que l'on fait varier la longueur L_{t1} , mesurée parallèlement au fil 1, des tubes 3 en contact avec le fluide 9, sans faire varier le diamètre D_{ti} et ceci pour une longueur d'élément 100 qui peut être constante pour tous ces éléments, les longueurs d'éléments, référencées L_{m1} à L_{m7} à la figure 7 ayant donc par exemple la même valeur, pour le dispositif 400.

A la figure 7, les longueurs de tubes 3 sont référencées L_{t1} à L_{t7} pour les échangeurs 100-1 à 100-7 du dispositif 400. Les échangeurs 100-2 à 100-4 ont des longueurs de tubes L_{t2} à L_{t4} croissantes dans le sens de la flèche F, de telle sorte qu'il y a une augmentation de la puissance de refroidissement moyenne, rapportée au mètre de fil, depuis l'échangeur 100-2 jusqu'à l'échangeur 100-4. Au contraire, les longueurs L_{t4} à L_{t6} décroissent dans le sens de la flèche F, de telle sorte qu'il y a une diminution de la puissance de refroidissement moyenne, rapportée au mètre de fil, depuis l'échangeur 100-4 jusqu'à l'échangeur 100-6. L'échangeur 100-4, dont la puissance de refroidissement est la plus élevée, correspond ici encore à la zone où la vitesse de perlitisation est la plus grande et les relations (3) et (4) précédemment indiquées pour le dispositif 300 sont encore ici respectées.

Dans les dispositifs 300 et 400 à modulation, les relations (3) et (4) n'ont besoin d'être vérifiées que pour les échangeurs 100-4 où la vitesse de perlitisation est la plus rapide.

Dans les dispositifs 300 et 400, les échangeurs 100-1 et 100-7 conduisent à des échanges thermiques par unité de longueur faibles, soit parce que le diamètre correspondant D_{ti} est élevé, dans le cas du dispositif 300, soit parce que la longueur L_{ti} correspondante est faible, dans le cas du dispositif 400 et il est possible que ces échangeurs 100-1 et 100-7 ne vérifient aucune des relations (1) à (4). Ces échangeurs 100-2 et 100-7 correspondent au maintien pratiquement isotherme du fil 1 avant et après perlitisation, c'est-à-dire pour les parties BBx et CxC du segment BC situées à l'extérieur de la zone ω (figure 1) la température étant donc pratiquement constante sur le segment BC. Le segment CxC correspond à un maintien pratiquement isotherme après perlitisation, pour éviter d'appliquer au fil 1 un refroidissement prématuré pour le cas où la perlitisation ne serait pas terminée, car le temps de perlitisation est susceptible de varier d'un acier à l'autre comme dit précédemment.

Pour obtenir une température constante du fil 1 dans les échangeurs 100-1 et 100-7, il peut être avantageux de faire passer un courant électrique dans le fil 1, lorsqu'il traverse ces échangeurs, on peut aussi dans ce but remplacer ces échangeurs 100-1 et 100-7 par des fours à moufle maintenus à la température θ_B , les dispositifs permettant de faire passer le courant électrique, ou ces fours à moufles

n'étant pas représentés aux figures 6 et 7 dans un but de simplification.

L'invention couvre les cas où l'on fait varier à la fois le diamètre D_i et la longueur L_i dans le même dispositif. D'autre part, dans les dispositifs 300 et 400, on pourrait utiliser des échangeurs 200 reliés en série, de façon à traiter simultanément plusieurs fils.

5 D'autre part, au lieu d'utiliser plusieurs tubes 3 de diamètres différents, on peut utiliser un tube unique dont le diamètre varie le long de son axe, pour effectuer la modulation des échanges thermiques précédemment décrite en respectant les relations (3) et (4) dans la zone où la vitesse de perlitisation est maximum.

10 La figure 8 représente le schéma d'une installation complète pour traiter un fil 1, cette installation conforme à l'invention utilisant au moins un des dispositifs précédemment décrits.

Cette installation 500 comporte cinq zones référencées Z_1 à Z_5 . Le fil 1 provenant de la bobine 13 est chauffé dans la zone Z_1 , de façon connue, par exemple grâce à un four à gaz ou à moufle jusqu'à une température de 900 à 1000 °C pour obtenir une austénite homogène correspondant au point A de la figure 1, cette température étant supérieure à la température de transformation AC3.

15 Le fil 1 est ensuite refroidi dans la zone Z_2 jusqu'à une température de 500 à 600 °C, de façon à obtenir une austénite métastable correspondant au point B de la figure 1.

Le fil 1 passe ensuite dans la zone Z_3 où il subit les traitements correspondant au segment BC de la figure 1. Le fil passe ensuite dans la zone Z_4 où il est refroidi jusqu'à une température par exemple d'environ 300 °C. Le fil pénètre ensuite dans la zone Z_5 où il est amené à une température proche de la 20 température ambiante, par exemple de 20 à 50 °C, par immersion dans de l'eau. Le refroidissement opéré dans les zones Z_4 et Z_5 correspond au segment CD de la figure 1.

Le fil 1 sortant du bain Z_5 est ensuite enroulé sur la bobine 14.

25 Les zones Z_2 à Z_4 peuvent par exemple utiliser des échangeurs de même type que les échangeurs 100, 200 précédemment décrits avec éventuellement pour la zone Z_3 un dispositif à modulation 300 ou 400.

L'invention présente les avantages suivants :

- simplicité, coûts d'investissement et de fonctionnement peu élevés, car :
 - on évite l'emploi de métaux ou de sels fondus ;
 - on se dispense d'employer des compresseurs ou des turbines qui seraient nécessaires avec une 30 circulation de gaz forcée ;
- on peut obtenir une loi de refroidissement précise et éviter le phénomène de recalescence ;
- possibilité d'effectuer avec la même installation un traitement de perlitisation sur des diamètres D_f de fils qui peuvent varier dans de larges limites, D_f étant au plus égal à 6 mm, et de préférence au moins égal à 0,4 mm ;
- 35 - on évite tout problème d'hygiène et un nettoyage du fil n'est pas nécessaire puisqu'on évite l'emploi de métaux ou de sels fondus.

40 Ces avantages ne sont obtenus que lorsque les relations (1) et (2) sont vérifiées lors du refroidissement schématisé par la portion AB de la courbe ϕ (figure 1). Lorsqu'on utilise des tubes contenant un gaz dépourvu de ventilation forcée, les tubes étant entourés par un fluide caloporteur, mais les relations (1) et (2) n'étant pas vérifiées lors du refroidissement précédant la perlitisation et correspondant à la portion AB de la courbe ϕ , il n'est pas possible d'effectuer une perlitisation correcte.

L'invention est illustrée par les neuf exemples de réalisation qui suivent et qui sont tous conformes à l'invention.

45 Les fils traités dans ces exemples sont réalisés en acier, la composition de cet acier étant donnée dans le tableau 1, en fonction des exemples, ainsi que les températures de transformation AC1 et AC3.

50

55

TABLEAU 1

Exemples	T [°] AC1 (en °C)	T [°] AC3 (en °C)	C	Mn	Si	S
1, 2, 3, 7, 8, 9	730	780	0,85	0,70	0,20	0,027
4, 5, 6	730	730	0,70	0,60	0,22	0,029

TABLEAU 1 (suite)

Exemples	P	Al	Ca	Cr	Ni
1, 2, 3, 7, 8, 9	0,019	0,082	0,045	0,060	0,015
4, 5, 6	0,018	0,084	0,049	0,062	0,014

Tous les exemples sont réalisés avec une installation 500 conforme à l'invention présentant les cinq zones Z₁ à Z₅ précédemment décrites. Cette installation utilise des échangeurs thermiques 100 ou 200 pour les zones Z₂ et Z₄ et des dispositifs 300 ou 400 pour la zone Z₃, dans le cas des exemples 1 à 8 qui sont effectués en évitant le phénomène de recalescence, c'est-à-dire avec une température pratiquement constante dans la zone Z₃. L'exemple 9, au contraire est effectué sans lutter contre la recalescence, la température variant dans la zone Z₃. Les conditions de l'exemple 9 seront définies ultérieurement. Pour ce qui est des exemples 1 à 8, les conditions sont les suivantes :

a) la vitesse du fil est de 1 mètre par seconde.

b) la longueur des différentes zones Z₁ à Z₅, mesurée en suivant le fil est la suivante :

pour la zone Z₁ : 3 m ; pour la zone Z₂ : 2,6 m ; pour la zone Z₃ : 3 m ; pour la zone Z₄ : 3 m ; pour la zone Z₅ : 1 m ; ces longueurs sont référencées L₁ à L₅ à la figure 8.

c) les températures des fils sont les suivantes :

- à la sortie de la zone Z₁ = 975 °C

- à la sortie de la zone Z₂ et dans toute la zone Z₃ = 550 °C

- à la sortie de la zone Z₄ = 300 °C.

Pour tous les exemples 1 à 9 la durée du temps de refroidissement dans la zone Z₂ est inférieure à 5 secondes, ce refroidissement correspondant à la portion AB de la courbe ϕ (figure 1).

La réalisation des exemples s'effectue de la façon suivante :

EXEMPLE 1

- Diamètre du fil 1 traité : 1,3 mm

- Gaz 12 conducteur de la chaleur : NH₃ craqué (Pourcentages en volumes : H₂ = 75 %, N₂ = 25 %).

- Débit d'eau 9 à 20 °C : 8 litres par minute, tous les manchons 4 étant en série.

- Les caractéristiques de l'échangeur 100 de la zone Z₂ sont les suivantes :

. Tube 3 réalisé en verre type pyrex, les diamètres étant les suivants : D_{ti} = 5 mm, D_{te} = 10 mm.

. Diamètres du manchon 4 : $D_{mi} = 35,2$ mm; $D_{me} = 42,4$ mm.

. Pour une température du fil de 975°C , les températures du tube 3 sont les suivantes : face interne 190°C , face externe 65°C .

- Les caractéristiques de la zone Z_3 sont les suivantes :

- 5 utilisation du dispositif 300, à modulation par variation de D_{ti} , les valeurs de D_{ti} et D_{te} étant les suivantes pour les échangeurs 100-1 à 100-7 :

pour les échangeurs 100-1 et 100-7 : $D_{ti} = 25$ mm, $D_{te} = 35$ mm,

pour les échangeurs 100-2 et 100-6 : $D_{ti} = 5$ mm, $D_{te} = 10$ mm,

pour les échangeurs 100-3 et 100-5 : $D_{ti} = 4$ mm, $D_{te} = 8$ mm

- 10 pour l'échangeur 100-4 : $D_{ti} = 3$ mm, $D_{te} = 8$ mm.

L'échangeur 100-4 est celui où la vitesse de perlitisation est maximum.

Les diamètres des manchons 4 ont, dans tous les cas, les valeurs suivantes : $D_{mi} = 35,2$ mm, $D_{me} = 42,4$ mm.

- 15 Les diverses longueurs L_m des manchons 4 sont les suivantes : pour les échangeurs 100-1 et 100-7, $L_m = 0,75$ m. Pour les échangeurs 100-2 à 100-6, $L_m = 0,30$ m, ce qui correspond donc à une longueur totale de 3 m.

- Les caractéristiques de l'échangeur 100 formant la zone Z_4 sont les suivantes :

Tube 3 en verre de type pyrex avec $D_{ti} = 5$ mm, $D_{te} = 10$ mm. Les diamètres du manchon 4 sont les suivants : $D_{mi} = 35,2$ mm, $D_{me} = 42,4$ mm.

- 20 La valeur de λ à 600°C est égale à $0,28 \text{ watt.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Le tableau 2 suivant donne les valeurs de R et K pour les zones Z_2 à Z_4 avec l'indication des relations (1) à (4) éventuellement vérifiées dans ces zones

TABLEAU 2

Zone	R	K	Relations (1) à (4) éventuellement vérifiées
Z_2	3,85	8,13	(1), (2), (3)
Z_3			
échangeurs 100-1 et 100-7	19,23	17,84	aucune relation vérifiée
échangeurs 100-2 et 100-6	3,85	8,13	(1), (2), (3)
échangeurs 100-3 et 100-5	3,08	6,78	(1) à (4)
échangeur 100-4	2,31	5,05	(1) à (4)
Z_4	3,85	8,13	(1), (2), (3)

- 40 Après traitement dans l'installation 500, le fil 1 a une résistance de rupture à la traction de 1350 MPa (mégapascals). Ce fil est ensuite laitoné puis tréfilé de façon connue pour obtenir un diamètre final de 0,20 mm. La résistance de rupture à la traction pour ce fil tréfilé est de 3500 MPa. Le rapport des sections correspond par définition au rapport :

45
$$\frac{\text{section du fil avant tréfilage.}}{\text{section du fil après tréfilage.}}$$

Pour l'exemple 1 le rapport des sections est égal à 42,25.

50 EXEMPLE 2

- Cet exemple est réalisé dans les mêmes conditions que l'exemple 1, en faisant en outre varier le diamètre D_f du fil et la composition du mélange hydrogène/azote. Dans tous les cas les échangeurs des zones Z_2 et Z_4 vérifient les relations (1), (2) et l'échangeur 100-4 où la vitesse de perlitisation est maximum, dans le dispositif 300 de la zone Z_3 , vérifie les relations (3) et (4). Le tableau 3 donne les valeurs de D_f , de R et K pour les échangeurs des zones Z_2 , Z_4 et pour l'échangeur 100-4 du dispositif 300, le % volumétrique d'hydrogène dans les mélanges gazeux, ainsi que les valeurs de λ à 600°C . Les valeurs de R

et de K pour les zones Z₂ et Z₄ sont référencées respectivement R_M, K_M, et les valeurs de R et K pour l'échangeur 100-4 sont référencées respectivement R_m et K_m.

Le tableau 3 donne d'autre part les valeurs suivantes :

- la résistance à la rupture (résistance de rupture à la traction) du fil après traitement thermique, exprimée en MPa ;
- le diamètre de tréfilage du fil, exprimé en mm, c'est-à-dire le diamètre du fil après tréfilage ;
- le rapport des sections dû au tréfilage ;
- la résistance à la rupture (résistance de rupture à la traction) du fil au diamètre final, c'est-à-dire après tréfilage, exprimée en MPa.

TABLEAU 3

D _f	R _M	R _m	% H ₂	λ	K _M	K _m
1,55	3,23	1,94	100	0,42	6,7	3,78
1,30	3,85	2,31	75	0,28	8,1	5,05
0,94	5,32	3,19	50	0,18	8,2	5,70
0,82	6,10	3,66	40	0,15	8,1	5,81
0,53	9,43	5,66	12	0,076	8,3	6,41
0,40	12,50	7,50	0	0,050	8,1	6,45

Résistance à la rupture après traitement thermique (MPa)	Diamètre de tréfilage (mm)	Rapport des sections	Résistance à la rupture au diamètre final (MPa)
1340	0,23	45,41	3450
1350	0,20	42,25	3500
1352	0,145	42,02	3510
1355	0,125	43,03	3490
1350	0,08	43,89	3500
1355	0,06	44,44	3520

Exemple 3

Cet exemple est réalisé dans les mêmes conditions que l'exemple 1, sauf pour la zone Z₃ qui est réalisée avec le dispositif 400. Les caractéristiques des échangeurs 100 de ce dispositif 400 sont les suivantes :

. Tous les tubes 3 sont en alumine, les diamètres D_{ti} et D_{te} identiques pour les sept échangeurs 100 ayant les valeurs suivantes : D_{ti} = 3 mm, D_{te} = 8 mm. Les longueurs L_i de tube varient de la façon suivante :

pour les échangeurs 100-1 et 100-7, $L_t = 0,15$ m ;
 pour les échangeurs 100-2 et 100-6, $L_t = 0,20$ m ;
 pour les échangeurs 100-3 et 100-5, $L_t = 0,25$ m ;
 pour l'échangeur 100-4, $L_t = 0,28$ m.

- 5 Tous les échangeurs 100-1 à 100-7 vérifient les relations (1) à (4), avec : $\lambda = 0,28$; $R = 2,31$; $K = 5,05$.
 Après traitement dans l'installation 500 le fil 1 a une résistance de rupture à la traction de 1340 MPa.
 Le fil 1 ainsi obtenu puis laitonné et tréfilé de façon connue pour avoir un diamètre de 0,2 mm a une résistance de rupture à la traction égale à 3480 MPa, le rapport des sections étant égal à 42,25.

10

Exemple 4

On utilise un fil de diamètre $D_f = 2$ mm. Le gaz de refroidissement 12 est de l'hydrogène pur. Le débit d'eau à 20 °C est de 19 litres par minute. Les caractéristiques de l'exemple sont les suivantes :

- 15 - Zone Z_2 : Utilisation de trois échangeurs 100 en série, chacun ayant les caractéristiques suivantes : tube 3 en acier vitrifié à l'intérieur. $D_{ti} = 4,5$ mm ; $D_{te} = 10$ mm. Diamètres du manchon 4 : $D_{mi} = 35,2$ mm ; $D_{me} = 42,4$ mm.
 - Zone Z_3 : Utilisation d'un dispositif 300, avec des tubes 3 en acier vitrifiés à l'intérieur, les diamètres de ces tubes 3 étant les suivants :
 20 pour les échangeurs 100-1 et 100-7 : $D_{ti} = 25$ mm, $D_{te} = 35$ mm
 pour les échangeurs 100-2 et 100-6 : $D_{ti} = 3,5$ mm, $D_{te} = 10$ mm
 pour les échangeurs 100-3 et 100-5 : $D_{ti} = 3$ mm, $D_{te} = 10$ mm
 pour l'échangeur 100-4 : $D_{ti} = 2,8$ mm, $D_{te} = 10$ mm
 Diamètres des manchons 4 : $D_{mi} = 35,2$ mm, $D_{me} = 42,4$ mm.
 25 - Zone Z_4 : Utilisation de trois échangeurs 100 en série, chacun ayant les caractéristiques suivantes : tubes 3 en acier vitrifié à l'intérieur. $D_{ti} = 4,5$ mm ; $D_{te} = 10$ mm.
 On a $\lambda = 0,42$ watt.m⁻¹.°K⁻¹.

- Les échangeurs des zones Z_2 et Z_4 vérifient les relations (1) et (2). le tableau 4 suivant donne, pour les échangeurs 100-1 à 100-7, du dispositif 300 les valeurs de R et K ainsi que les relations (1) à (4) éventuellement vérifiées.

TABLEAU 4

n° d'échangeurs	R	K	Relations (1) à (4) éventuellement vérifiées
100-1 et 100-7	12,5	24,05	(1)
100-2 et 100-6	1,75	5,33	(1) à (4)
100-3 et 100-5	1,50	3,86	(1), (3), (4)
100-4	1,40	3,20	(1), (3), (4)

- Après traitement thermique, le fil 1 présente une résistance de rupture à la traction égale à 1340 MPa.
 45 Après laitonnage et tréfilage effectués de façon connue pour obtenir un diamètre de 0,3 mm, la résistance de rupture à la traction est de 3450 MPa, le rapport des sections étant de 44,44.

Exemple 5

50

Cet exemple est réalisé avec une installation utilisant des échangeurs 200 pour les zones Z_2 , Z_3 , Z_4 , de façon à traiter six fils 1 simultanément.

Le débit d'eau à 20 °C est de 110 litres par minute, et les diamètres des manchons 4 sont les suivants :

- 55 $D_{mi} = 82,5$ mm, $D_{me} = 88,9$ mm

A part ces points, les conditions de l'exemple sont les mêmes que pour l'exemple 4.

Après traitement thermique, le fil 1 présente une résistance de rupture à la traction de 1350 MPa. Après laitonnage et tréfilage effectués de façon connue pour avoir un diamètre de 0,3 mm la résistance de rupture

à la traction est de 3500 MPa pour un rapport des sections de 44,44.

Exemple 6

5

Les conditions sont identiques à celles de l'exemple 4 en faisant varier le diamètre D_f des fils ainsi que la composition du gaz (mélange d'hydrogène et d'azote).

Dans tous les cas, les échangeurs des zones Z_2 et Z_4 vérifient les relations (1) et (2), et l'échangeur 100-4 où la vitesse de perlitisation est maximum, dans le dispositif 300 de la zone Z_3 , vérifie les relations (3) et (4).

10 Le tableau 5 suivant donne les valeurs de D_f , de R et K pour les échangeurs des zones Z_2 , Z_4 et pour l'échangeur 100-4 du dispositif 300, le % volumétrique d'hydrogène dans les mélanges gazeux, ainsi que les valeurs de λ à 600 °C.

Les valeurs de R et K pour les zones Z_2 et Z_4 sont référencées respectivement R_M , K_M et les valeurs 15 de R et K pour l'échangeur 100-4 sont référencées respectivement R_m et K_m .

Le tableau 5 donne d'autre part les valeurs suivantes :

- la résistance à la rupture (résistance de rupture à la traction) du fil après traitement thermique, exprimée en MPa ;
- le diamètre de tréfilage du fil, exprimé en mm, c'est-à-dire le diamètre du fil après tréfilage ;
- 20 - le rapport des sections d_0 au tréfilage ;
- la résistance à la rupture (résistance de rupture à la traction) du fil au diamètre final, c'est-à-dire après tréfilage, exprimée en MPa.

25

30

35

40

45

50

55

TABLEAU 5

D_f	R_M	R_m	% H_2	λ	K_M	K_m
2,00	2,25	1,40	100	0,42	7,72	3,20
1,75	2,57	1,60	90	0,36	8,03	4,00
1,55	2,90	1,81	80	0,31	8,26	4,58
1,30	3,46	2,15	70	0,26	8,07	4,99
0,94	4,79	2,98	45	0,17	8,14	5,67
0,82	5,49	3,41	35	0,14	8,18	5,90
0,53	8,49	5,28	10	0,072	8,34	6,49
0,45	10,00	6,22	0	0,050	9,33	7,40

Résistance à la rupture après traitement thermique (MPa)	Diamètre de tréfilage (mm)	Rapport des sections	Résistance à la rupture au diamètre final (MPa)
1340	0,30	44,44	3450
1350	0,26	45,30	3500
1360	0,23	45,41	3520
1350	0,20	42,25	3500
1350	0,14	45,08	3510
1380	0,12	46,69	3480
1385	0,08	43,89	3500
1390	0,065	47,93	3510

Exemple 7

On effectue cet exemple dans les mêmes conditions que l'exemple 1, mais l'ammoniac craqué qui est un gaz décarburant a été remplacé par un gaz maintenant l'équilibre thermodynamique vis-à-vis du carbone de l'acier à 800 °C. La composition volumétrique de ce gaz étant $H_2 = 74 \%$, $N_2 = 24 \%$, $CH_4 = 2 \%$. Les valeurs de R et K ainsi que les relations qui sont vérifiées sont identiques à ce qui est porté au tableau 2. Les chiffres concernant le tréfilage et la résistance du fil sont identiques à 2 % près à ceux obtenus pour l'exemple 1.

Exemple 8

On effectue cet exemple dans les mêmes conditions que l'exemple 1 mais l'ammoniac craqué a été remplacé par un gaz carburant permettant de corriger une décarburation qui s'est produite dans les traitements antérieurs au traitement thermique selon l'invention. Composition volumétrique du gaz : $H_2 =$

63,75 %, $N_2 = 21,25$ %, $CH_4 = 15$ %. On n'observe pas de dépôt de graphite à la surface du fil, l'épaisseur de recarburation est de l'ordre de 3 μm .

Les valeurs de R, K ainsi que les relations vérifiées sont identiques à ce qui est porté au tableau 2. Après traitement thermique, le fil présente une résistance de rupture à la traction de 1320 MPa. Après
5 laitonnage et tréfilage effectués de façon connue pour avoir un diamètre de 0,2 mm, le rapport des sections étant de 42,25, la résistance de rupture à la traction est de 3450 MPa.

Exemple 9

10

Cet exemple est effectué sans effacer la recalcence. Diamètre D_f du fil 1 = 5,5 mm ; vitesse de défillement du fil 1 = 1,5 m/s.

Les zones Z_2 , Z_3 , Z_4 utilisent chacune un échangeur 100, ces échangeurs étant tous identiques, avec des tubes 3 en acier vitrifié intérieurement avec $D_{ti} = 6$ mm, $D_{te} = 12$ mm. Débit d'eau à 20 °C = 120
15 litres/minute, gaz de refroidissement : hydrogène pur. Temps total de traitement thermique = 9,9 secondes. Longueur de l'installation de traitement thermique (zones Z_2 à Z_4) = 14,85 m.

Les températures du fil sont les suivantes :

- à la sortie de la zone Z_1 : 975 °C,
- au début de la transformation de l'austénite métastable en perlite (point B_x de la figure 1) : 550 °C,
- 20 - à la sortie de la zone Z_4 : 350 °C.

L'écart entre la température minimum et la température maximum durant la transformation de l'austénite en perlite (recalcence) est de 60 °C.

$\lambda = 0,42$; $R = 1,091$; $K = 6,27$

Après traitement thermique, le fil présente une résistance de rupture à la traction égale à 1310 MPa. Après
25 laitonnage et tréfilage effectués de façon connue pour avoir un diamètre de 0,84 mm, le rapport des sections étant de 42,87, le fil présente une résistance de rupture à la traction égale à 3350 MPa.

Le fil 1 traité conformément à l'invention comporte la même structure que celle qu'on obtient par le procédé connu de patentage au plomb, c'est-à-dire une structure perlitique fine. Cette structure comporte des lamelles de cémentite séparées par des lamelles de ferrite. A titre d'exemple, la figure 9 représente en
30 coupe une portion 50 d'une telle structure perlitique fine. Cette portion 50 comporte deux lamelles de cémentite 51 pratiquement parallèles séparées par une lamelle de ferrite 52. L'épaisseur des lamelles de cémentite 51 est représentée par "i" et l'épaisseur des lamelles de ferrite 52 est représentée par "e". La structure perlitique est fine, c'est-à-dire que la valeur moyenne $i+e$ est au plus égale à 1000 Å, avec un écart type de 250 Å.

35 Tous les exemples 1 à 9 précédemment décrits permettent d'obtenir une structure correspondant à celle précédemment décrite pour la portion 50, mais la structure atteinte est la plus fine dans le cas où on lutte contre la recalcence.

De préférence, l'invention permet d'obtenir au moins un des résultats suivants :

- Après traitement thermique et avant tréfilage, le fil présente une résistance de rupture à la traction au
40 moins égale à 1300 MPa ;
- Le fil peut être tréfilé de façon à avoir un rapport des sections au moins égal à 40 ;
- Le fil, après tréfilage, présente une résistance de rupture à la traction au moins égale à 3000 MPa.

A titre de comparaison, les deux exemples 10 et 11 qui suivent ne sont pas conformes à l'invention. Ces deux exemples comparatifs sont réalisés avec une installation analogue à l'installation 500 précédemment décrite comportant les zones Z_1 à Z_5 . Les zones Z_2 , Z_3 , Z_4 utilisent chacune un échangeur 100, ces
45 échangeurs étant tous identiques avec des tubes 3 en verre de type pyrex, avec $D_{ti} = 25$ mm et $D_{te} = 35$ mm. Les diamètres des manchons ont dans tous les cas les valeurs suivantes : $D_{mi} = 50$ mm, $D_{me} = 60$ mm. La longueur de l'installation est de 18 m (zones Z_2 à Z_4).

Dans les deux exemples comparatifs le gaz 12 conducteur de la chaleur est de l'ammoniac craqué
50 comportant 75 % d'hydrogène et 25 % d'azote (% en volumes). La conductibilité λ à 600 °C est égale à 0,28 watt.m⁻¹.°K⁻¹. L'acier comporte 0,7 % de carbone, il est identique à celui qui est utilisé pour les exemples précédents 4, 5, 6 (tableau 1).

Les conditions particulières aux exemples comparatifs 10 et 11 sont les suivantes :

55

Exemple 10

Diamètre du fil traité : 1,3 mm ; vitesse de progression du fil : 1 m/sec. On a donc $R = 19,23$ et $K =$

17,8, aucune des relations (1) à (4) n'étant vérifiée. Température du fil à la sortie de la zone Z_1 : 975°C . Le temps de refroidissement correspondant à la zone Z_2 est de 6,7 sec, le fil à la sortie de cette zone Z_2 ayant une température de 600°C environ.

Le temps de passage dans la zone Z_3 est de 4, 6 sec, la perlitisation étant terminée à la sortie de cette zone Z_3 .

La recalescence est importante, la différence de température entre la température minimum et la température maximum du fil, durant la transformation de l'austénite en perlite (zone Z_3) étant de 80°C .

Après le traitement thermique décrit, le fil a une résistance de rupture à la traction égale à 1100 MPa. Le fil est ensuite laitonné puis tréfilé de façon connue jusqu'à un diamètre de 0,23 mm et il a alors une résistance de rupture à la traction égale à 2765 MPa pour un rapport des sections de 31,95. Cet exemple non conforme à l'invention se traduit donc par une recalescence excessive, et des valeurs de résistance de rupture faibles, avant et après tréfilage. D'autre part la structure du fil, après le traitement thermique décrit dans cet exemple vérifie la relation $i + e = 1350 \text{ \AA}$ (valeur moyenne), l'écart type étant de 255 $\text{\AA}$, cette structure n'étant donc pas conforme à la structure précédemment décrite.

15

Exemple 11

Diamètre du fil traité : 2,8 mm, vitesse de progression du fil : 0,5 m/sec.

On a donc $R = 8,93$ et $K = 61,3$. La relation (1) est donc la seule des relations (1) à (4) qui soit vérifiée.

La température du fil à la sortie de la zone Z_1 est de 975°C comme dans l'exemple précédent.

Le temps de passage dans la zone Z_2 est de 11,5 sec, le fil, à la sortie de cette zone Z_2 , ayant une température de 630°C environ.

Le temps de passage dans la zone Z_3 est de 8,5 sec, la perlitisation étant terminée à la sortie de cette zone Z_3 . Dans cette zone Z_3 , lors de la perlitisation, la différence de température entre la température minimum et la température maximum du fil est de 60°C , c'est-à-dire que la recalescence est moins importante que dans l'exemple 10 précédent, par suite d'une vitesse de perlitisation faible dans la zone Z_3 , ce qui est dû à une température de transformation plus élevée.

Après traitement thermique, le fil a une résistance de rupture à la traction de 1010 MPa. Le fil est ensuite laitonné puis tréfilé de façon connue jusqu'à un diamètre de 0,42 mm et il a alors une résistance de rupture à la traction égale à 2500 MPa pour un rapport des sections de 44,44.

Cet exemple non conforme à l'invention se traduit par un temps de traitement très long et une résistance de rupture à la traction faible.

D'autre part, la structure du fil, après le traitement thermique décrit dans cet exemple, vérifie la relation

$$i + e = 1450 \text{ \AA} \text{ (valeur moyenne),}$$

l'écart type étant de 300 $\text{\AA}$,

c'est-à-dire que la structure du fil n'est pas conforme à la structure précédemment décrite.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation précédemment décrits.

Revendications

1. Procédé pour traiter thermiquement au moins un fil d'acier au carbone de façon à obtenir une structure perlitique fine, le fil, préalablement à ce traitement, ayant été maintenu à une température supérieure à la température de transformation AC3 pour obtenir une austénite homogène, ce procédé étant caractérisé par les points suivants :

a) on refroidit le fil depuis une température supérieure à la température de transformation AC3 jusqu'à une température inférieure à la température de transformation AC1 ;

b) on effectue ensuite le traitement de perlitisation à une température inférieure à la température de transformation AC1 ;

c) ce traitement de refroidissement et de perlitisation est effectué en faisant passer le fil dans au moins un tube contenant un gaz pratiquement dépourvu de ventilation forcée, le tube étant entouré par un fluide caloporteur de telle sorte qu'un transfert de chaleur s'effectue depuis le fil, à travers le gaz et le tube, vers le fluide caloporteur ;

d) les caractéristiques du tube, du fil et du gaz sont choisies de telle sorte que les relations suivantes soient vérifiées, au moins lors du refroidissement précédant la perlitisation :

$$1,05 \leq R \leq 15 \quad (1)$$

$$5 \leq K \leq 10 \quad (2)$$

avec, par définition,

$$R = D_{ti}/D_f$$

$$K = [\text{Log}(D_{ti}/D_f)] \times D_f^2 / \lambda$$

D_{ti} étant le diamètre intérieur du tube exprimé en millimètres, D_f étant le diamètre du fil exprimé en millimètres, ce diamètre étant au plus égal à 6 mm, λ étant la conductibilité du gaz déterminée à 600 °C, cette conductibilité étant exprimée en $\text{watts.m}^{-1}.\text{°K}^{-1}$, Log étant le logarithme népérien .

2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que, après avoir refroidi le fil depuis une température supérieure à la température de transformation AC3 jusqu'à une température donnée inférieure à la température de transformation AC1, on maintient le fil à une température qui ne diffère pas de plus de 10 °C par excès ou par défaut de cette température donnée, pendant un temps supérieur au temps de perlitisation en modulant les échanges thermiques, les relations suivantes étant vérifiées dans la ou les zones du ou des tubes où la vitesse de perlitisation est la plus rapide :

$$1,05 \leq R \leq 8 \quad (3)$$

$$3 \leq K \leq 8 \quad (4)$$

3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que l'on maintient le fil à une température qui en varie pas de plus de 5 °C par excès ou par défaut de cette température donnée.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que la modulation est effectuée en faisant varier le diamètre intérieur du ou d'au moins un tube.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4 caractérisé en ce que la modulation est effectuée en utilisant plusieurs tubes dont on fait varier la longueur.

6. Procédé pour traiter thermiquement au moins un fil d'acier au carbone caractérisé par les points suivants :

- on chauffe le fil pour le porter à une température supérieure à la température de transformation AC3 pour obtenir une austénite homogène ;
- on effectue ensuite un traitement conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 5 ;
- on refroidit ensuite le fil.

7. Dispositif permettant de traiter thermiquement au moins un fil d'acier au carbone de façon à obtenir une structure perlitique fine, le fil, préalablement à ce traitement, ayant été maintenu à une température supérieure à la température de transformation AC3 pour obtenir une austénite homogène, ce dispositif étant caractérisé par les points suivants :

a) il comporte des moyens permettant de refroidir le fil depuis une température supérieure à la température de transformation AC3 jusqu'à une température inférieure à la température de transformation AC1 ;

b) il comporte des moyens permettant d'effectuer le traitement de perlitisation à une température inférieure à la température de transformation AC1 ;

c) ces moyens de refroidissement et de perlitisation comportent au moins un tube et des moyens pour faire passer le fil dans le tube, ce tube contenant un gaz pratiquement dépourvu de ventilation forcée, ce tube étant entouré par un fluide caloporteur de telle sorte qu'un transfert de chaleur s'effectue depuis le fil à travers le gaz et le tube, vers le fluide caloporteur ;

d) les caractéristiques du tube, du fil et du gaz sont choisies de telle sorte que les relations suivantes soient vérifiées, au moins lors du refroidissement précédant la perlitisation :

$$1,05 \leq R \leq 15 \quad (1)$$

$$5 \leq K \leq 10 \quad (2)$$

avec, par définition,

$$R = D_{ti}/D_f$$

$$K = [\text{Log}(D_{ti}/D_f)] \times D_f^2 / \lambda$$

D_{ti} étant le diamètre intérieur du tube exprimé en millimètres, D_f étant le diamètre du fil exprimé en millimètres, ce diamètre étant au plus égal à 6 mm, λ étant la conductibilité du gaz déterminée à 600 °C, cette conductibilité étant exprimée en $\text{watts.m}^{-1}.\text{°K}^{-1}$, Log étant le logarithme népérien.

8. Dispositif selon la revendication 7 caractérisé en ce qu'un ou plusieurs tubes sont agencés de telle sorte qu'après refroidissement du fil depuis une température supérieure à la température de transformation AC3 jusqu'à une température donnée inférieure à la température de transformation AC1, ils permettent de

maintenir le fil à une température qui ne diffère pas de plus de 10 ° C par excès ou par défaut de cette température donnée, pendant un temps supérieur au temps de perlitisation, en modulant les échanges thermiques, les relations suivantes étant vérifiées dans la ou les zones du ou des tubes où la vitesse de perlitisation est la plus rapide :

5 $1,05 \leq R \leq 8$ (3)

$3 \leq K \leq 8$ (4).

9. Dispositif selon la revendication 8 caractérisé en ce que ce ou ces tubes sont agencés de telle sorte que la température du fil ne diffère pas de plus de 5 ° C par excès ou par défaut de cette température donnée.

10 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que le diamètre intérieur du ou d'au moins un tube varie.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs tubes dont la longueur varie.

15 12. Installation de traitement thermique d'au moins un fil d'acier au carbone comportant au moins un dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 7 à 11, cette installation comportant en outre des moyens permettant de porter le fil à une température supérieure à la température de transformation AC3 avant perlitisation et des moyens permettant de refroidir le fil après perlitisation.

13. Fil obtenu avec le procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 6.

20 14. Fil obtenu avec le dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 7 à 11 ou avec l'installation conforme à la revendication 12.

25

30

35

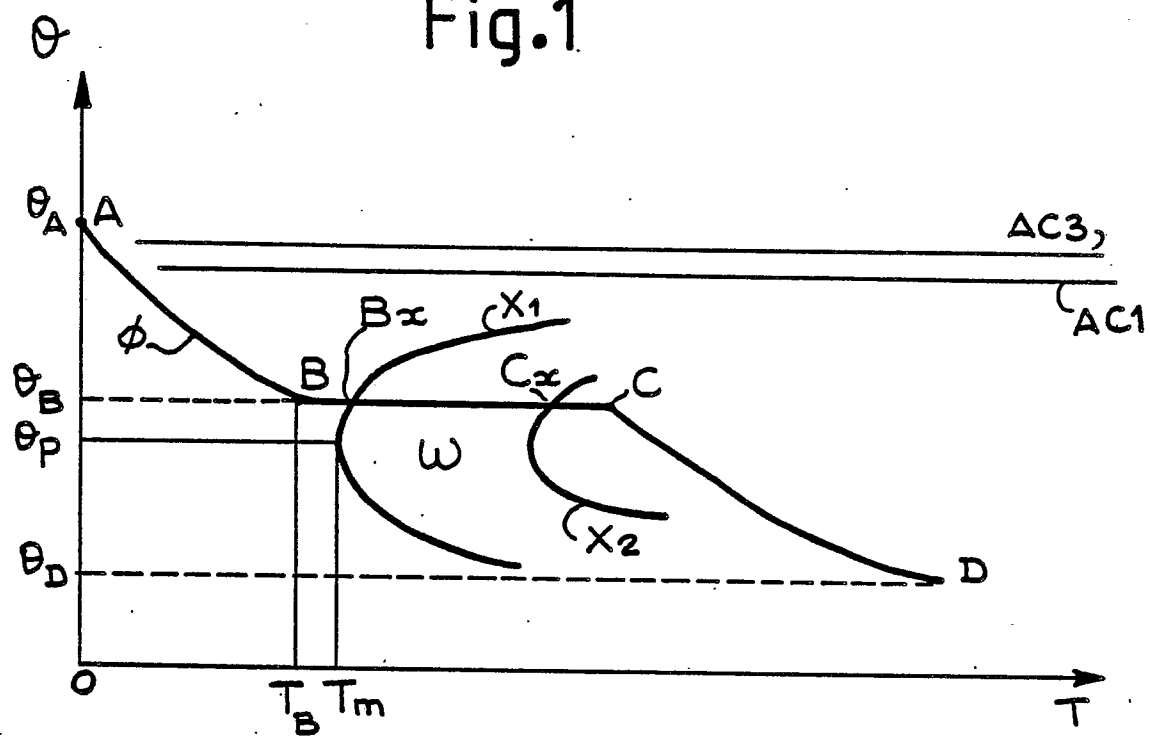
40

45

50

55

Fig.1



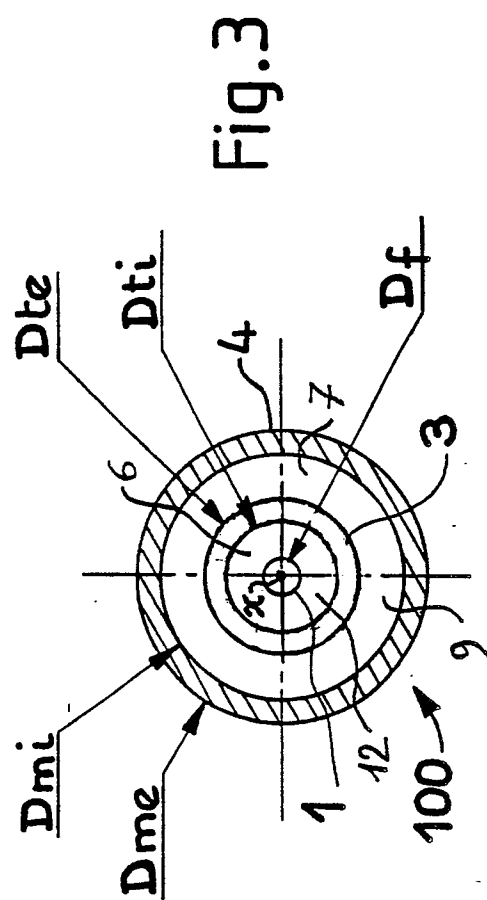
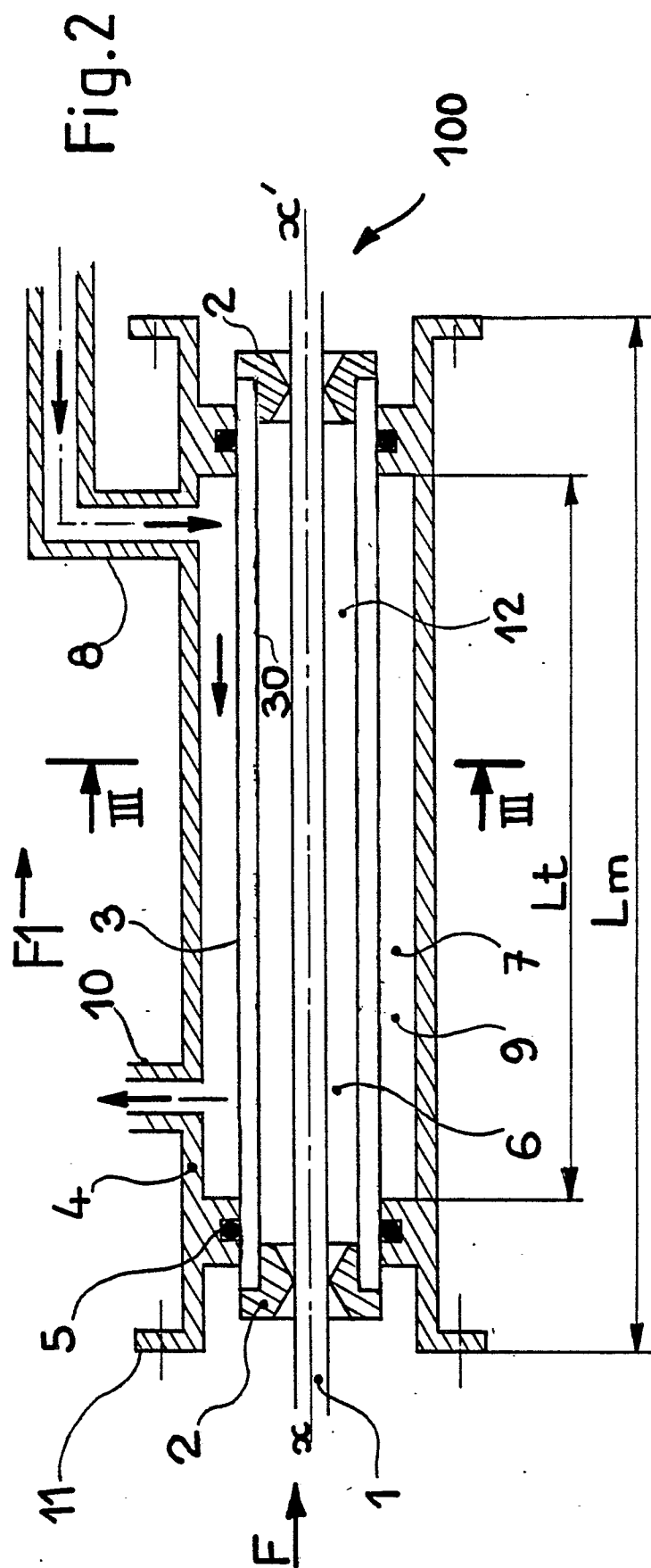


Fig.4

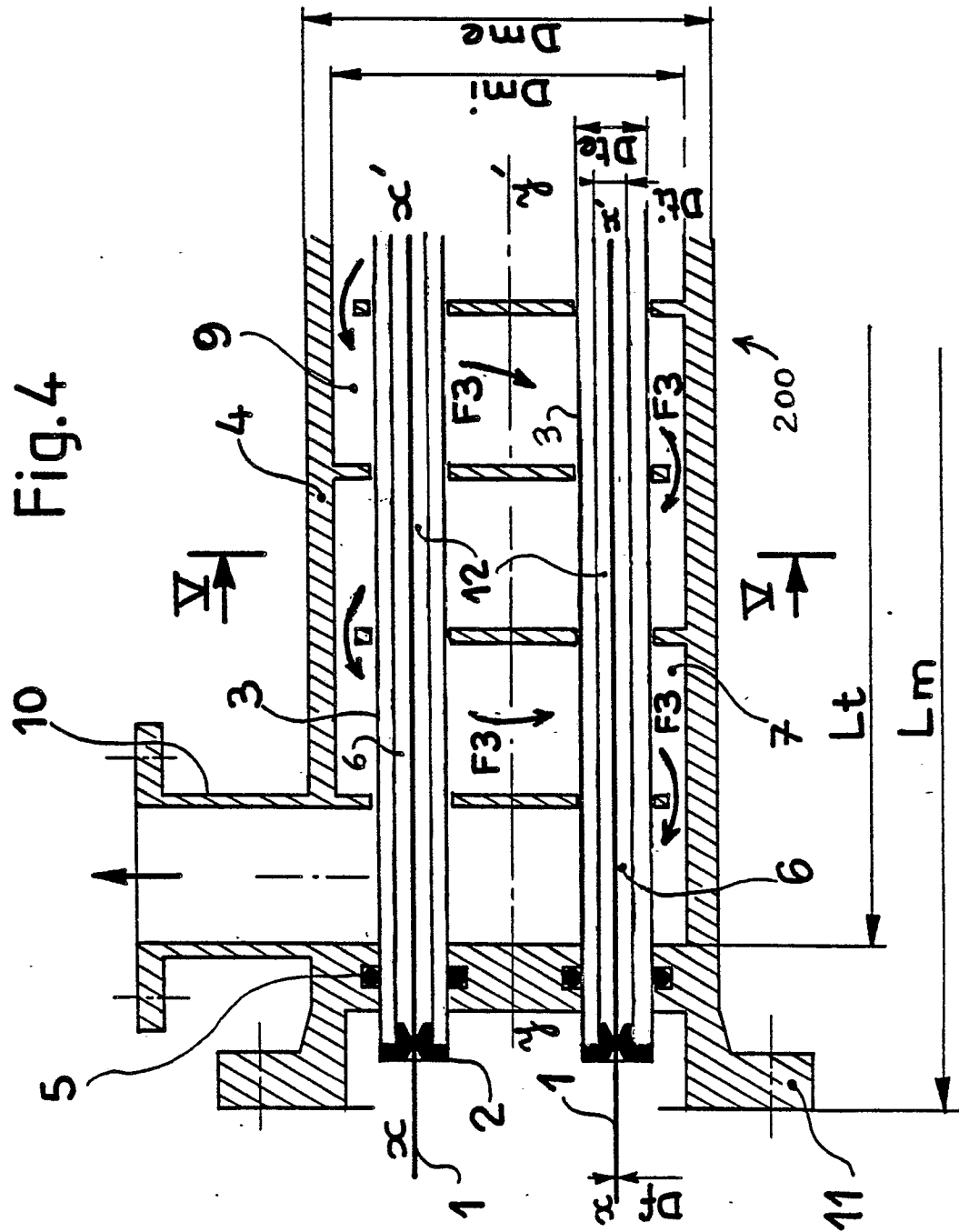


Fig.5

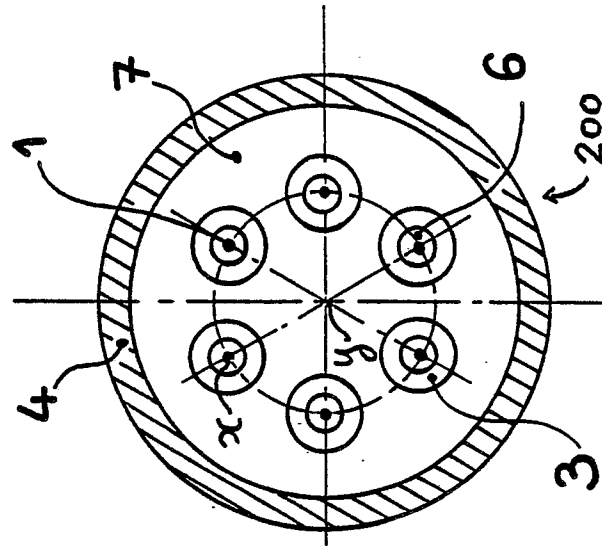


Fig.6

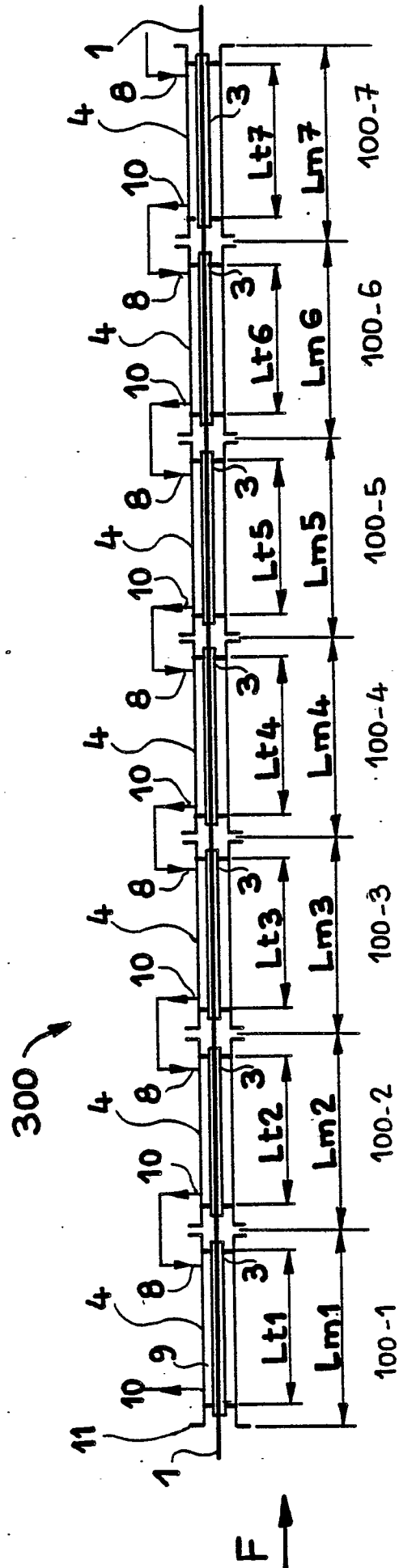


Fig. 7

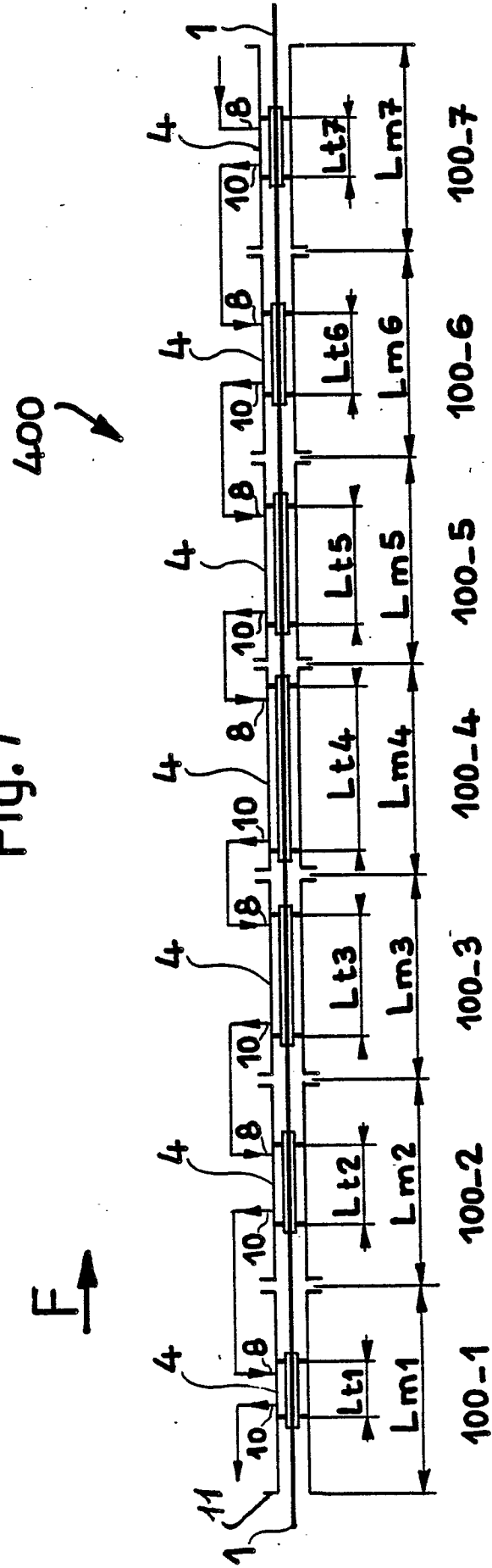


Fig.8

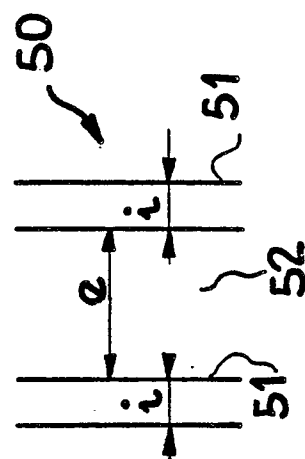
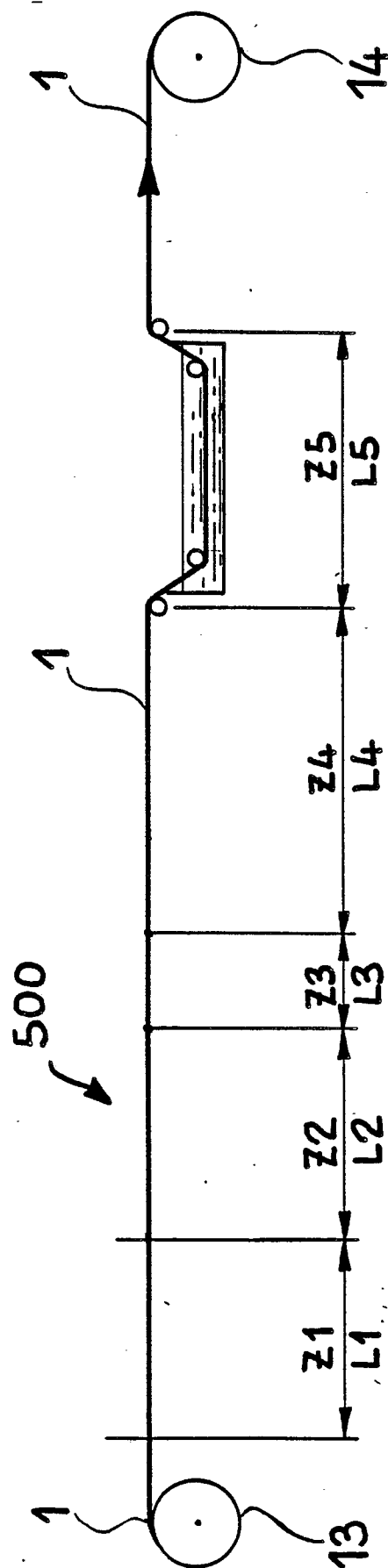


Fig.9



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 89 10 0781

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
A	DE-A-2 111 631 (PIRELLI) ---		C 21 D 9/573
A	DE-C- 712 842 (SIEMENS) ---		C 21 D 9/64
A	US-A-4 581 512 (K.S. MCGINN et al.) ---		
A	FR-A-2 300 810 (LE FOUR INDUSTRIEL BELGE) -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			C 21 D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 28-04-1989	Examineur MOLLET G.H.J.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			