



⑫ **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet :
13.04.94 Bulletin 94/15

⑤① Int. Cl.⁵ : **C21D 8/06, C22C 38/00**

②① Numéro de dépôt : **91901457.1**

②② Date de dépôt : **18.12.90**

⑧⑥ Numéro de dépôt international :
PCT/FR90/00920

⑧⑦ Numéro de publication internationale :
WO 91/09933 11.07.91 Gazette 91/15

⑤④ **FIL D'ACIER AYANT UNE STRUCTURE DE TYPE BAINITE INFERIEURE ECROUIE; PROCEDE POUR PRODUIRE CE FIL.**

③⑦ Priorité : **22.12.89 FR 8917227**

④③ Date de publication de la demande :
07.10.92 Bulletin 92/41

④⑤ Mention de la délivrance du brevet :
13.04.94 Bulletin 94/15

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

⑤⑥ Documents cités :
DD-A- 138 886
US-A- 3 674 570
US-A- 4 563 222
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 13, no. 42 (C-564)(3390), 30 January 1989; & JP-A-63 241136 (Sumitomo Metal Ind.) 6 October 1988

⑤⑥ Documents cités :
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 3, no. 100 (C-56)(94), 24 August 1979; & JP-A-5479119 (Kobe Seikosho) 23 June 1979
STAHL UND EISEN, vol. 70, no. 2, 10 January 1950, A. Pomp et al.: "Die Anwendbarkeit der isothermen Härtung bei der Herstellung unlegierter Stahldrähte", page 57

⑦③ Titulaire : **COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN - MICHELIN & CIE**
12, Cours Sablon
F-63040 Clermont-Ferrand Cédex (FR)

⑦② Inventeur : **ARNAUD, Jean-Claude**
Rue des Ecoles
F-63530 Tourtoule (FR)
Inventeur : **PRUDENCE, Bernard, Pierre**
Chemin du Puy-S.-Romain
F-63270 S.-Maurice-sur-Allier (FR)

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

EP 0 506 768 B1

Il est rappelé que : Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

L'invention concerne les fils métalliques et les procédés pour obtenir ces fils. Ces fils sont utilisés par exemple pour renforcer des articles en matières plastiques ou en caoutchouc, notamment des tuyaux, des courroies, des nappes, des enveloppes de pneumatiques.

Les fils de ce type couramment utilisés actuellement sont constitués d'acier contenant au moins 0,6 % de carbone, cet acier ayant une structure perlitique écrouie. La résistance à la rupture de ces fils est environ de 2800 MPa (mégapascals), leur diamètre varie en général de 0,15 à 0,35 mm, et leur allongement à la rupture est compris entre 0,4 et 2 %. Ces fils sont réalisés par tréfilage d'un fil de départ, dit "fil machine", dont le diamètre est de l'ordre de 5 à 6 mm, la structure de ce fil machine étant une structure dure, constituée de perlite et de ferrite avec un fort taux de perlite qui est en général supérieur à 72 %. Lors de la réalisation de ce fil, on interrompt au moins une fois l'opération de tréfilage pour effectuer un ou plusieurs traitements thermiques qui permettent de régénérer la structure initiale.

Ce procédé présente les inconvénients suivants :

- la matière première est coûteuse, car le taux de carbone est relativement élevé ;
- les paramètres ne peuvent pas être modifiés facilement, en particulier le diamètre du fil machine et le diamètre final sont maintenus dans des limites rigides, le procédé manquant donc de souplesse ;
- la grande dureté du fil machine due à sa structure fortement perlitique rend le tréfilage difficile, avant le traitement thermique, de telle sorte que le taux de déformation ε de ce tréfilage est nécessairement inférieur à 3 ; d'autre part les vitesses de ce tréfilage sont faibles et il peut y avoir des casses du fil lors de cette opération.

D'autre part, les fils eux-mêmes ont une résistance à la rupture parfois insuffisante, et leur résistance à la fatigue est limitée, par suite probablement d'un endommagement de ces fils lors du tréfilage avant le traitement thermique, à cause de la grande dureté du fil machine.

La demande de brevet japonais publiée sous le n° 54-79119 décrit un procédé pour préparer un fil en acier au bore de structure bainitique par chauffage dans un lit fluidisé. Les fils obtenus se caractérisent par des propriétés mécaniques faibles.

Les Patent Abstract of Japan, Vol. 13, n° 42 (C-564) (3390) du 30 janvier 1989 et JP-A-63241136 décrivent un fil à teneur élevée en carbone (0,7 à 0,9 %), ce fil ayant une structure de bainite supérieure.

Le document Stahl u. Eisen, Vol. 70, n° 2, du 19 janvier 1950, pages 52-57 décrit la réalisation de fils d'acier par tréfilage et traitement thermique. Les taux de déformation décrits dans ce document sont faibles

et les valeurs mécaniques peu élevées données correspondent à des diamètres de fils très élevés, d'environ 1 mm.

Le but de l'invention est de proposer un fil métallique écroui ayant une structure non perlitique et présentant une résistance à la rupture et un allongement à la rupture au moins aussi élevés que les fils d'acier perlitiques écrouis connus, et un plus faible endommagement que les fils connus.

Un autre but de l'invention est de proposer pour réaliser ce fil un procédé qui ne présente pas les inconvénients précités.

Le fil métallique conforme à l'invention ayant un diamètre de 0,10 à 0,40 mm, une résistance à la rupture au moins égale à 2 800 MPa, et un allongement à la rupture au moins égal à 0,4 %, présente les caractéristiques suivantes :

- a) il est constitué au moins en partie par un acier ayant une teneur en carbone au moins égale à 0,1 % et au plus égale à 0,6 %, et une teneur en bore inférieure à 8 ppm (parties par million) ;
- b) l'acier du fil présente une structure de type bainite inférieure écrouie.

Le procédé conforme à l'invention pour produire ce fil est caractérisé par les points suivants :

- a) on écrouit un fil machine en acier, cet acier ayant une teneur en carbone au moins égale à 0,1 % et au plus égale à 0,6 % et une teneur en bore inférieure à 8 ppm (parties par million), cet acier comportant de 28 % à 90 % de ferrite proeutectoïde et de 72 % à 10 % de perlite ; le taux de déformation ε de cet écrouissage étant au moins égal à 3 ;
- b) on arrête l'écrouissage et on effectue un traitement thermique structural unique sur le fil écroui ; ce traitement consiste à chauffer le fil au dessus du point de transformations AC3 pour lui donner une structure d'austénite homogène, puis à le refroidir rapidement à une température comprise entre 350°C et 450°C, la vitesse de ce refroidissement étant au moins égale à 250°C/seconde, et à le maintenir dans cette plage de température pendant un temps au moins égal à 30 secondes, de façon à obtenir une structure de type bainite inférieure comportant des précipités de carbures répartis de façon pratiquement homogène dans une matrice ferritique ;
- c) on refroidit le fil à une température inférieure à 0,3 T_F, T_F étant la température de fusion de l'acier, exprimée en Kelvin ;
- d) on effectue un écrouissage sur le fil ayant subi ce traitement thermique, la température du fil lors de cet écrouissage étant inférieure à 0,3 T_F, le taux de déformation ε de cet écrouissage étant au moins égal à 3.

L'invention concerne également les assemblages comportant au moins un fil conforme à l'invention.

L'invention concerne également les articles renforcés au moins en partie par des fils ou des assemblages conformes aux définitions précédentes, de tels articles étant par exemple des tuyaux, des courroies, des nappes, des enveloppes de pneumatiques.

L'invention sera aisément comprise à l'aide des exemples de réalisation qui suivent, et des figures toutes schématiques relatives à ces exemples.

Sur le dessin :

- la figure 1 représente la structure de l'acier d'un fil avant traitement thermique, lors de la mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention ;
- la figure 2 représente la structure de l'acier d'un fil après traitement thermique, lors de la mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention ;
- la figure 3 représente la structure de l'acier d'un fil conforme à l'invention.

Dans ce qui suit, tous les pourcentages et ppm de composition indiqués sont en poids et les mesures de résistance à la rupture et d'allongement à la rupture sont effectuées selon la méthode AFNOR NFA 03-151.

Par définition, le taux de déformation ε d'un écrouissage est donné par la formule $\varepsilon = \ln \frac{S_0}{S_f}$,

$\ln$ étant le logarithme népérien,

S_0 étant la section initiale du fil avant cet écrouissage et

S_f étant la section du fil après cet écrouissage.

Le but des exemples qui suivent est de décrire la préparation et les propriétés de trois fils conformes à l'invention.

On utilise dans ces exemples un fil machine non écroui de 5,5 mm de diamètre. Ce fil machine est constitué d'un acier dont les caractéristiques sont les suivantes :

- teneur en carbone : 0,4 %
- teneur en bore : inférieure à 8 ppm ;
- teneur en manganèse : 0,4 % ;
- teneur en silicium : 0,2 % ;
- teneur en phosphore : 0,015 % ;
- teneur en soufre : 0,02 % ;
- teneur en aluminium : 0,015 % ;
- teneur en azote : 0,005 % ;
- teneur en chrome : 0,05 % ;
- teneur en nickel : 0,10 % ;
- teneur en cuivre : 0,10 % ;
- teneur en molybdène : 0,01 % ;
- teneur en ferrite proeutectoïde : 53 %
- teneur en perlite : 47 %
- température de fusion de l'acier, T_F : 1795 K
- résistance à la rupture R_m : 700 MPa ;
- allongement à la rupture A_r : 17 %

On réalise avec ce fil machine trois fils conformes à l'invention de la façon suivante :

Exemple 1

On décalamine le fil machine, on l'enduit d'un savon de tréfilage, par exemple du borax, et on le tréfille à sec pour obtenir un fil de diamètre 1,1 mm, ce qui correspond à un taux de déformation ε légèrement supérieur à 3,2.

Le tréfilage est réalisé facilement grâce à la structure relativement ductile du fil machine. A titre d'exemple, un acier à 0,7 % de carbone non écroui présente une résistance à la rupture R_m d'environ 900 MPa et un allongement à la rupture de 8 % environ, c'est-à-dire qu'il est nettement moins ductile.

Le tréfilage précédemment décrit est effectué à une température inférieure à $0,3 T_F$, dans un but de simplification, bien que cela ne soit pas indispensable, la température de tréfilage pouvant éventuellement égaler ou dépasser $0,3 T_F$.

La figure 1 représente la coupe longitudinale d'une portion 1 de la structure du fil ainsi obtenue. Cette structure est constituée de blocs allongés 2 de cémentite et de blocs allongés 3 de ferrite, la plus grande dimension de ces blocs étant orientée dans la direction de tréfilage.

On effectue alors sur le fil ainsi obtenu le traitement thermique suivant :

- on chauffe le fil pour le porter à 900°C, c'est-à-dire au dessus du point de transformation AC3, et on le maintient pendant 1 minute à cette température de façon à obtenir une structure d'austénite homogène ;
- on refroidit ensuite le fil à 400°C dans un bain de sel en moins de 2 secondes, et on maintient le fil à cette température pendant 1 minute, puis on le refroidit à environ 20°C, c'est-à-dire à la température ambiante.

La figure 2 représente une coupe d'une portion 4 de la structure du fil ainsi obtenu. Cette structure, de type bainite inférieure, est constituée de précipités de carbure 5, répartis de façon pratiquement homogène dans une matrice 6 de ferrite. Cette structure est obtenue grâce au traitement thermique précédent, et elle est conservée lors du refroidissement à la température ambiante. Les précipités 5 ont en général des dimensions au moins égales à 0,005 μm (micromètre) et au plus égales à 0,5 μm .

Le fil ainsi obtenu par ce traitement thermique et ce refroidissement à la température ambiante est revêtu d'une couche de laiton. L'épaisseur de cette couche de laiton est faible (de l'ordre du μm) et elle est négligeable par rapport au diamètre du fil avant laitonage. On réalise ensuite un tréfilage humide de ce fil de façon à obtenir un diamètre final de 0,2 mm, ce qui correspond pratiquement à $\varepsilon = 3,4$. Le tréfilage est facilité par la couche de laiton. La température du fil, lors de ce tréfilage, est nécessairement inférieure à $0,3 T_F$.

La figure 3 représente une coupe longitudinale

de la portion 7 de ce fil conforme à l'invention ainsi obtenu. Cette portion 7 présente une structure de type bainite inférieure écrouie constituée de carbures 8 de forme allongée qui sont pratiquement parallèles entre eux et dont la plus grande dimension est orientée selon l'axe du fil, c'est-à-dire selon la direction de tréfilage schématisée par la flèche F à la figure 3. Ces carbures 8 sont disposés dans une matrice ferritique écrouie 9.

Ce fil conforme à l'invention a une résistance à la rupture de 3200 MPa et un allongement à la rupture de 0,7 %.

Exemple 2

On décalamine le fil machine, on l'enduit d'une couche de savon de tréfilage, par exemple du borax, et on le tréfile à sec pour obtenir un fil de diamètre 0,9 mm, ce qui correspond à un taux de déformation ε légèrement supérieur à 3,6. La structure obtenue est analogue à celle représentée à la figure 1. On effectue alors sur le fil ainsi obtenu le traitement thermique suivant :

- on chauffe le fil de la même façon que dans l'exemple 1 pour obtenir une structure d'austénite homogène ;
- on refroidit ensuite le fil à 370°C en moins de 2 secondes et on le maintient à cette température pendant 90 secondes, puis on le refroidit à la température ambiante.

La structure obtenue est analogue à celle représentée à la figure 2. On laitonne alors le fil et on le tréfile de façon analogue à l'exemple 1 pour obtenir un diamètre final de 0,17 mm, ce qui correspond pratiquement à $\varepsilon = 3,3$. La température du fil lors de ce tréfilage est inférieure à 0,3 T_F. Le fil conforme à l'invention ainsi obtenu a une structure analogue à celle représentée à la figure 3.

Ce fil a une résistance à la rupture égale à 3000 MPa et un allongement à la rupture égal à 0,9 %.

Exemple 3

On réalise un fil conforme à l'invention de la même façon que dans l'exemple 1 mais avec la différence que le tréfilage effectué après le traitement thermique est poursuivi jusqu'au diamètre final de 0,17 mm, ce qui correspond pratiquement à $\varepsilon = 3,7$. Ce fil conforme à l'invention a une résistance à la rupture égale à 3500 MPa et un allongement à la rupture égal à 0,7 %. Les structures intermédiaires et la structure finale sont analogues aux structures précédemment décrites.

L'invention présente les avantages suivants :

- on part d'un fil machine à faible taux de carbone, et donc d'un coût peu élevé ;
- on bénéficie d'une grande souplesse dans le choix des diamètres des fils, c'est ainsi par

exemple qu'on peut utiliser des fils machines dont le diamètre est notablement supérieur à 6 mm, ce qui réduit encore les coûts, et on peut réaliser des fils très variés en diamètre ;

- le tréfilage avant le traitement thermique structural est relativement aisé, de telle sorte que le taux de déformation ε de ce tréfilage peut être supérieur à 3 ; d'autre part, ce tréfilage peut être réalisé avec des vitesses élevées ; enfin on réduit la fréquence des casses de fils et des changements de filières, ce qui réduit encore les coûts ;
- le fil obtenu présente une résistance à la rupture et un allongement à la rupture de valeurs au moins égales à celles des fils classiques, ce qui se traduit donc par une énergie de rupture au moins égale à celle des fils classiques ;
- le fil est moins endommagé lors du tréfilage avant traitement thermique ;
- le fil obtenu présente une meilleure résistance à la corrosion que les fils classiques par suite de sa faible teneur en carbone.

De préférence, l'acier du fil conforme à l'invention a une teneur en carbone au moins égale à 0,2 % et au plus égale à 0,5 %.

De préférence, dans l'acier du fil conforme à l'invention et donc dans le fil machine de départ, on a les compositions suivantes : $0,3 \% \leq \text{Mn} \leq 0,6 \%$; $0,1 \% \leq \text{Si} \leq 0,3 \%$; $\text{P} \leq 0,02 \%$; $\text{S} \leq 0,02 \%$; $\text{Al} \leq 0,02 \%$; $\text{N} \leq 0,006 \%$.

Avantageusement dans l'acier du fil conforme à l'invention et donc dans le fil machine de départ, on a les relations suivantes : $\text{Cr} \leq 0,06 \%$; $\text{Ni} \leq 0,15 \%$; $\text{Cu} \leq 0,15 \%$; $\text{Mo} \leq 0,015 \%$.

De préférence, dans le procédé conforme à l'invention, on a au moins une des caractéristiques suivantes :

- le fil machine de départ a une teneur en carbone au moins égale à 0,2 % et au plus égale à 0,5 % ;
- le fil machine de départ a une teneur en ferrite proeutectoïde au moins égale à 41 %, et au plus égale à 78 % et une teneur en perlite au moins égale à 22 % et au plus égale à 59 % ;
- le taux de déformation ε lors de l'écrouissage avant le traitement thermique structural est au plus égal à 6 ;
- le taux de déformation ε lors de l'écrouissage après le traitement thermique structural est au plus égal à 4,5.

Dans les exemples précédemment décrits, le fil après traitement thermique était laitonné pour faciliter son tréfilage, cependant l'invention couvre les cas où on utilise d'autres coulants de tréfilage que le lait, par exemple le cuivre, le zinc, les alliages ternaires cuivre-zinc-nickel, cuivre-zinc-cobalt, cuivre-zinc-étain, ces coulants étant autres que l'acier.

L'écrouissage du fil dans les exemples précé-

dents est réalisé par tréfilage, mais d'autres techniques sont possibles, par exemple un laminage, associé éventuellement à un tréfilage, pour au moins une des opérations d'écrouissage.

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

Revendications

1. Fil métallique ayant un diamètre de 0,10 à 0,40 mm, une résistance à la rupture au moins égale à 2 800 MPa, et un allongement à la rupture au moins égal à 0,4 %, ce fil étant caractérisé par les points suivants :

a) il est constitué au moins en partie par un acier ayant une teneur en carbone au moins égale à 0,1 % et au plus égale à 0,6 %, et une teneur en bore inférieure à 8 ppm (parties par million) ;

b) l'acier du fil présente une structure de type bainite inférieure écrouie.

2. Fil métallique selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'acier a une teneur en carbone au moins égale à 0,2 % et au plus égale à 0,5 %.

3. Fil métallique selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'acier vérifie les relations suivantes : $0,3 \% \leq \text{Mn} \leq 0,6 \%$; $0,1 \% \leq \text{Si} \leq 0,3 \%$; $\text{P} \leq 0,02 \%$; $\text{S} \leq 0,02 \%$; $\text{Al} \leq 0,02 \%$; $\text{N} \leq 0,006 \%$.

4. Fil métallique selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'acier vérifie les relations suivantes : $\text{Cr} \leq 0,06 \%$; $\text{Ni} \leq 0,15 \%$; $\text{Cu} \leq 0,15 \%$; $\text{Mo} \leq 0,015 \%$.

5. Fil métallique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il est revêtu d'une couche métallique autre que l'acier.

6. Fil métallique selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il est revêtu d'une couche de laiton.

7. Procédé pour produire un fil métallique conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé par les points suivants :

a) on écrouit un fil machine en acier, cet acier ayant une teneur en carbone au moins égale à 0,1 % et au plus égale à 0,6 % et une teneur en bore inférieure à 8 ppm (parties par million), cet acier comportant de 28 % à 90 % de ferrite proeutectoïde et de 72 % à 10 % de perlite ; le taux de déformation ε de cet écrouissage étant au moins égal à 3 ;

b) on arrête l'écrouissage et on effectue un traitement thermique structural unique sur le

fil écroui ; ce traitement consiste à chauffer le fil au dessus du point de transformations AC3 pour lui donner une structure d'austénite homogène, puis à le refroidir rapidement à une température comprise entre 350°C et 450°C, la vitesse de ce refroidissement étant au moins égale à 250°C/seconde, et à le maintenir dans cette plage de température pendant un temps au moins égal à 30 secondes, de façon à obtenir une structure de type bainite inférieure comportant des précipités de carbures répartis de façon pratiquement homogène dans une matrice ferritique ;

c) on refroidit le fil à une température inférieure à $0,3 T_F$, T_F étant la température de fusion de l'acier, exprimée en Kelvin ;

d) on effectue un écrouissage sur le fil ayant subi ce traitement thermique, la température du fil lors de cet écrouissage étant inférieure à $0,3 T_F$, le taux de déformation ε de cet écrouissage étant au moins égal à 3.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que le fil machine a une teneur en carbone au moins égale à 0,2 % et au plus égale à 0,5 %.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que le fil machine vérifie les relations suivantes : $0,3 \% \leq \text{Mn} \leq 0,6 \%$; $0,1 \% \leq \text{Si} \leq 0,3 \%$; $\text{P} \leq 0,02 \%$; $\text{S} \leq 0,02 \%$; $\text{Al} \leq 0,02 \%$; $\text{N} \leq 0,006 \%$.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le fil machine vérifie les relations suivantes : $\text{Cr} \leq 0,06 \%$; $\text{Ni} \leq 0,15 \%$; $\text{Cu} \leq 0,15 \%$; $\text{Mo} \leq 0,015 \%$.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que l'on effectue un revêtement métallique autre que l'acier sur le fil, après le traitement thermique structural avant écrouissage.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que ce revêtement est un revêtement de laiton.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 12, caractérisé en ce que le fil machine a une teneur en ferrite proeutectoïde au moins égale à 41 % et au plus égale à 78 %, et une teneur en perlite au moins égale à 22 % et au plus égale à 59 %.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 13, caractérisé en ce que le taux de déformation ε lors de l'écrouissage avant le traite-

ment thermique structural est au moins égal à 3 et au plus égal à 6.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 14, caractérisé en ce que le taux de déformation ε lors de l'écrouissage après le traitement thermique structural est au moins égal à 3 et au plus égal à 4,5. 5
16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 15, caractérisé en ce qu'au moins un écrouissage est effectué au moins en partie par tréfilage. 10
17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 16, caractérisé en ce que la structure de type bainite inférieure, obtenue après le refroidissement rapide, est telle que les précipités de carbure ont en général des dimensions au moins égales à 0,005 μm (micromètre) et au plus égale à 0,5 μm . 15
18. Assemblage comportant au moins un fil conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 6. 25
19. Article renforcé avec au moins un fil conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 6.
20. Article renforcé avec au moins un assemblage conforme à la revendication 18. 30
21. Article selon l'une quelconque des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce qu'il est une enveloppe de pneumatique. 35

Patentansprüche

1. Metalldraht mit einem Durchmesser von 0,10 bis 0,40 mm, einer Bruchfestigkeit von wenigstens 2800 MPa und einer Bruchdehnung von wenigstens 0,4 %, **dadurch gekennzeichnet**, daß
 - a) der Draht wenigstens teilweise aus einem Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt von wenigstens 0,1 % und höchstens 0,6 % und einem Borgehalt unter 8 ppm (Teile pro Million) besteht; 45
 - b) der Stahl des Drahtes ein kaltverformtes Gefüge der unteren Zwischenstufe aufweist. 50
2. Metalldraht nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Stahl einen Kohlenstoffgehalt von mindestens 0,2 % und höchstens 0,5 % hat. 55
3. Metalldraht nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

daß der Stahl den folgenden Beziehungen genügt: $0,3 \% \leq \text{Mn} \leq 0,6 \%$; $0,1 \% \leq \text{Si} \leq 0,3 \%$; $\text{P} \leq 0,02 \%$; $\text{S} \leq 0,02 \%$; $\text{Al} \leq 0,02 \%$; $\text{N} \leq 0,006 \%$.

4. Metalldraht nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Stahl den folgenden Beziehungen genügt: $\text{Cr} \leq 0,06 \%$; $\text{Ni} \leq 0,15 \%$; $\text{Cu} \leq 0,15 \%$; $\text{Mo} \leq 0,015 \%$.
5. Metalldraht nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß er mit einer von Stahl verschiedenen metallischen Schicht überzogen ist.
6. Metalldraht nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er mit einer Messingschicht überzogen ist.
7. Verfahren zur Herstellung eines Metalldrahts nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **gekennzeichnet** durch die Schritte:
 - a) Kaltverformen eines Maschinendrahts aus Stahl, wobei der Stahl einen Kohlenstoffgehalt von wenigstens 0,1 % und höchstens 0,6 % und einen Borgehalt unter 8 ppm (Teile pro Million) hat, wobei der Stahl 28 % bis 90 % proeutektoiden Ferrit und 72 % bis 10 % Perlit aufweist; und wobei das Verformungsverhältnis ε dieser Kaltverformung wenigstens gleich 3 ist;
 - b) Anhalten der Kaltverformung und Durchführen einer einzelnen strukturellen Wärmebehandlung des kaltverformten Drahts, wobei diese Wärmebehandlung darin besteht, den Draht über den Transformationspunkt AC3 aufzuheizen, um ihm eine homogene Austenitstruktur zu geben, ihn anschließend schnell auf eine Temperatur zwischen 350 °C und 450 °C abzukühlen, wobei die Geschwindigkeit der Abkühlung wenigstens 250 °C pro Sekunde beträgt und ihn in diesem Temperaturbereich während eines Zeitraums von wenigstens 30 Sekunden zu halten, um ein Gefüge der unteren Zwischenstufe mit praktisch homogen in einer ferritischen Matrix verteilten Carbidausfällungen zu erhalten;
 - c) Abkühlen des Drahts auf eine Temperatur unter $0,3 T_F$, wobei T_F die Schmelztemperatur des Stahls ist, ausgedrückt in Kelvin;
 - d) Durchführen einer Kaltverformung des Drahts nach der Wärmebehandlung, wobei die Temperatur des Drahts bei dieser Kaltverformung unter $0,3 T_F$ liegt und das Verformungsverhältnis ε dieser Kaltverformung wenigstens gleich 3 ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Maschinendraht einen Kohlenstoffgehalt von wenigstens 0,2 % und höchstens 0,5 % hat. 5
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Maschinendraht die folgenden Beziehungen erfüllt: $0,3 \% \leq \text{Mn} \leq 0,6 \%$; $0,1 \% \leq \text{Si} \leq 0,3 \%$; $\text{P} \leq 0,02 \%$; $\text{S} \leq 0,02 \%$; $\text{Al} \leq 0,02 \%$; $\text{N} \leq 0,006 \%$. 10
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Maschinendraht die folgenden Beziehungen erfüllt: $\text{Cr} \leq 0,06 \%$; $\text{Ni} \leq 0,15 \%$; $\text{Cu} \leq 0,15 \%$; $\text{Mo} \leq 0,015 \%$. 15
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß nach der strukturellen Wärmebehandlung und vor der Kaltverformung ein von Stahl verschiedener metallischer Überzug auf den Draht aufgebracht wird. 20 25
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Überzug ein Messingüberzug ist. 30
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Maschinendraht einen Gehalt an proeutektoidem Ferrit von wenigstens 41 % und höchstens 78 % und einen Gehalt an Perlit von wenigstens 22 % und höchstens 59 % hat. 35
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Verformungsverhältnis ε der Kaltverformung vor der strukturellen Wärmebehandlung wenigstens gleich 3 und höchstens gleich 6 ist. 40
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Verformungsverhältnis ε bei der Kaltverformung nach der strukturellen Wärmebehandlung wenigstens gleich 3 und höchstens gleich 4,5 ist. 45 50
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Kaltverformung wenigstens teilweise durch Ziehen vorgenommen wird. 55
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das nach dem schnellen Abkühlen erhaltene Gefüge der unteren Zwischenstufe so ist, daß die

Carbidausfällungen im allgemeinen Ausmaße von wenigstens 0,005 μm und höchstens 0,5 μm haben.

18. Verband mit wenigstens einem Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 6.
19. Verstärkter Artikel mit wenigstens einem Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 6.
20. Verstärkter Artikel mit wenigstens einem Verband nach Anspruch 18.
21. Artikel nach einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß er ein Reifenmantel ist.

Claims

1. A metal wire having a diameter of 0.10 to 0.40 mm, a resistance to rupture of at least 2,800 MPa, and an elongation upon rupture of at least 0.4%, this wire being characterised by the following features:
 - (a) it is formed at least in part by a steel having a carbon content of at least 0.1% and of at most 0.6%, and a boron content of less than 8 ppm (parts per million);
 - (b) the steel of the wire has a strain-hardened lower bainite-type structure.
2. A metal wire according to Claim 1, characterised in that the steel has a carbon content of at least 0.2% and at most 0.5%.
3. A metal wire according to any one of Claims 1 or 2, characterised in that the steel satisfies the following relationships: $0.3\% \leq \text{Mn} \leq 0.6\%$; $0.1\% \leq \text{Si} \leq 0.3\%$; $\text{P} \leq 0.02\%$; $\text{S} \leq 0.02\%$; $\text{Al} \leq 0.02\%$; $\text{N} \leq 0.006\%$.
4. A metal wire according to Claim 3, characterised in that the steel satisfies the following relationships: $\text{Cr} \leq 0.06\%$; $\text{Ni} \leq 0.15\%$; $\text{Cu} \leq 0.15\%$; $\text{Mo} \leq 0.015\%$.
5. A metal wire according to any one of Claims 1 to 4, characterised in that it is coated with a metal layer other than steel.
6. A metal wire according to Claim 5, characterised in that it is coated with a layer of brass.
7. A method of producing a metal wire according to any one of Claims 1 to 6, characterised by the following features:
 - (a) a steel machine wire having a carbon con-

- tent of at least 0.1% and at most 0.6% and a boron content of less than 8 ppm (parts per million) is strain-hardened, said steel comprising 28% to 90% proeutectoid ferrite and 72% to 10% perlite; the deformation ratio ε of this strain-hardening being at least equal to 3;
- (b) the strain-hardening is stopped and a single structural heat treatment is carried out on the strain-hardened wire; this treatment consists in heating the wire to above the AC3 transformation point in order to impart to it a homogenous austenite structure, then cooling it rapidly to a temperature of between 350°C and 450°C, the rate of this cooling being at least equal to 250°C/second, and maintaining it within this temperature range for a period of time of at least 30 seconds so as to obtain a structure of lower bainite type having carbide precipitates distributed practically homogeneously in a ferrite matrix;
- (c) the wire is cooled to a temperature below 0.3 T_F, T_F being the melting point of the steel expressed in Kelvin;
- (d) strain-hardening is carried out on the wire which has undergone this heat treatment, the temperature of the wire upon this strain-hardening being less than 0.3 T_F, the deformation ratio ε of this strain-hardening being at least equal to 3.
8. A method according to Claim 7, characterised in that the machine wire has a carbon content of at least 0.2% and at most 0.5%.
9. A method according to any one of Claims 7 or 8, characterised in that the machine wire satisfies the following relationships: $0.3\% \leq \text{Mn} \leq 0.6\%$; $0.1\% \leq \text{Si} \leq 0.3\%$; $\text{P} \leq 0.02\%$; $\text{S} \leq 0.02\%$; $\text{Al} \leq 0.02\%$; $\text{N} \leq 0.006\%$.
10. A method according to Claim 9, characterised in that the machine wire satisfies the following relationships: $\text{Cr} \leq 0.06\%$; $\text{Ni} \leq 0.15\%$; $\text{Cu} \leq 0.15\%$; $\text{Mo} \leq 0.015\%$.
11. A method according to any one of Claims 7 to 10, characterised in that a metal coating other than steel is effected on the wire after the structural heat treatment before strain-hardening.
12. A method according to Claim 11, characterised in that said coating is a coating of brass.
13. A method according to any one of Claims 7 to 12, characterised in that the machine wire has a proeutectoid ferrite content of at least 41% and at most 78% and a perlite content of at least 22% and at most 59%.
14. A method according to any one of Claims 7 to 13, characterised in that the deformation ratio ε upon the strain-hardening before the structural heat treatment is at least 3 and at most 6.
15. A method according to any one of Claims 7 to 14, characterised in that the deformation ratio ε upon the strain-hardening after the structural heat treatment is at least 3 and at most 4.5.
16. A method according to any one of Claims 7 to 15, characterised in that at least one strain-hardening operation is effected at least in part by drawing.
17. A method according to any one of Claims 7 to 16, characterised in that the structure of lower bainite type obtained after the rapid cooling is such that the carbide precipitates have, in general, dimensions of at least 0.005 μm (micrometre) and at most 0.5 μm .
18. An assembly comprising at least one wire according to any one of Claims 1 to 6.
19. An article reinforced with at least one wire according to any one of Claims 1 to 6.
20. An article reinforced with at least one assembly according to Claim 18.
21. An article according to any one of Claims 19 or 20, characterised in that it is an automobile tyre.

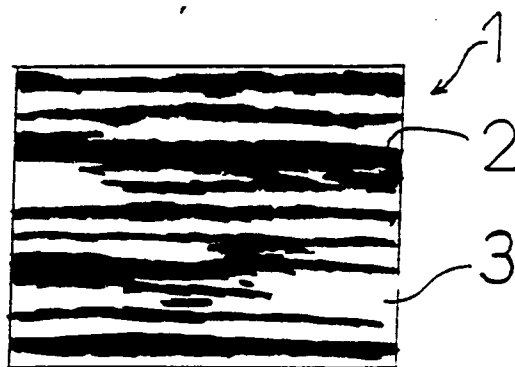


Fig. 1

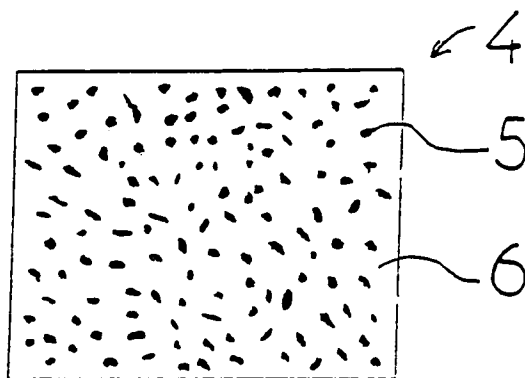


Fig. 2

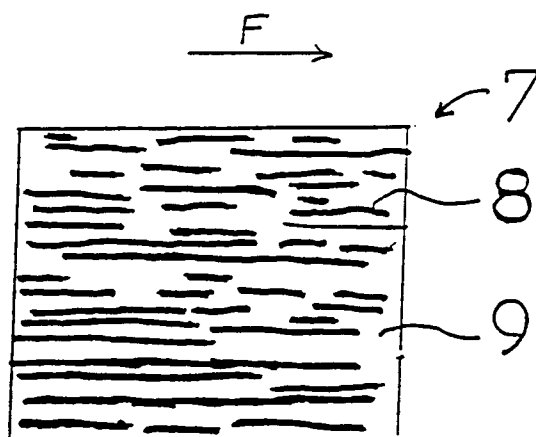


Fig. 3