



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **92400092.0**

(51) Int. Cl.⁵ : **C21D 1/18, C21D 6/00,
C22C 38/08**

(22) Date de dépôt : **14.01.92**

Une requête en rectification d'une erreur dans l'expression "log V1 =..." a été présentée conformément à la règle 88 CBE. Il est statué sur cette requête au cours de la procédure engagée devant la division d'examen (Directives relatives à l'examen pratiqué à l'OEB, A-V, 2.2).

(30) Priorité : **31.01.91 FR 9101112**

(43) Date de publication de la demande :
05.08.92 Bulletin 92/32

(84) Etats contractants désignés :
DE GB IT NL SE

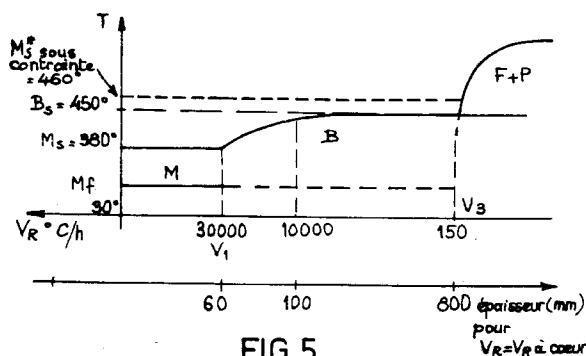
(71) Demandeur : **CREUSOT-LOIRE INDUSTRIE**
Immeuble Ile-de-France 4 Place de la
Pyramide La Défense 9
F-92800 Puteaux (FR)

(72) Inventeur : **Blondeau, Régis**
26, rue du Morvan
F-71200 Le Creusot (FR)
Inventeur : **Bourges, Philippe**
7 Promenade Saint Henri
F-71200 Le Creusot (FR)

(74) Mandataire : **Bouget, Lucien et al**
Cabinet Lavoix 2, Place d'Estienne d'Orves
F-75441 Paris Cédex 09 (FR)

(54) **Procédé de fabrication de blocs ou pièces massives en acier et pièces obtenues.**

(57) On définit un traitement de trempe pour atteindre les caractéristiques voulues dans une partie au moins du bloc ou pièce massive. On détermine les vitesses de refroidissement V_{RC} et V_{RP} du bloc à coeur et en peau pendant la trempe. On réalise le bloc en un acier dont la composition chimique a été ajustée de manière à obtenir une structure martensitique à coeur, sous l'effet de déformations induites par la trempe, bien que la vitesse de refroidissement à coeur V_{RC} du bloc ou pièce soit inférieure à la vitesse critique de transformation martensitique. Un revenu approprié est effectué après la trempe. Les blocs ou pièces présentent en tout point des caractéristiques mécaniques de traction élevées et une bonne ténacité et sont soudables. Le procédé permet de définir une famille d'aciers satisfaisant aux conditions imposées par la trempe et présentant un carbone équivalent minimal.



La présente invention concerne un procédé de fabrication de blocs ou pièces massives en acier présentant en tout point des caractéristiques mécaniques de traction élevées, une bonne ténacité et une bonne soudabilité.

L'invention concerne également la définition d'une famille d'aciers permettant la mise en oeuvre du procédé et les blocs ou pièces obtenues par le procédé.

5 L'homme de métier sait que, au moins pour les aciers hypoeutectoïdes faiblement ou moyennement alliés, les meilleures caractéristiques mécaniques sont obtenues par un traitement thermique de trempe suivie d'un revenu qui confère au bloc ou à la pièce une structure martensitique. C'est ainsi que sont obtenus tous les blocs ou pièces à haute caractéristique mécanique et bonne ténacité.

10 Cependant, ce procédé présente des limites. En effet, pour un acier déterminé, l'homme de métier considère que la vitesse de refroidissement en tout point du bloc ou de la pièce au cours de la trempe doit être supérieure à une vitesse V_1 dite vitesse critique martensitique. Or, plus un bloc ou une pièce est massif, plus la vitesse de refroidissement à coeur est faible, et ceci du simple fait des lois du transfert de chaleur.

15 Lorsqu'il doit réaliser des blocs ou pièces très massifs, l'homme de métier est ainsi amené à augmenter la trempabilité de l'acier, c'est-à-dire à diminuer la vitesse critique martensitique et pour cela à augmenter de façon significative les teneurs en carbone et en éléments d'alliage. Mais, ce faisant, il détériore d'autant plus la soudabilité qu'il augmente les teneurs en éléments d'addition.

L'homme de métier peut certes améliorer la soudabilité en gardant de bonnes caractéristiques de traction en agissant sur les conditions de réalisation du traitement de revenu. Mais alors il se trouve dans l'impossibilité d'obtenir de bonnes propriétés de ténacité en particulier à basse température.

20 Toutes ces contradictions induisent des limitations bien connues et nombreuses. A titre d'exemple, l'un des meilleurs aciers connus, destiné à faire des pièces épaisses et ayant une limite d'élasticité $R_{e0,2}$ supérieure ou égale à 900 MPa n'a des propriétés garanties en limite d'élasticité que pour des épaisseurs inférieures ou égales à 4" soit 101,6 mm, sa résilience n'est garantie que pour des températures supérieures ou égales à -18°C et il est difficilement soudable.

25 Un autre exemple est celui des aciers cryogéniques, par exemple l'acier à 9 % de nickel. Un tel acier permet d'obtenir de bonnes résiliences jusqu'à -196°C, mais sa limite d'élasticité est limitée à environ 600 MPa et sur des épaisseurs inférieures ou égales à 50 mm ; par contre il est bien soudable.

30 Le but de la présente invention est donc de proposer un procédé de fabrication de pièces massives en acier et de détermination d'une famille d'aciers qui, en sortant des limites de la technique actuelle, permette de réaliser des blocs ou des pièces ayant un compromis limite d'élasticité, ténacité à basse température, soudabilité nettement amélioré par rapport à ce que l'on sait faire aujourd'hui et cela pour des blocs ou des pièces très massifs.

35 L'objet de la présente invention est un procédé de fabrication d'un bloc ou d'une pièce massive en acier ayant en tout point des caractéristiques mécaniques de traction élevées et une bonne ténacité et qui soit soudable.

Selon l'invention :

- on définit un traitement de trempe pour atteindre les caractéristiques mécaniques voulues dans une partie au moins du bloc ou de la pièce massive,
- 40 – on détermine les vitesses de refroidissement V_{RP} et V_{RC} du bloc ou de la pièce massive dans sa partie externe ou peau et dans sa partie centrale ou coeur, pendant la trempe, en fonction de la géométrie du bloc ou de la pièce.
- on réalise le bloc ou la pièce massive en un acier dont la composition chimique pondérale a été ajustée de manière que :
 - 45 . l'écart entre le point B_S et le point M_S soit inférieur à 100°C, B_S étant la température de début de transformation bainitique de l'acier et M_S , la température de début de transformation martensitique,
 - . la vitesse critique V_3 de début de transformation en ferrite et perlite de l'acier soit inférieure à la vitesse de refroidissement à coeur V_{RC} du bloc ou de la pièce massive,
 - . la vitesse critique V_1 de transformation martensitique soit inférieure à la vitesse de refroidissement en peau V_{RP} du bloc ou de la pièce massive,
 - 50 . le carbone équivalent de l'acier soit le plus faible possible,
- on effectue la trempe prédéterminée sur le bloc ou la pièce massive, de manière à obtenir une structure martensitique à coeur, sous l'effet de déformations induites dans la pièce, par la trempe,
- et on complète cette trempe par un revenu approprié.

55 L'invention est également relative à une pièce massive ou bloc en acier ayant une structure entièrement martensitique après trempe et revenu, bien que la trempe soit réalisée dans des conditions de mise en oeuvre telles que la vitesse de refroidissement à coeur de la pièce soit inférieure à la vitesse critique de transformation martensitique de l'acier.

De préférence, la trempe est une trempe à l'eau. L'acier permettant de mettre en oeuvre l'invention a une

composition chimique déterminée en résolvant le problème de programmation mathématique dans lequel on cherche à minimiser le carbone équivalent :

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

5 tout en satisfaisant au moins aux trois contraintes suivantes :

$$B_S - M_S = 245 + 204 C + 155 Si - 57 Mn - 20 Ni - 53 Cr - 62 Mo \leq \Delta\theta \quad (1)$$

avec $\Delta\theta \leq 100^\circ C$

$$\log V_1 = 9,81 - 4,62 C_{eq} - 0,265 Mn - 0,52 Ni + 0,425 Cr + 0,265 Mo + 0,925 V \leq \log V_{RP} (m) \quad (2)$$

$$\log V_3 = 6,36 - 0,43 C_{eq} - 0,42 Mn - 0,78 Ni - 0,19 Cr - 0,3 Mo - 2 \sqrt{Mo} < \log V_{RC} (m). \quad (3)$$

10 m représentant la massivité du bloc ou de la pièce.

A ces contraintes, on peut ajouter soit séparément soit simultanément deux contraintes supplémentaires :

– l'une relative à la dureté :

$$H_{vm} = 232 + 293 C + 11 Si - 9,5 Mn - 4,8 Ni + 3,8 Cr + 80 Mo + 532 V \geq H_{Vo} \quad (4)$$

15

– l'autre relative à la température de transition ductile fragile :

$$\begin{aligned} T_c = & 162 + 530 C^2 - 540 Si - 161 Mn - 48 Ni - 138 \sqrt{Mo} \\ & + 10 \frac{H_{vm}}{3} (0,141 Mo + 0,053 Ni + 0,243 Mn + 0,710 Si \\ & - 0,408 C - 0,278) \leq T_o \end{aligned} \quad (5)$$

20

H_{Vo} et T_o sont des valeurs que l'homme de métier choisit pour définir les caractéristiques mécaniques qu'il recherche sur la pièce.

25

Ce problème de programmation mathématique est complété par des contraintes définissant le domaine de validité des formules, à savoir :

30

$$C \leq 0,2 \%$$

$$Si \leq 0,5 \%$$

$$Mn \leq 1 \%$$

$$4 \% \leq Ni \leq 8 \%$$

35

$$Cr \leq 1 \%$$

$$Mo \leq 1 \%$$

$$V \leq 0,15 \%$$

$$Cu \leq 0,3 \%$$

40

Ces limitations des teneurs en éléments d'alliage de l'acier constituent des conditions préférentielles mais il est possible d'envisager l'utilisation d'intervalles de compositions plus larges.

Un tel acier mis en oeuvre par le procédé objet de l'invention permet d'obtenir une structure martensitique à coeur sur des blocs ou pièces dont la massivité m est telle que la vitesse de refroidissement à coeur V_{RC} (m) lors de la trempe est inférieure à la vitesse critique martensitique V_1 .

45

Pour améliorer la ténacité d'un tel acier, on peut, de préférence, ajouter au moins 0,3 % de Mo, au moins 0,07 % de V, au moins 0,015 % d'Al, et limiter la teneur en azote à au plus 0,015 %.

De préférence cet acier contient moins de 0,01 % de P et moins de 0,01 % de S.

L'invention, enfin, est relative à tout bloc ou toute pièce fabriquée en appliquant le procédé selon l'invention, en utilisant un acier défini dans le cadre de la mise en oeuvre de ce procédé.

50

La figure 1 est un schéma représentant la répartition des vitesses de refroidissement à l'intérieur de deux plaques refroidies par une trempe.

La figure 2 est un exemple de diagramme TRC (Transformation en Refroidissement Continu) d'un acier.

La figure 3 représente la variation de dureté d'un acier en fonction de la vitesse de refroidissement au cours d'une trempe.

55

La figure 4 représente la variation de dureté à l'intérieur de plaques trempées.

La figure 5 est un schéma explicatif du principe de l'invention.

La description qui va suivre, sans être limitative, va faire mieux comprendre l'invention.

Tout d'abord, il faut définir ce que l'on entend par massivité et les conséquences de cette massivité sur le comportement d'un bloc de métal au cours d'un traitement de trempe.

La massivité d'un bloc est une dimension qui caractérise les transferts de chaleur à l'intérieur de ce bloc.

5 Pour une plaque par exemple, cette dimension est l'épaisseur ; pour un cylindre, c'est le diamètre ; pour un bloc de forme quelconque c'est une dimension que l'homme de métier sait déterminer au vu du dessin du bloc.

Lorsqu'un bloc préalablement chauffé à haute température est trempé, par exemple à l'eau, d'une part la vitesse de refroidissement moyenne du bloc est d'autant plus faible que le bloc est massif, et d'autre part l'écart de vitesse de refroidissement entre le coeur et la surface est d'autant plus grand que la massivité est grande.

10 C'est ce qu'indique la figure 1. En conséquence, pour des conditions de trempe déterminées, plus le bloc sera massif, plus la vitesse de refroidissement à coeur sera faible.

Pour étudier l'effet d'une trempe sur un bloc d'acier de massivité déterminée, l'homme de métier utilise un diagramme de Transformation en Refroidissement Continu ou diagramme TRC tel que représenté à la figure 2.

15 Un point du bloc d'acier a_1 dont la vitesse de refroidissement V_R est supérieure à V_1 (domaine 1) aura en fin de trempe une structure martensitique ; si cette vitesse est comprise entre V_1 et V_3 , la structure sera principalement bainitique ; si la vitesse est inférieure à V_3 la structure sera de la ferrite-perlite.

A ce diagramme TRC, on peut faire correspondre un diagramme représenté à la figure 3 et représentant une caractéristique mécanique telle que la dureté en fonction de la structure : c'est pour la martensite que cette caractéristique est la plus élevée, elle décroît lorsque l'on entre dans le domaine bainitique et arrive à un plateau inférieur pour le domaine ferrite-perlite.

Sur les figures 2 et 3, on a représenté les diagrammes correspondant à deux aciers : a_1 ayant une vitesse critique de trempe V_1 et a_2 , plus trempant que a_1 , ayant une vitesse critique de trempe $V_1^* < V_1$.

20 En examinant simultanément les figures 1, 2 et 3, on peut voir qu'avec l'acier a_1 , la plaque d'épaisseur $2e_1$ sera entièrement martensitique, alors que la plaque d'épaisseur $2e_2$ ne le sera, sur chaque face, que sur une profondeur $p_2 < e_2$. Avec l'acier a_2 par contre, les deux plaques seront entièrement martensitiques.

Ceci permet de tracer les courbes de répartition de caractéristiques mécaniques à l'intérieur des deux plaques représentées à la figure 4.

30 Ainsi, lorsqu'il cherche des caractéristiques mécaniques élevées sur des pièces massives, l'homme de métier est conduit à utiliser des aciers d'autant plus trempants que la pièce est massive. Mais ce faisant, il se heurte aux difficultés décrites dans l'introduction.

Or, le déposant a constaté, de façon surprenante, qu'un acier dont la composition chimique est la suivante :

C = 0,095 %

Si = 0,2 %

35 Mn = 0,25 %

Ni = 8 %

Cr = 0,2 %

Mo = 0,3 %

40 permet d'obtenir une structure entièrement martensitique même à coeur sur des blocs ou des plaques de 400 mm d'épaisseur trempés à l'eau alors que sa vitesse critique de trempe V_1 est d'environ 32000°C/h, ce qui correspond à une profondeur de trempe (ou massivité) de 60 mm. Selon les principes connus de l'homme de métier pour obtenir une structure martensitique à coeur d'un bloc de 400 mm d'épaisseur trempé à l'eau, il aurait fallu que la vitesse critique de trempe ait été inférieure à 700°C/h.

45 Le document STAHL UND EISEN, vol 96 n° 23 du 18 novembre 1976, pages 1168 à 1176, indique que des contraintes hydrostatiques importantes modifient le diagramme TRC en retardant les transformations non martensitiques, mais l'effet qui est décrit ne suffit pas à expliquer le phénomène observé.

En effet, le décalage de vitesse critique de trempe provoqué par les contraintes hydrostatiques n'est pas suffisant. De plus, dans une plaque de forte épaisseur, le système de contraintes engendré par le refroidissement et la transformation martensitique n'est pas hydrostatique mais comporte une forte composante de cisaillement particulièrement dans la zone en cours de transformation.

On sait que des contraintes de cisaillement favorisent la transformation martensitique et élèvent le point M_s , température de début de transformation martensitique. Cette élévation peut atteindre 80°C ou 100°C. On sait également qu'un début de transformation martensitique inhibe la transformation bainitique.

55 Le diagramme TRC de l'acier pris en exemple présente une particularité : le point M_s est d'environ 380° et le domaine bainitique du diagramme TRC comporte un plateau pour le point B_s de début de transformation bainitique situé à environ 450°C. Il n'y a que 70°C entre le point M_s et le point B_s .

Le déposant a fait l'hypothèse que les contraintes de cisaillement engendrées dans la plaque par le refroidissement et par la transformation martensitique élevaient de 80° à 100°C le point M_s si bien que tout le long

du plateau bainitique la transformation martensitique débute avant la transformation bainitique et inhibe cette transformation. Ainsi il est possible d'obtenir une structure martensitique même pour des vitesses de refroidissement beaucoup plus faibles que la vitesse critique de trempe V_1 et pratiquement jusqu'à des vitesses de refroidissement voisines de la vitesse critique V_3 de transformation en ferrite-perlite.

5 Ce phénomène a l'avantage de permettre d'obtenir de hautes caractéristiques mécaniques sur des blocs massifs avec des aciers ayant une très bonne soudabilité.

Pour apprécier la soudabilité d'un acier, l'homme de métier utilise généralement le critère de carbone équivalent :

$$10 \quad C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Plus le carbone équivalent est faible, meilleur est la soudabilité, mais plus le carbone équivalent est faible plus la trempabilité est faible, c'est-à-dire plus la vitesse critique de trempe V_1 est grande.

L'acier pris en exemple a un carbone équivalent $C_{eq} = 0,77$ et une vitesse critique de trempe V_1 de 32000°C/h. Il a permis d'obtenir sur une plaque de 400 mm d'épaisseur une structure entièrement martensitique jusqu'à coeur ayant, après un revenu réalisé entre 450°C et A_{c1} , une limite d'élasticité d'environ 900 MPa et une résilience à 60°C de 45 Joules.

Si l'acier avait été utilisé selon les principes connus de l'homme de métier, il aurait fallu qu'il ait une vitesse critique de trempe inférieure à 700°C/h soit un carbone équivalent supérieur ou égal à 0,94, c'est-à-dire 22 % plus élevé que celui de l'acier réellement utilisé et donc correspondant à une soudabilité considérablement détériorée par rapport à celle réellement constatée.

L'invention consiste à utiliser le phénomène qui vient d'être décrit. On notera que, dans tout ce qui suit, les diagrammes TRC, les vitesses critiques de trempe, les températures de début de transformation sont les diagrammes et les grandeurs mesurées dans les conditions habituelles, c'est-à-dire en l'absence de contraintes.

25 L'invention est donc un procédé qui consiste :

– à tremper, par exemple à l'eau, un bloc ou une pièce massifs constitués d'un acier dont :

. l'écart entre le point B_S et le point M_S est inférieur à une certaine valeur, inférieure à 100°C,

. la vitesse critique martensitique V_1 est inférieure à une vitesse de refroidissement critique du bloc ou de la pièce, par exemple la vitesse de refroidissement en peau V_{RP} imposée par la trempe.

30 . la vitesse critique de début de transformation ferrite-perlite V_3 est inférieure à la vitesse de refroidissement à coeur V_{RC} du bloc ou de la pièce.

– la composition chimique étant ajustée pour minimiser le carbone équivalent compte tenu des contraintes précédentes,

35 – à effectuer, après trempe, un traitement thermique de revenu, à une température comprise entre 450°C et A_{c1} de façon à ajuster les caractéristiques mécaniques de traction et de ténacité.

Les conditions de la trempe sont déterminées en fonction du type d'acier utilisé, des caractéristiques mécaniques visées, des possibilités techniques de trempe et de la géométrie de la pièce.

L'ajustement des caractéristiques mécaniques de traction et de résilience se fait à l'aide d'un traitement thermique de revenu dont les conditions sont déterminées au cas par cas en appliquant les règles de l'art.

40 Si on appelle m la massivité d'un bloc ou d'une pièce, V_{RC} la vitesse de refroidissement à coeur et V_{RP} la vitesse de refroidissement en peau de ce bloc ou de cette pièce, pour des conditions de trempe données, l'homme de métier sait déterminer $V_{RC}(m)$ et $V_{RP}(m)$, et par la suite, on considèrera cette grandeur comme connue.

45 Pour mettre en oeuvre le procédé objet de l'invention, il faut utiliser une famille d'aciers définie dans le cadre de l'invention. Cette famille va maintenant être décrite.

Tout d'abord, on exprimera la soudabilité par le critère de carbone équivalent :

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

A l'aide de la composition pondérale de l'acier, on peut calculer :

50 – la vitesse critique de trempe martensitique V_1

$$\log V_1 = 9,81 - 4,62 C_{eq} - 0,265 Mn - 0,23 Ni + 0,425 Cr + 0,265 Mo + 0,925 V$$

– la vitesse critique de transformation en ferrite-perlite V_3

$$\log V_3 = 6,36 - 0,43 C_{eq} - 0,42 Mn - 0,78 Ni - 0,19 Cr - 0,3 Mo - 2 \sqrt{Mo}$$

Ces vitesses critiques sont exprimées en °C/heure.

55 – la valeur du point M_S , début de transformation martensitique en l'absence de contraintes :

$$M_S = 565 - 474 C - 155 Si - 33 Mn - 17 Ni - 17 Cr - 21 Mo$$

– la valeur du point B_S correspondant au plateau de température de début de transformation bainitique :

EP 0 497 642 A1

$$B_S = 810 - 270 C - 90 Mn - 37 Ni - 70 Cr - 83 Mo$$

Des deux formules précédentes on déduit que :

$$B_S - M_S = 245 + 204 C + 155 Si - 57 Mn - 20 Ni - 53 Cr - 62 Mo.$$

Les caractéristiques de l'acier peuvent être également évaluées à l'aide de formules permettant de calculer :

– la dureté de la martensite à l'état trempé revenu (pour un revenu standard à 600 ° C pendant 1 h) :

$$H_{vm} = 232 + 293 C + 11 Si - 9,5 Mn - 4,8 Ni + 3,8 Cr + 80 Mo + 532 V$$

– la température de transition ductile/fragile lors d'un essai de résilience (après un revenu identique à celui défini ci-dessus) :

$$T_c = 162 + 530 C^2 - 540 Si - 161 Mn - 48 Ni - 138 \sqrt{Mo} + \frac{10 \times H}{3}_{vm} (0,141 Mo + 0,053 Ni + 0,243 Mn + 0,710 Si - 0,408 C - 0,278)$$

Ces formules sont toutes valables dans le domaine de composition chimique suivant :

$$C \leq 0,2 \%$$

$$Si \leq 0,5 \%$$

$$Mn \leq 1 \%$$

$$4 \% \leq Ni \leq 8 \%$$

$$Cr \leq 1 \%$$

$$Mo \leq 1 \%$$

$$V \leq 0,15 \%$$

$$Cu \leq 0,3 \%$$

L'acier appartenant à la famille concernée par l'invention devra donc satisfaire, pour un bloc ou une pièce de massivité m au système d'équation suivant :

$$B_S - M_S \leq \Delta\theta \quad (1)$$

$$\log V_1 < \log V_{RP} (m) \quad (2)$$

$$\log V_3 < \log V_{RC} (m) \quad (3)$$

et C_{eq} minimal.

Il s'agit d'un problème classique de programmation mathématique.

De préférence on prendra $\Delta\theta = 100^\circ C$.

Ce système d'équation peut être complété pour tenir compte :

– soit de la dureté visée H_V et on ajoutera une contrainte supplémentaire :

$$H_{vm} \geq H_V \text{ visée.}$$

– soit de la température de transition souhaitée pour la résilience T_o et on ajoutera une contrainte :

$$T_c \leq T_o.$$

– soit des deux contraintes précédentes.

De préférence, le problème de programmation mathématique que l'on résoud comprendra cinq contraintes :

$$B_S - M_S \leq \Delta\theta \quad (1)$$

$$\log V_1 < \log V_{RP} (m) \quad (2)$$

$$\log V_3 < \log V_{RC} (m) \quad (3)$$

$$H_{vm} \geq H_V \text{ visée} \quad (4)$$

$$T_c \leq T_o \quad (5)$$

et l'on minimisera le carbone équivalent, C_{eq} minimal.

Cette résolution se faisant dans le domaine de validité des formules tel qu'il est défini plus haut.

De plus, la ténacité peut être affectée par une coségrégation aux joints des grains de phosphore accompagné de manganèse, chrome, nickel. Mais le phosphore peut être piégé à l'intérieur des grains par du molybdène pour autant que celui-ci ne réagisse pas avec le carbone, ces réaction ayant lieu au cours du revenu.

Afin d'améliorer la ténacité de l'acier, on ajoute simultanément :

– au moins 0,3 % de Mo pour piéger le phosphore,

– au moins 0,070 % de V pour piéger le carbone par formation de précipités de carbures de vanadium.

– au moins 0,015 % d'Al

– au plus 0,015 % d'azote,
de façon, d'une part à former des nitrures d'aluminium pour contrôler le grain au cours de l'austénitisation, d'autre part à piéger suffisamment d'azote à l'aide de l'aluminium pour favoriser la réaction du vanadium avec le carbone de préférence à une réaction avec l'azote et de ce fait laisser du molybdène libre pour piéger le phosphore.

Il est également souhaitable de limiter les teneurs en P et S.

On aura de préférence :

$$P < 0,01 \%$$

$$S < 0,01 \%$$

afin d'améliorer la résilience.

On obtient ainsi, par exemple, un acier dont la composition pondérale est :

$$C = 0,101 \%$$

$$Si = 0,198 \%$$

$$Mn = 0,273 \%$$

$$Ni = 5,943 \%$$

$$Cr = 0,205 \%$$

$$Mo = 0,471 \%$$

$$V = 0,083 \%$$

$$Cu = 0,107 \%$$

$$P < 0,010 \%$$

$$S < 0,010 \%$$

Un tel acier a une vitesse critique martensitique V_1 de : 71°C/s qui correspond à la vitesse de refroidissement à coeur d'une plaque d'épaisseur 25 mm trempée à l'eau.

Or cet acier permet d'obtenir une structure martensitique à coeur de plaques d'épaisseur d'au moins 40 mm, ce qui, pour l'homme de métier, aurait exigé une vitesse critique de trempe V_1 inférieure à 28°C/s.

L'acier pris en exemple a un carbone équivalent de $C_{eq} = 0,702 \%$.

Si la vitesse critique V_1 avait été inférieure à 28°C/s le carbone équivalent aurait été de :

$$C_{eq} = 0,788 \text{ soit } 12 \% \text{ de plus et la soudabilité aurait été détériorée d'autant.}$$

Après une trempe et un revenu à 620°C de l'acier pris en exemple on obtient les caractéristiques mécaniques suivantes :

$$R_{e0,2} = 995 \text{ MPa}, R_m = 1048 \text{ MPa},$$

$$K_{CV} = 81 \text{ Joules à } -85^\circ\text{C}.$$

Ce qui est un résultat excellent.

De plus, pour améliorer les performances de ces aciers on peut :

– limiter les teneurs en As, Sb, Sn pour améliorer la ténacité,

– ajouter du Ti, Zr, Nb, B, Co, W pour améliorer les caractéristiques de traction ou augmenter la trempabilité sans modifier le carbone équivalent (c'est notamment le cas pour le B).

L'invention concerne également tous les blocs ou pièces réalisées à l'aide du procédé objet de l'invention en utilisant un acier conforme à l'invention.

Ces blocs ou pièces présentent après trempe et revenu une structure entièrement martensitique, bien que la vitesse de refroidissement à coeur V_{RC} de la pièce pendant la trempe soit inférieure à la vitesse critique de transformation martensitique.

Revendications

1.- Procédé de fabrication d'un bloc ou d'une pièce massive en acier ayant en tout point des caractéristiques mécaniques de traction élevées et une bonne ténacité et qui soit soudable, caractérisé par le fait :

– qu'on définit un traitement de trempe pour atteindre les caractéristiques mécaniques voulues dans une partie au moins du bloc ou de la pièce massive,

– qu'on détermine les vitesses de refroidissement V_{RP} et V_{RC} du bloc ou de la pièce massive dans sa partie externe ou peau et dans sa partie centrale ou coeur, pendant la trempe, en fonction de la géométrie du bloc ou de la pièce.

– qu'on réalise le bloc ou la pièce massive en un acier dont la composition chimique pondérale a été ajustée de manière que :

. l'écart entre le point B_s et le point M_s soit inférieur à 100°C, B_s étant la température de début de transformation bainitique de l'acier et M_s , la température de début de transformation martensitique,

. la vitesse critique V_3 de début de transformation en ferrite et perlite de l'acier soit inférieure à la vitesse

de refroidissement à coeur V_{RC} du bloc ou de la pièce massive,

. la vitesse critique V_1 de transformation martensitique soit inférieure à la vitesse de refroidissement en peau V_{RP} du bloc ou de la pièce massive,

. le carbone équivalent de l'acier est le plus faible possible,

- 5 – qu'on effectue la trempe prédéterminée sur le bloc ou la pièce massive, de manière à obtenir une structure martensitique à coeur, sous l'effet de déformations induites dans la pièce, par la trempe, – et qu'on complète cette trempe par un revenu approprié.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la trempe est une trempe à l'eau.

- 10 3.- Pièce massive ou bloc en acier présentant en tout point des caractéristiques mécaniques de traction élevées et une bonne ténacité après trempe et revenu et qui présente de plus une bonne soudabilité, caractérisée par le fait que la structure de la pièce est entièrement martensitique depuis sa partie externe ou peau, jusqu'à sa partie centrale ou coeur, bien que la trempe soit réalisée dans des conditions de mise en oeuvre telles que la vitesse de refroidissement à coeur V_{RC} de la pièce soit inférieure à la vitesse critique de transformation martensitique, la composition chimique de l'acier étant choisie et ajustée de manière que le carbone équivalent de la composition soit le plus faible possible et que la transformation martensitique puisse se produire à coeur sous l'effet de la déformation induite par la trempe.

15 4.- Pièce selon la revendication 3 obtenue par le procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisée par le fait que la composition chimique pondérale de l'acier satisfait au système de programmation mathématique suivant :

$$20 \quad B_S - M_S = 245 + 204 C + 155 Si - 57 Mn - 20 Ni - 53 Cr - 62 Mo \leq \Delta\theta \text{ avec } \Delta\theta = 100^\circ C$$

$$\log V_1 = 9,81 - 4,62 C_{eq} - 0,265 Mn - 0,52 Ni + 0,425 Cr + 0,265 Mo + 0,925 V \leq \log V_{RP} (m)$$

$$\log V_3 = 6,36 - 0,43 C_{eq} - 0,42 Mn - 0,78 Ni - 0,19 Cr - 0,3 Mo - 2 \sqrt{Mo} < \log V_{RC} (m).$$

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

25 minimal et en ce que :

$$30 \quad \begin{array}{lcl} C & \leq & 0,2 \text{ \%} \\ Si & \leq & 0,5 \text{ \%} \\ Mn & \leq & 1 \text{ \%} \end{array}$$

$$35 \quad \begin{array}{lcl} 4 \text{ \%} \leq Ni & \leq & 8 \text{ \%} \\ Cr & \leq & 1 \text{ \%} \\ Mo & \leq & 1 \text{ \%} \\ V & \leq & 0,15 \text{ \%} \\ 40 \quad Cu & \leq & 0,3 \text{ \%}. \end{array}$$

5.- Pièce selon la revendication 4, caractérisée en outre en ce que sa composition chimique pondérale satisfait à la relation :

$$45 \quad H_{Vm} = 232 + 293 C + 11 Si - 9,5 Mn - 4,8 Ni + 3,8 Cr + 80 Mo + 532 V \geq H_{Vo},$$

H_{Vm} représentant la dureté de la pièce et H_{Vo} une valeur fixée à l'avance en fonction de la limite d'élasticité recherchée pour la pièce.

6.- Pièce selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisée en ce que la composition chimique pondérale satisfait en outre la relation :

$$50 \quad T_c = 162 + 530 C^2 - 540 Si - 161 Mn - 48 Ni - 138 \sqrt{Mo} + 10 \frac{H_{Vm}}{3} (0,141 Mo + 0,053 Ni + 0,243 Mn + 0,710 Si - 0,408 C - 0,278) \leq T_o,$$

T_c étant la température de transition ductile, fragile de l'acier et T_o une valeur souhaitée de la température de transition.

- 55 7.- Pièce selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisée en ce que l'acier contient en outre :
plus de 0,3 % de Mo
plus de 0,07 % de V

EP 0 497 642 A1

une proportion d'Al supérieure ou égale à 0,015 %

une proportion d'azote inférieure à 0,015 %.

8.- Pièce selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, caractérisée en ce que l'acier contient :

moins de 0,01 % de P

moins de 0,01 % de S.

5

10

15

20

25

30

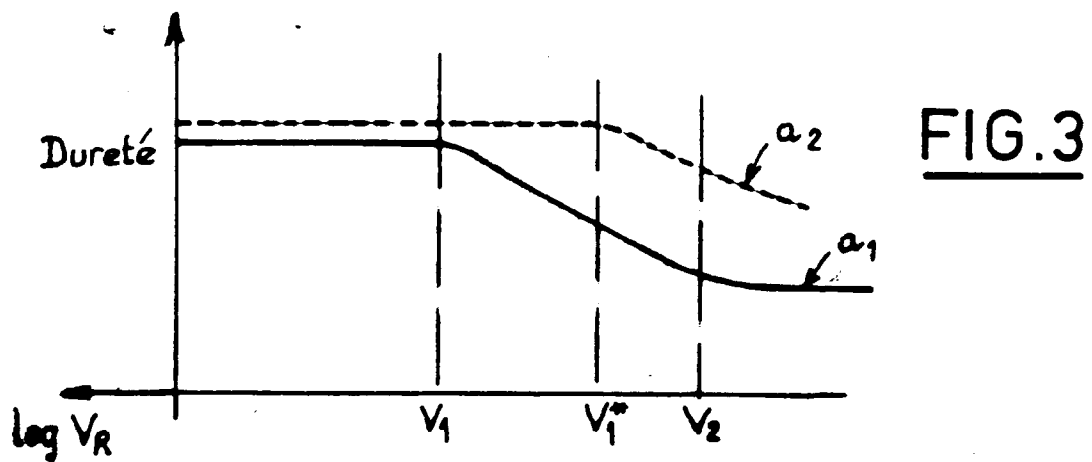
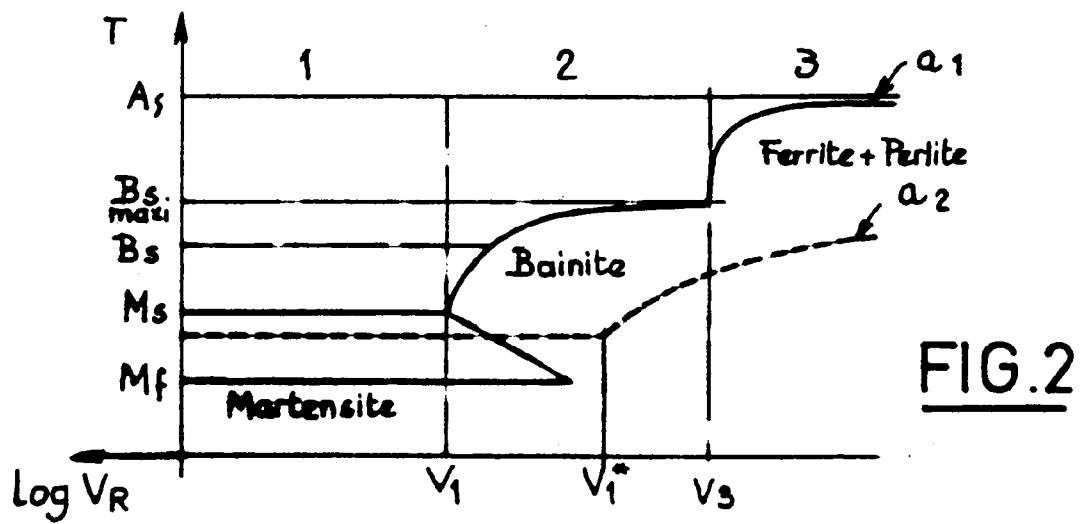
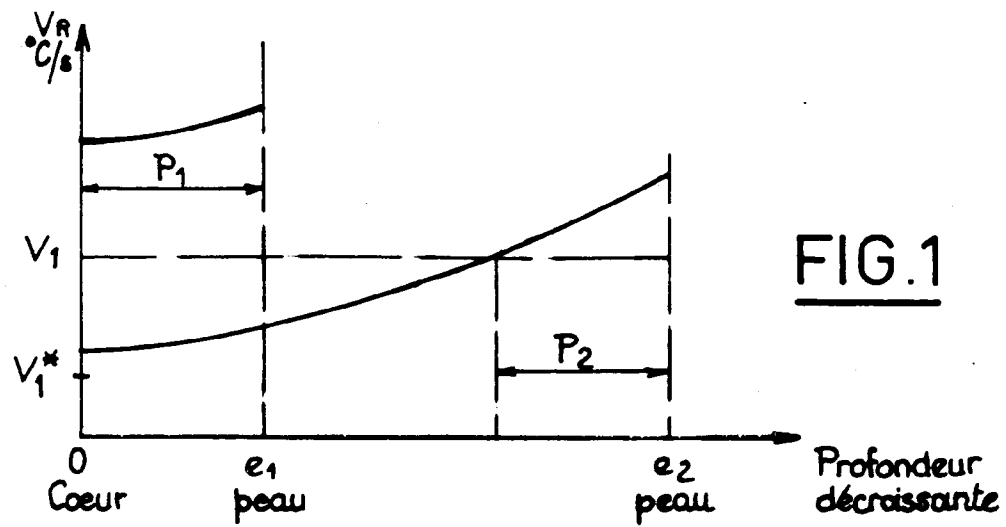
35

40

45

50

55



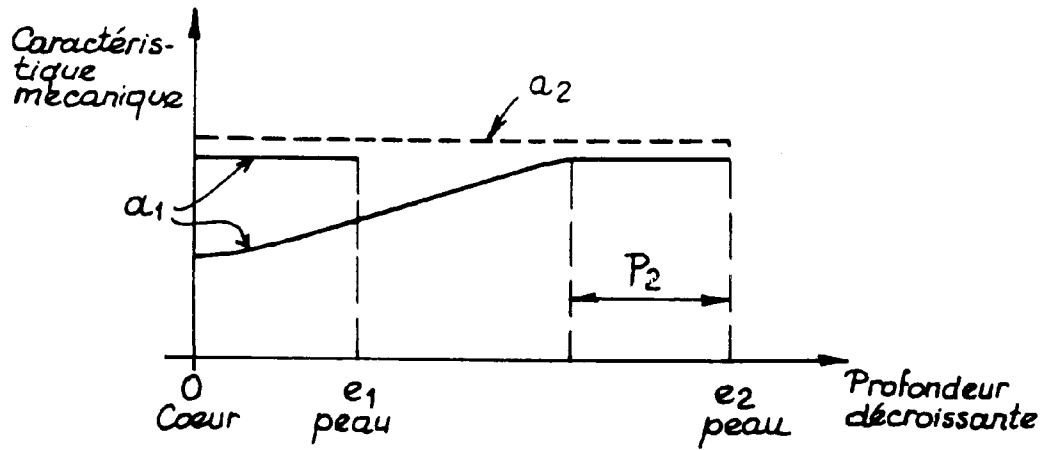


FIG. 4

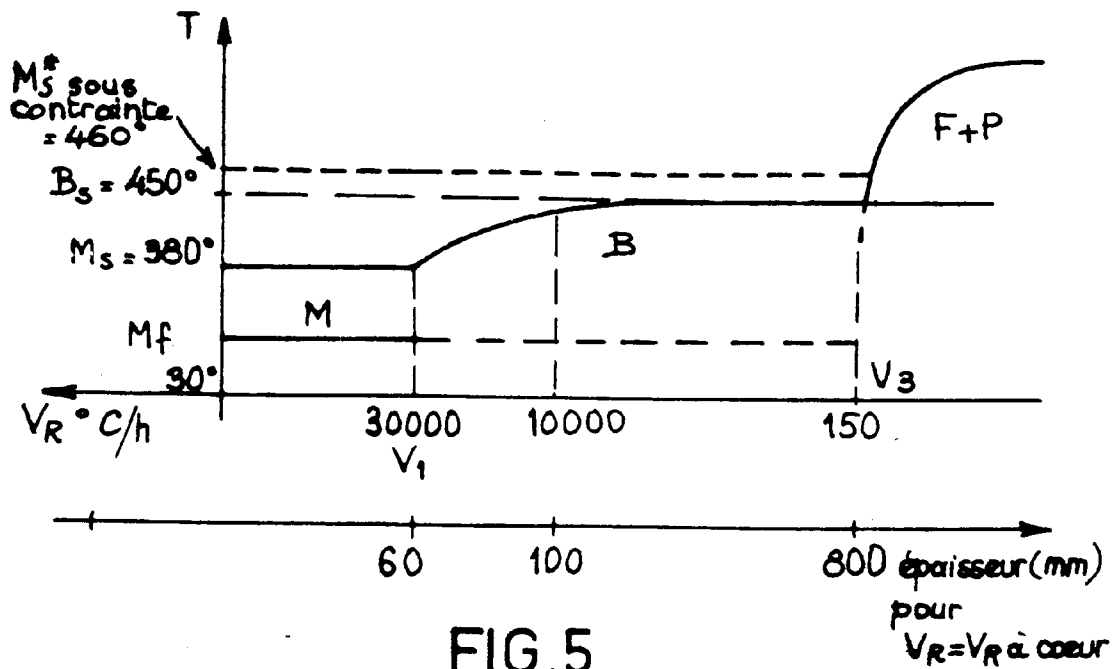


FIG. 5



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 0092

Page 1

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.5)
A	FR-A-2 307 879 (IRSID) ---		C21D1/18
A	US-A-3 444 011 (S. NAGASHIMA ET AL) ---		C21D6/00
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 208 (C-596)(3556) 16 Mai 1989 & JP-A-1 025 951 (KOBE STEEL) 27 Janvier 1989 * abrégé *		C22C38/08
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 11, no. 229 (C-436)(2676) 25 Juillet 1987 & JP-A-62 040 313 (KAWASAKI STEEL) 21 Février 1987 * abrégé *		
A	MEMOIRES SCIENTIFIQUES DE LA REVUE DE METALLURGIE, vol. 84, no. 4, Avril 1987, PARIS FR pages 195 - 204; P. PAHUTA: 'Aciers à structure martensitique pour utilisations cryogéniques'		
A	METAL SCIENCE AND HEAT TREATMENT, vol. 23, no. 3-4, Avril 1981, NEW YORK US pages 229 - 234; P. V. SKLYUEV: 'Methods of calculating critical hardening rates and the hardness of intermediate productions of constructional steels'		C21D C22C
A	VDI ZEITSCHRIFT, vol. 120, no. 17, Septembre 1978, DUSSELDORF DE pages 775 - 789; K. ACHELNIK ET AL: 'Vergütungsstahlguss für Gussstücke mit Wanddicken über 100mm'		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 07 MAI 1992	Examineur MOLLET G. H.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arriére-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	

EPO FORM 1500 03.82 (P0402)



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 0092

Page 2

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.5)
A	STAHL UND EISEN, vol. 96, no. 23, 18 Novembre 1976, DUSSELDORF DE pages 1168 - 1176; E. SCHMIDTMANN ET AL: 'Influence de contraintes de compression sur le comportement à la transformation lors de la trempe de grosses pièces de forge en acier 21CrMoV 5 11' -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 07 MAI 1992	Examineur MOLLET G.H.
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P0402)