



(11)

EP 3 056 583 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

10.05.2017 Bulletin 2017/19

(51) Int Cl.:

C23C 8/26 (2006.01)	C23C 8/02 (2006.01)
C23C 8/80 (2006.01)	C21D 3/04 (2006.01)
C21D 1/06 (2006.01)	C21D 1/25 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)	C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)	C23F 17/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16154536.3**

(22) Date de dépôt: **05.02.2016**

(54) **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE PIÈCE EN ACIER FAIBLEMENT ALLIÉ NITRURÉ**

HERSTELLUNGSVERFAHREN EINES WERKSTÜCKS AUS NIEDRIGLEGIERTEM NITRIERSTAHL

METHOD FOR MANUFACTURING A PART MADE OF NITRIDED LOW-ALLOY STEEL

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

• **BINOT, Nicolas**
64190 ARAUX (FR)

(30) Priorité: **13.02.2015 FR 1551179**

(74) Mandataire: **Laïk, Eric et al**
Cabinet Beau de Loménie
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
17.08.2016 Bulletin 2016/33

(56) Documents cités:
EP-A2- 2 749 666 US-A- 6 074 496

(73) Titulaire: **Safran Landing Systems**
78140 Vélizy-Villacoublay (FR)

• **I. CALLIARI ET AL: "Microstructure of a Nitrided
Steel Previously Decarburized", JOURNAL OF
MATERIALS ENGINEERING AND
PERFORMANCE., vol. 15, no. 6, 1 décembre 2006
(2006-12-01), pages 693-698, XP055240688, US
ISSN: 1059-9495, DOI:
10.1361/105994906X150740**

(72) Inventeurs:

• **VIOLA, Alain**
67120 ERNOLSHEIM (FR)

EP 3 056 583 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

Arrière-plan de l'invention

[0001] L'invention concerne un procédé de fabrication de pièces en acier faiblement allié nitruré ainsi que des pièces en acier faiblement allié décarburées aptes à subir un traitement de nitruration.

[0002] Les aciers de nitruration faiblement alliés présentent typiquement une teneur en carbone comprise entre 0,20 % et 0,45 % qui permet de conférer au matériau de base ses propriétés mécaniques à coeur après traitement thermique.

[0003] Les propriétés superficielles de l'acier telles que la dureté peuvent être conférées par un traitement de nitruration qui consiste à faire diffuser de l'azote en phase ferritique et qui génère la précipitation de nitrures submicroscopiques à partir d'éléments nitrurigènes comme Cr, V, Mo et Al, présents en solution solide dans l'acier traité.

[0004] Concrètement, dans un traitement de nitruration, l'acier peut être traité à une température de l'ordre de 500°C par de l'ammoniac, lequel se décompose en ammoniac craqué et réagit simultanément avec le fer de l'acier. L'ammoniac provoque la formation d'une couche superficielle constituée de nitrures de fer, appelée couche de combinaison, à partir de laquelle les atomes d'azote diffusent en direction du coeur de la pièce pour former la couche de diffusion.

[0005] Pour un acier faiblement allié comprenant des éléments nitrurigènes, on peut observer deux couches après nitruration : la couche de combinaison en surface constituée de nitrures de fer et la couche de diffusion dans laquelle sont dispersés les précipités de nitrures submicroscopiques à l'origine de l'augmentation de dureté constatée dans la couche nitrurée.

[0006] La profondeur de la couche de nitruration peut varier, selon les conditions de nitruration et les applications visées, entre 0,05 mm et 1 mm. Le traitement de nitruration reste toutefois un traitement relativement long à mettre en oeuvre.

[0007] Le document "Microstructure of a Nitrided Steel Previously Decarburized", I. Calliari et al, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 15, N°6, pages 693-698 (2006. 12.01) décrit un tel procédé de nitruration d'un acier faiblement allié.

[0008] Il serait souhaitable d'améliorer encore les propriétés superficielles des couches de nitruration et de réduire la durée des traitements de nitruration.

[0009] Il existe donc un besoin pour améliorer les propriétés superficielles, notamment la dureté, des couches de nitruration formées en surface de pièces en acier faiblement allié.

[0010] Il existe encore un besoin pour accélérer la cinétique apparente des traitements de nitruration de pièces en acier faiblement allié, c'est-à-dire réduire le temps nécessaire pour obtenir à une profondeur donnée une augmentation de dureté significative, par exemple d'au

moins 200 HV, par rapport à la dureté de l'acier à coeur.

Objet et résumé de l'invention

[0011] A cet effet, l'invention propose, selon un premier aspect, un procédé de fabrication d'une pièce en acier faiblement allié nitruré comportant les étapes suivantes :

- a) décarburation de la surface d'une pièce en acier faiblement allié comprenant au moins un élément d'addition à la fois nitrurigène et carburigène afin d'obtenir une pièce décarburée présentant une couche superficielle appauvrie en carbone d'épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone étant inférieure ou égale à 70% de la teneur massique en carbone au coeur de la pièce décarburée et la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone étant supérieure ou égale à 0,05%,
- b) traitement de la pièce décarburée par un traitement de trempe suivi d'un traitement de revenu, et
- c) nitruration de la couche superficielle appauvrie en carbone afin d'obtenir la pièce en acier faiblement allié nitruré, l'étape c) étant réalisée après l'étape b).

[0012] Par « acier faiblement allié », il faut comprendre un acier pour lequel aucun élément d'alliage n'est présent en une teneur massique supérieure à 5,00%. En d'autres termes, dans un acier faiblement allié, chacun des éléments chimiques, autres que le fer, est présent en une teneur massique inférieure ou égale à 5,00%.

[0013] Par « élément d'addition à la fois nitrurigène et carburigène », on entend un élément d'addition présent dans l'acier sous forme de carbure avant l'étape c) et apte à former lors de l'étape c) un nitrure. Comme exemple d'élément d'addition à la fois nitrurigène et carburigène, on peut par exemple citer les éléments suivants : Cr, Mo et V.

[0014] La teneur massique en carbone au coeur de la pièce ne varie pas lors de l'étape a). En d'autres termes, la décarburation de surface réalisée lors de l'étape a) n'affecte la teneur en carbone qu'au niveau de la couche superficielle de la pièce et pas au niveau du coeur de celle-ci.

[0015] Il est possible qu'en fonction de la profondeur à laquelle on se situe dans la couche superficielle appauvrie en carbone, la teneur massique en carbone varie. Ainsi, par « teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone », il faut comprendre la valeur minimale atteinte par la teneur massique en carbone lorsque l'on se déplace le long de la profondeur de la couche superficielle appauvrie en carbone parallèlement au gradient de teneur massique en carbone.

[0016] La teneur massique en carbone est mesurée, par exemple, par microsonde de Castaing dans le cadre établi par la norme ASTM E1019. La teneur massique

en carbone au coeur de la pièce décarburée (correspondant à celle de la pièce avant décarburation) peut, par exemple, être comprise entre 0,20% et 0,45%.

[0017] Dans l'invention, la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone est inférieure ou égale à 70% de la teneur massique en carbone au coeur de la pièce décarburée. Autrement dit, la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone est inférieure ou égale à 0,70 * (teneur massique en carbone au coeur de la pièce décarburée).

[0018] Les inventeurs ont constaté que la couche obtenue par nitruration ne présente pas des propriétés optimales si du carbone est présent en une teneur trop élevée dans la couche superficielle de la pièce avant le traitement de nitruration. Il y a dans ce cas présence d'une teneur élevée en carbures dans la couche superficielle avant nitruration laquelle peut poser problème.

[0019] En effet, les nitrures obtenus par substitution du carbone par l'azote dans les carbures (précipitation in-situ des nitrures) lors du traitement de nitruration ont un potentiel de durcissement moins important que les nitrures obtenus par précipitation à partir d'éléments nitrurigènes présents initialement en solution solide dans la matrice ferritique. En outre, lors de la nitruration, le carbone présent initialement dans les carbures de la couche superficielle peut être libéré et diffuser en amont du front de diffusion d'azote. Ce carbone ainsi libéré peut précipiter sous la forme de réseaux de cémentite aux joints de grains et ainsi altérer les propriétés mécaniques de la couche nitrurée.

[0020] Ainsi, l'invention est basée sur le fait de réaliser un traitement de décarburation de la surface de la pièce avant le traitement de nitruration afin de réduire la quantité de carbures présents en surface de la pièce et ainsi s'affranchir des effets indésirables du carbone mentionnés précédemment tout en conservant de bonnes propriétés au coeur de la pièce en dehors de cette couche superficielle. Le traitement de décarburation réalisé lors de l'étape a) permet d'obtenir une couche superficielle de composition chimique optimisée pour recevoir le traitement de nitruration du fait de l'élimination, après traitement de décarburation, d'une partie au moins des carbures qui contribuent, lors de la nitruration, à la formation de réseaux de carbures/carbonitrures préjudiciables à la résistance mécanique de la couche de nitruration.

[0021] L'invention permet avantageusement de significativement augmenter la dureté en surface de la pièce nitrurée et d'obtenir des champs de contraintes de compression plus intenses permettant de nettement améliorer la tenue en fatigue de la pièce en acier ainsi traitée. L'invention permet, en particulier, de réduire, voire d'éliminer, la quantité de réseaux de cémentite fragilisants. En outre, l'invention permet de significativement accélérer la cinétique apparente de nitruration du fait de la réduction de la quantité de carbone en surface de la pièce entraînant ainsi une plus grande contribution de l'azote au mécanisme de durcissement. Ainsi, par rapport au

cas où l'étape a) n'est pas réalisée avant la nitruration, les pièces traitées par le procédé selon l'invention présentent pour une teneur en azote identique dans la couche de nitruration une dureté plus importante, ce qui de manière apparente revient à une accélération de la cinétique de nitruration (tout se passe comme si plus d'azote était présent à une profondeur donnée dans le cas des pièces traitées par le procédé selon l'invention).

[0022] L'invention peut ainsi permettre d'obtenir rapidement des couches nitrurées profondes, par exemple de 0,7 mm de profondeur. L'augmentation de la cinétique apparente de nitruration permet aussi avantageusement de limiter la relaxation des contraintes résiduelles dans la couche de nitruration du fait de la possibilité de réduire le temps d'exposition à la température de nitruration.

[0023] L'étape intermédiaire de trempe et revenu est, quant à elle, destinée à conférer ses propriétés à l'acier de base. Dans un exemple de réalisation, la trempe (refroidissement) peut être réalisée depuis la température de décarburation et le revenu est ensuite réalisé. En variante, on peut tout d'abord refroidir la pièce décarburée, par exemple jusqu'à la température ambiante (20°C), puis réaliser une austénitisation et effectuer après l'austénitisation un traitement de trempe suivi d'un traitement de revenu.

[0024] Dans un exemple de réalisation, la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone peut être inférieure ou égale à 60% de la teneur massique en carbone au coeur de la pièce décarburée. Autrement dit, la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone peut être inférieure ou égale à 0,6 * (teneur massique en carbone au coeur de la pièce décarburée).

[0025] La nitruration peut être réalisée dans des conditions conventionnelles par tout type de procédé de nitruration connu de l'homme du métier. Les réglages d'atmosphère de température et de temps sont définis en fonction de l'acier de base et des caractéristiques recherchées.

[0026] Dans un exemple de réalisation, l'épaisseur de la couche superficielle appauvrie en carbone peut être comprise entre 0,3 mm et 1,5 mm. La teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone est supérieure ou égale à 0,05%.

[0027] La présence d'une telle teneur minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone permet avantageusement d'assurer une augmentation significative de la dureté en surface de la pièce après nitruration.

[0028] La pièce en acier faiblement allié traitée peut, par exemple, être en acier 32CrMoV13, 35CrMo4, 15CrMoV6 ou X38CrMoV5. La pièce en acier faiblement allié traitée peut de préférence être en acier 32CrMoV13.

[0029] Dans un exemple de réalisation, on peut traiter durant l'étape a) la pièce en acier faiblement allié par une atmosphère oxydante comprenant de la vapeur d'eau en imposant une température comprise entre 850°C et 1000°C, l'atmosphère oxydante ayant une température

de rosée comprise entre -40°C et +20°C, par exemple comprise entre -10°C et +10°C, par exemple comprise entre -4°C et +4°C.

[0030] En variante, on peut traiter durant l'étape a) la pièce en acier faiblement allié par de l'air à une température de 950°C afin de réaliser la décarburation souhaitée.

[0031] Dans un exemple de réalisation, on peut réaliser, avant l'étape c), une étape d'usinage de la couche superficielle appauvrie en carbone.

[0032] La réalisation d'une telle étape d'usinage est avantageuse car elle peut permettre d'éliminer une couche oxydée non souhaitable qui peut être formée lors de la décarburation. Cette couche oxydée peut typiquement avoir une épaisseur inférieure ou égale à quelques centièmes de millimètres. Il existe d'autres manières de réduire la quantité d'oxydes en surface de la pièce décarburee, on peut ainsi par exemple soumettre la pièce décarburee à un traitement par une atmosphère réductrice, par exemple comprenant du H₂, avant l'étape c).

[0033] L'étape d'usinage de la couche superficielle appauvrie en carbone peut être réalisée avant et/ou après l'étape b).

[0034] Dans un exemple de réalisation, on peut réaliser après l'étape c) une étape d'usinage de la couche de nitruration formée lors de l'étape c).

[0035] La réalisation d'une telle étape d'usinage peut permettre d'éliminer la couche de combinaison formée lors du traitement de nitruration, seule la couche de diffusion formée lors de ce traitement étant conservée.

[0036] Dans un exemple de réalisation, il est possible de ne chercher à obtenir une couche superficielle appauvrie en carbone après mise en oeuvre de l'étape a) que dans une ou plusieurs zones prédéfinies de la surface de la pièce. Dans ce cas, il est par exemple possible de revêtir avant l'étape a) la surface de la pièce en acier faiblement allié d'un masque afin de ne réaliser la décarburation que dans une ou plusieurs zones prédéfinies de la surface de la pièce délimitées par le masque. On peut ainsi par exemple déposer un vernis formant barrière à l'oxygène sur la surface de la pièce, la ou les zones sur lesquelles le vernis n'a pas été déposé étant destinées à être décarburees lors de l'étape a).

[0037] Il est encore possible que l'on élimine, avant l'étape c), une partie de la couche superficielle appauvrie en carbone afin de ne la conserver que dans une ou plusieurs zones prédéfinies de la surface de la pièce.

[0038] La présente invention vise également une pièce en acier faiblement allié décarburee comprenant au moins un élément d'addition à la fois nitrurigène et carburigène et présentant une couche superficielle appauvrie en carbone d'épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm destinée à subir une nitruration, la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone étant inférieure ou égale à 70% de la teneur massique en carbone au coeur de la pièce décarburee et la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone étant su-

périeure ou égale à 0,05%.

[0039] Une telle pièce correspond au produit intermédiaire obtenu par mise en oeuvre de l'étape a) décrite plus haut avant réalisation de l'étape c) de nitruration.

[0040] Dans un exemple de réalisation, la couche superficielle appauvrie en carbone peut présenter une épaisseur comprise entre 0,3 mm et 1,5 mm.

[0041] De préférence, l'acier faiblement allié peut être l'acier 32CrMoV13.

[0042] Les différentes caractéristiques décrites plus haut pour le procédé selon l'invention relatives à la couche superficielle appauvrie en carbone et à l'acier faiblement allié utilisé s'appliquent à l'aspect relatif à la pièce selon l'invention.

Brève description des dessins

[0043] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- les figures 1 à 3 représentent de manière très schématique l'évolution de la composition en surface d'une pièce en acier faiblement allié lors d'un traitement de nitruration selon que cette pièce ait été décarburee ou non,
- les figures 4, 7 et 10 présentent notamment des résultats de mesure obtenus par microsonde de Castaing montrant l'évolution de la teneur massique en carbone dans une pièce dont la surface a été décarburee, et
- les figures 5, 6, 8, 9 et 11 sont des résultats de mesure comparant les duretés obtenues pour des pièces nitrurées selon que celles-ci aient ou non subi au préalable un traitement de décarburation de surface.

Description détaillée de modes de réalisation

[0044] On a représenté aux figures 1 à 3 de manière très schématique l'évolution de la composition en surface d'une pièce en acier faiblement allié lors d'un traitement de nitruration selon que cette pièce ait été décarburee (« Acier décarbure ») ou non (« Acier brut trempé/revenu »).

[0045] Dans les deux cas, la pièce présente à sa surface d'une part du chrome en solution solide 1 ainsi que des carbures enrichis en chrome 2 dits carbures de chrome. La pièce décarburee comporte dans sa couche superficielle appauvrie en carbone 3 une quantité inférieure de carbures de chrome 2 par rapport à la pièce non décarburee. L'acier faiblement allié mis en oeuvre peut permettre l'obtention d'une structure martensitique, bainito-martensitique ou bainitique dans la couche superficielle appauvrie en carbone après la trempe. La pièce est, lors de la nitruration, par exemple traitée par un flux gazeux comprenant de l'ammoniac.

[0046] Les figures 2 et 3 schématisent l'évolution de

la composition superficielle de la pièce lors de la nitruration et comparent celle-ci à la composition superficielle de la pièce avant nitruration. Comme illustré à la figure 2, les carbures de chrome 2 sont, lors de la nitruration, convertis en nitrures de chrome 4 issus de carbures et du carbone 5 est libéré. Le chrome en solution solide 1 est, quant à lui, converti lors de la nitruration en nitrures de chrome 6 issus du chrome en solution solide.

[0047] Comme mentionné plus haut, les nitrures de chrome 4 peuvent conférer moins de dureté à la couche nitrurée que les nitrures de chrome 6. La couche nitrurée obtenue lorsque la pièce a été au préalable décarburée présente donc avantageusement une meilleure dureté du fait d'une plus faible proportion en nitrures de chrome 4.

[0048] Par ailleurs, comme illustré à la figure 3, si la teneur en carbone 5 libéré dépasse un certain seuil des réseaux de cémentite 7 peuvent apparaître lesquels peuvent fragiliser la couche de nitruration obtenue. Dans le cas où la décarburation n'a pas été réalisée avant la nitruration, un plus grand nombre de réseaux cémentite 7 fragilisants sont formés du fait d'une plus grande quantité de carbone 5 libéré lors de la nitruration.

Exemples

Exemple 1

[0049] Un acier de nitruration de type 32CrMoV13 à l'état recuit a tout d'abord été décarburé par traitement par une atmosphère oxydante comprenant de la vapeur d'eau et présentant un point de rosée de +4°C sous une température de 950°C pendant 6 heures.

[0050] La figure 4 montre l'évolution en fonction de la profondeur de la teneur massique en carbone et de la dureté de la pièce en acier faiblement allié décarburée ainsi obtenue. Comme illustré, un tel traitement de décarburation conduit à l'obtention d'une teneur en carbone d'environ 0,12% à la surface de la couche superficielle appauvrie en carbone (profondeur 0 µm), la teneur en carbone de l'acier de base étant retrouvée à une profondeur d'environ 0,85 mm. La teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone ainsi obtenue est d'environ 0,08%.

[0051] A la suite de ce traitement de décarburation, une trempe à l'huile a été réalisée puis un traitement de revenu a été effectué à une température de 635°C pendant 4 heures sous une atmosphère N₂ + 10%H₂. Une deuxième trempe à l'huile a été réalisée après le traitement de revenu.

[0052] Une nitruration sous une atmosphère composée de 50% de NH₃, 37,5% de H₂ et 12,5% de N₂ à une température de 520°C pendant une durée comprise entre 101 heures et 113 heures a été réalisée.

[0053] La figure 5 fournit les résultats de mesure de microdureté pour la pièce en acier faiblement allié nitruré obtenue dans le cadre du présent exemple (« Alliage décarburé + revenu + nitruration »). A titre de comparaison,

la figure 5 fait apparaître les mesures de microdureté obtenues lorsque le même acier est soumis à un traitement ne différant qu'en ce que la décarburation n'est pas réalisée (« Alliage « brut » + nitruration »). On constate que la mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention permet, du fait de la réalisation de la décarburation avant la nitruration, de significativement améliorer la dureté de surface de la pièce obtenue. Le décalage de la courbe relative à la réalisation d'un traitement de décarburation vers la droite par rapport à la courbe « Alliage « brut » + nitruration » montre aussi que la cinétique apparente de nitruration est améliorée dans le cadre de l'invention.

[0054] La figure 6 montre quant à elle l'évolution de la différence de dureté par rapport à celle du coeur en fonction de la profondeur pour une pièce obtenue selon l'exemple 1 ou obtenue dans des conditions identiques à celles de l'exemple 1 à l'exception que le traitement de décarburation n'a pas été réalisé. On constate pour la pièce obtenue selon l'exemple 1 l'obtention d'un gain de dureté de surface significatif de l'ordre de 32% (637-436/637).

Exemple 2

[0055] Un acier de nitruration de type 32CrMoV13 à l'état recuit a été traité dans les mêmes conditions que dans l'exemple 1. La seule différence concerne le fait que la décarburation a été réalisée sous une température de 980°C et non plus de 950°C.

[0056] La figure 7 montre l'évolution en fonction de la profondeur de la teneur massique en carbone et de la dureté de la pièce en acier faiblement allié décarburée ainsi obtenue. Comme illustré, un tel traitement de décarburation conduit à l'obtention d'une teneur en carbone inférieure à 0,10% à la surface de la couche superficielle appauvrie en carbone (profondeur 0 µm), la teneur en carbone de l'acier de base étant retrouvée à une profondeur d'environ 0,9 mm. La teneur en carbone à la surface de la couche superficielle appauvrie en carbone correspond dans ce cas à la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone.

[0057] La figure 8 fournit les résultats de mesure de microdureté pour la pièce en acier faiblement allié nitruré obtenue dans le cadre du présent exemple (« Alliage décarburé + revenu + nitruration »). A titre de comparaison, la figure 8 fait apparaître les mesures de microdureté obtenues lorsque le même acier est soumis à un traitement ne différant qu'en ce que la décarburation n'est pas réalisée (« Alliage « brut » + nitruration »). On constate que la mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention permet, du fait de la réalisation de la décarburation avant la nitruration, de significativement améliorer la dureté de surface de la pièce obtenue. Le décalage de la courbe relative à la réalisation d'un traitement de décarburation vers la droite par rapport à la courbe « Alliage « brut » + nitruration » montre aussi que la cinétique apparente de nitruration est améliorée dans le cadre de l'invention.

[0058] La figure 9 montre quant à elle l'évolution de la

différence de dureté par rapport à celle du coeur en fonction de la profondeur pour une pièce obtenue selon l'exemple 2 ou obtenue dans des conditions identiques à celles de l'exemple 2 à l'exception que le traitement de décarburation n'a pas été réalisé. On constate pour la pièce obtenue selon l'exemple 2 l'obtention d'un gain de dureté de surface significatif de l'ordre de 30% (627-436/627).

Exemple 3

[0059] Un acier de nitruration de type 32CrMoV13 à l'état recuit a tout d'abord été décarburé par traitement par une atmosphère oxydante comprenant de la vapeur d'eau et présentant un point de rosée de 0°C sous une température de 950°C pendant 6 heures.

[0060] La figure 10 montre l'évolution en fonction de la profondeur de la teneur massique en carbone et de la dureté de la pièce en acier faiblement allié décarburee ainsi obtenue. Comme illustré, un tel traitement de décarburation conduit à l'obtention d'une teneur en carbone d'environ 0,20% à la surface de la couche superficielle appauvrie en carbone (profondeur 0 µm), la teneur en carbone de l'acier de base étant retrouvée à une profondeur d'environ 0,85 mm. La teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone ainsi obtenue est d'environ 0,16%.

[0061] A la suite de ce traitement de décarburation, une trempe à l'huile a été réalisée puis un traitement de revenu a été effectué à une température de 635°C pendant 4 heures sous une atmosphère $N_2 + 10\%H_2$. Une deuxième trempe à l'huile a été réalisée après le traitement de revenu.

[0062] Une nitruration sous une atmosphère composée de 50% de NH_3 , 37,5% de H_2 et 12,5% de N_2 à une température de 550°C pendant une durée de 55 heures a été réalisée.

[0063] La figure 11 montre l'évolution de la différence de dureté par rapport à celle du coeur en fonction de la profondeur pour une pièce obtenue selon l'exemple 3 (« Alliage décarburé + revenu + nitruration ») ou obtenue dans des conditions identiques à celles de l'exemple 3 à l'exception que le traitement de décarburation n'a pas été réalisé (« Alliage « brut » + nitruration »). On constate pour la pièce obtenue selon l'exemple 3 l'obtention d'un gain de dureté de surface significatif.

[0064] L'expression « comportant/comprenant un(e) » doit se comprendre comme « comportant/comprenant au moins un(e) ».

[0065] L'expression « compris(e) entre ... et ... » ou « allant de ... à ... » doit se comprendre comme incluant les bornes.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une pièce en acier faiblement allié nitruré comportant les étapes suivantes :

a) décarburation de la surface d'une pièce en acier faiblement allié comprenant au moins un élément d'addition à la fois nitrigène et carburigène afin d'obtenir une pièce décarburee présentant une couche superficielle appauvrie en carbone d'épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone étant inférieure ou égale à 70% de la teneur massique en carbone au coeur de la pièce décarburee et la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone étant supérieure ou égale à 0,05%,
b) traitement de la pièce décarburee par un traitement de trempe suivi d'un traitement de revenu, et
c) nitruration de la couche superficielle appauvrie en carbone afin d'obtenir la pièce en acier faiblement allié nitruré, l'étape c) étant réalisée après l'étape b).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de la couche superficielle appauvrie en carbone est comprise entre 0,3 mm et 1,5 mm.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** l'on réalise, avant l'étape c), une étape d'usinage de la couche superficielle appauvrie en carbone.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'on réalise après l'étape c) une étape d'usinage de la couche de nitruration formée lors de l'étape c).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la pièce en acier faiblement allié traitée est en acier 32CrMoV13.
6. Pièce en acier faiblement allié décarburee comprenant au moins un élément d'addition à la fois nitrigène et carburigène et présentant une couche superficielle appauvrie en carbone d'épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm destinée à subir une nitruration, la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone étant inférieure ou égale à 70% de la teneur massique en carbone au coeur de la pièce décarburee et la teneur massique minimale en carbone dans la couche superficielle appauvrie en carbone étant supérieure ou égale à 0,05%.
7. Pièce selon la revendication 6, **caractérisée en ce que** la couche superficielle appauvrie en carbone présente une épaisseur comprise entre 0,3 mm et 1,5 mm.
8. Pièce selon l'une quelconque des revendications 6

et 7, **caractérisé en ce que** l'acier faiblement allié est l'acier 32CrMoV13.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks aus niedrig legiertem Nitrierstahl, das die folgenden Schritte umfasst:

- a) Entkohlen der Oberfläche eines Werkstücks aus niedrig legiertem Stahl, der wenigstens ein sowohl Nitrid-bildendes als auch Carbid-bildendes Zusatzelement umfasst, um ein entkohltes Werkstück zu erhalten, das eine kohlenstoffverarmte Oberflächenschicht mit einer Dicke von weniger als oder gleich 1,5 mm aufweist, wobei der minimale Massegehalt an Kohlenstoff in der kohlenstoffverarmten Oberflächenschicht weniger als oder gleich 70 % des Massegehaltes an Kohlenstoff im Kern des entkohlten Werkstücks beträgt, und wobei der minimale Massegehalt an Kohlenstoff in der kohlenstoffverarmten Oberflächenschicht größer als oder gleich 0,05 % ist,
- b) Behandeln des entkohlten Werkstücks durch eine Abschreckbehandlung, an die sich eine Anlassbehandlung anschließt, und
- c) Nitrieren der kohlenstoffverarmten Oberflächenschicht, um das Werkstück aus niedrig legiertem Nitrierstahl zu erhalten, wobei der Schritt c) nach Schritt b) durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke der kohlenstoffverarmten Oberflächenschicht zwischen 0,3 mm und 1,5 mm beträgt.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Schritt c) ein Schritt zum Bearbeiten der kohlenstoffverarmten Oberflächenschicht durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Schritt c) ein Schritt zum Bearbeiten der während des Schrittes c) gebildeten Nitrierschicht durchgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das behandelte Werkstück aus niedrig legiertem Stahl aus Stahl 32CrMoV13 besteht.
6. Entkohltes Werkstück aus niedrig legiertem Stahl, der wenigstens ein sowohl Nitrid-bildendes als auch Carbid-bildendes Zusatzelement umfasst und eine kohlenstoffverarmte Oberflächenschicht mit einer Dicke von weniger als oder gleich 1,5 mm aufweist,

welche dazu bestimmt ist, einem Nitrieren unterzogen zu werden, wobei der minimale Massegehalt an Kohlenstoff in der kohlenstoffverarmten Oberflächenschicht weniger als oder gleich 70 % des Massegehaltes an Kohlenstoff im Kern des entkohlten Werkstücks beträgt, und wobei der minimale Massegehalt an Kohlenstoff in der kohlenstoffverarmten Oberflächenschicht größer als oder gleich 0,05 % ist.

7. Werkstück nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kohlenstoffverarmte Oberflächenschicht eine Dicke im Bereich zwischen 0,3 mm und 1,5 mm aufweist.

8. Werkstück nach einem der Ansprüche 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der niedrig legierte Stahl der Stahl 32CrMoV13 ist.

Claims

1. A method of fabricating a nitrided low-alloy steel part, the method comprising:
 - a) decarburizing the surface of a low-alloy steel part including at least one alloying element that is both nitride-forming and carbide-forming in order to obtain a decarburized part presenting a carbon-depleted surface layer of thickness less than or equal to 1.5 mm, the minimum content of carbon by weight in the carbon-depleted surface layer being less than or equal to 70% of the carbon content by weight in the core of the decarburized part, and the minimum content of carbon by weight in the carbon-depleted surface layer being greater than or equal to 0.05%;
 - b) treating the decarburized part with quenching treatment followed by annealing treatment; and
 - c) nitriding the carbon-depleted surface layer in order to obtain a nitrided low-alloy steel part, step c) being performed after step b).
2. A method according to claim 1, wherein the thickness of the carbon-depleted surface layer lies in the range 0.3 mm to 1.5 mm.
3. A method according to claim 1, wherein, prior to step c), a step is performed of machining the carbon-depleted surface layer.
4. A method according to claim 1, wherein, after step c), a step is performed of machining the nitrided layer formed during step c).
5. A method according to claim 1, wherein the treated low-alloy steel part is made of 32CrMoV13 steel.
6. A decarburized low-alloy steel part including at least

one alloying element that is both nitride-forming and carbide-forming, presenting a carbon-depleted surface layer of thickness less than or equal to 1.5 mm that is to be subjected to nitriding, the minimum carbon content by weight in the carbon-depleted surface layer being less than or equal to 70% of the carbon content by weight in the core of the decarburized part, and the minimum content of carbon by weight in the carbon-depleted surface layer being greater than or equal to 0.05%.

7. A part according to claim 6, wherein the carbon-depleted surface layer presents a thickness lying in the range 0.3 mm to 1.5 mm.

8. A part according to claim 6, wherein the low-alloy steel is 32CrMoV13 steel.

5

10

15

20

25

30

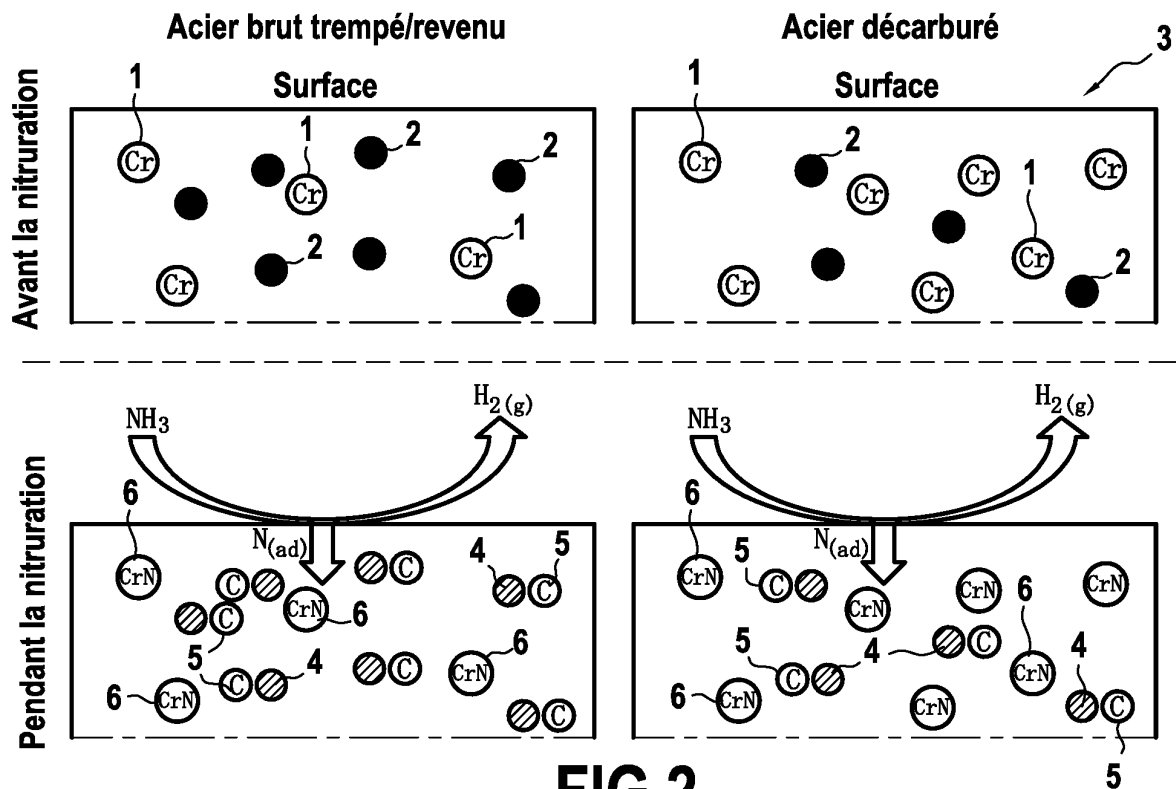
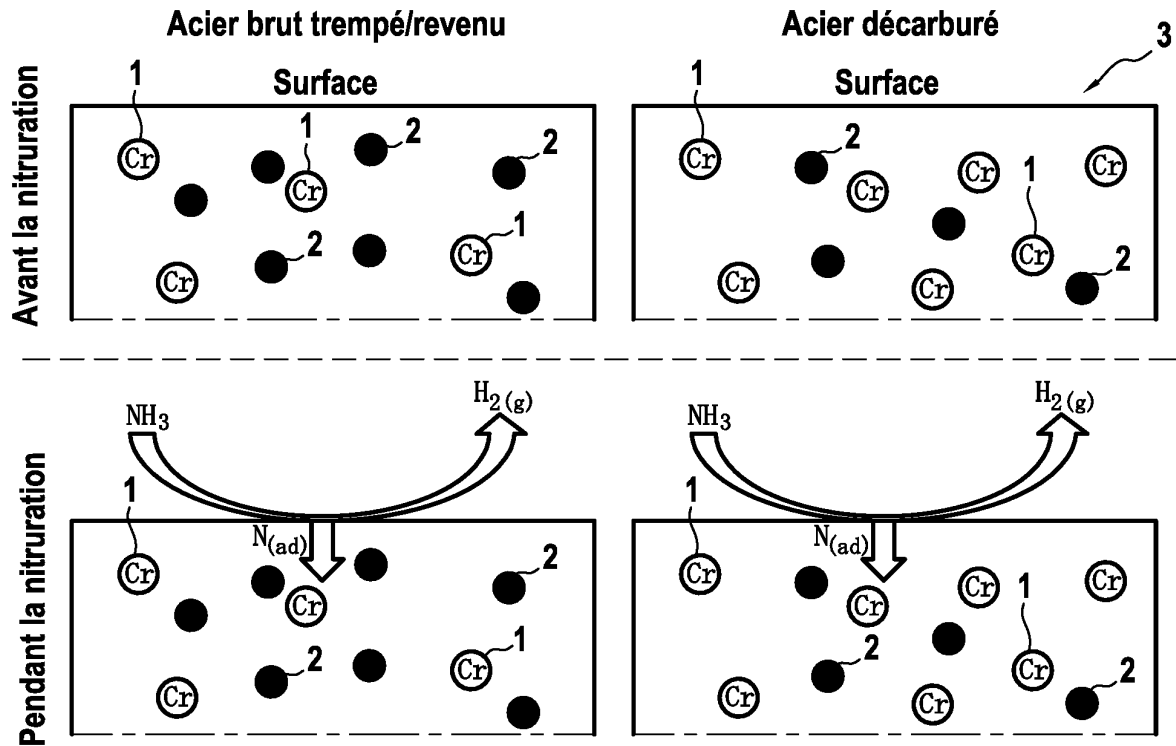
35

40

45

50

55



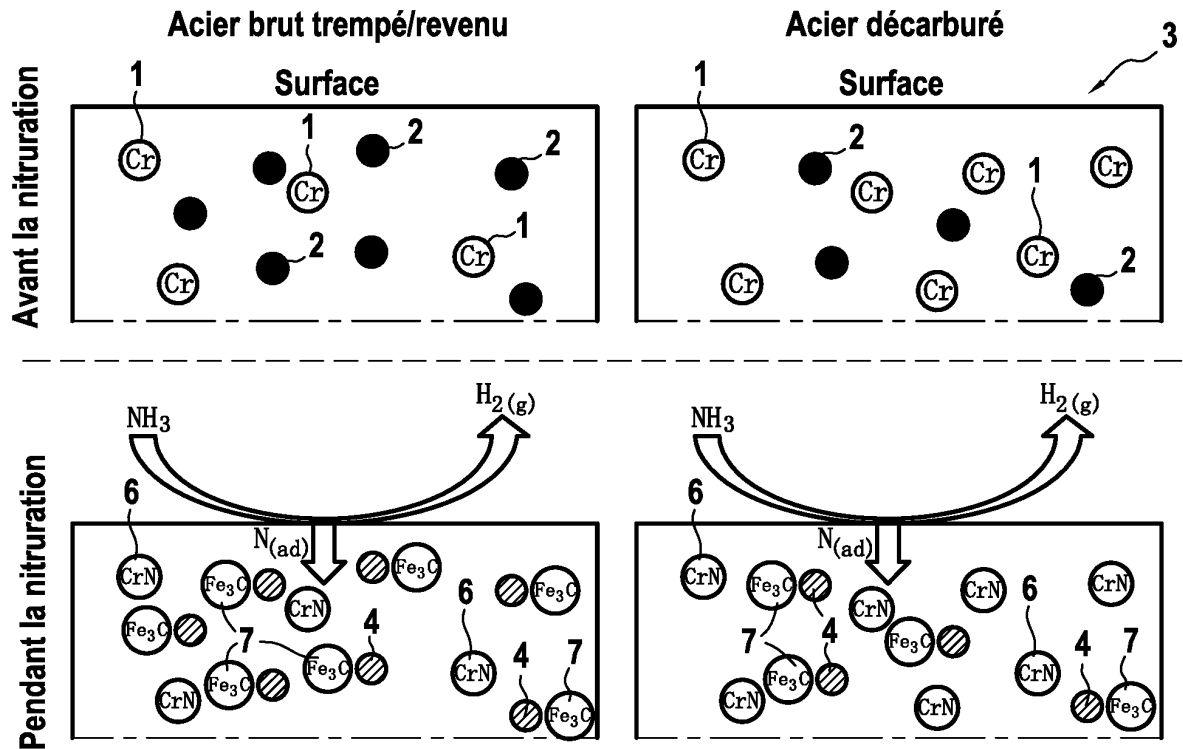


FIG.3

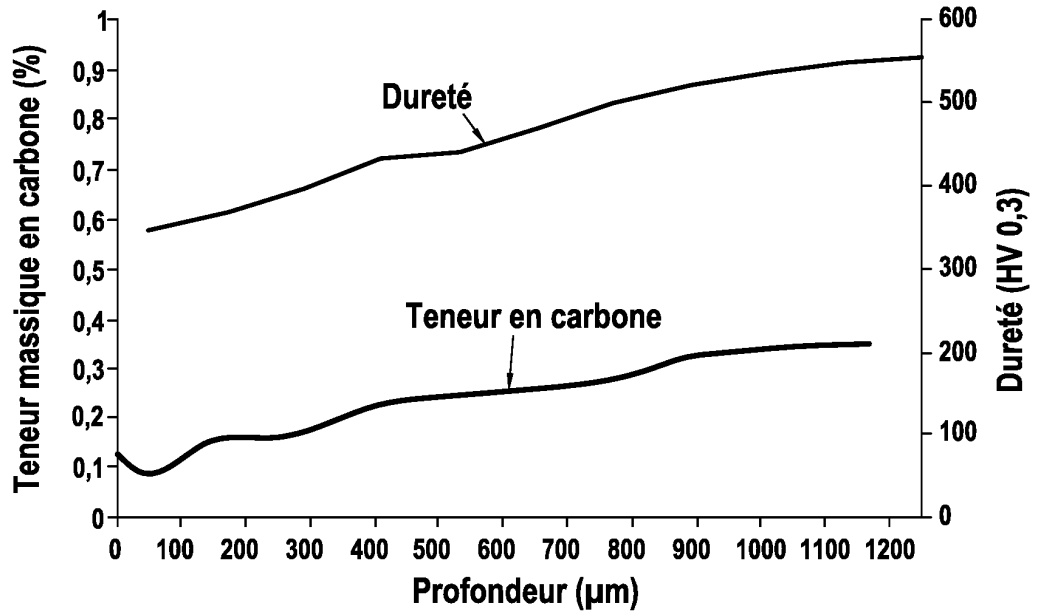
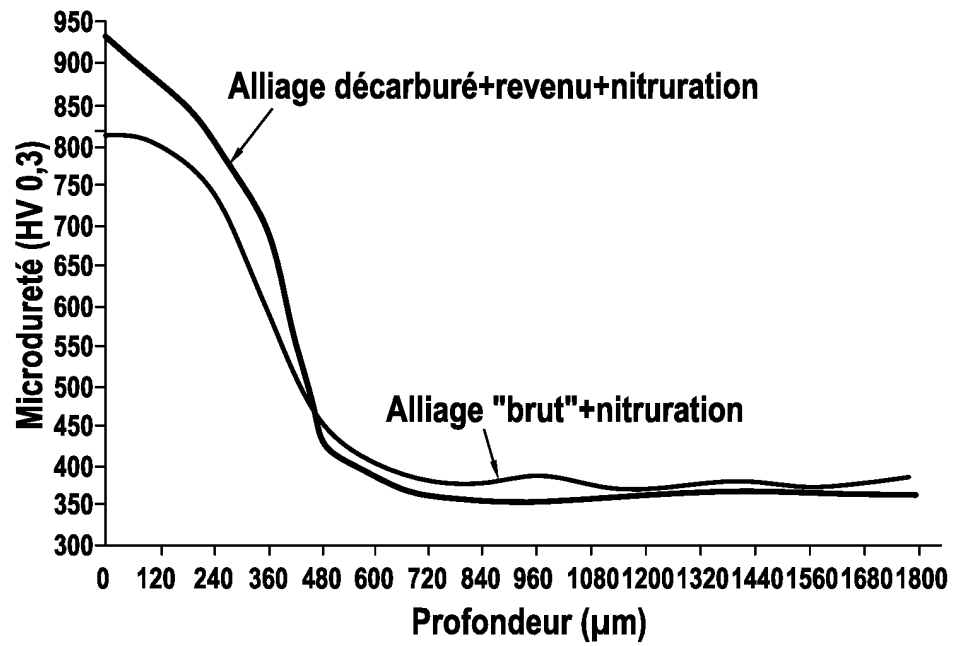
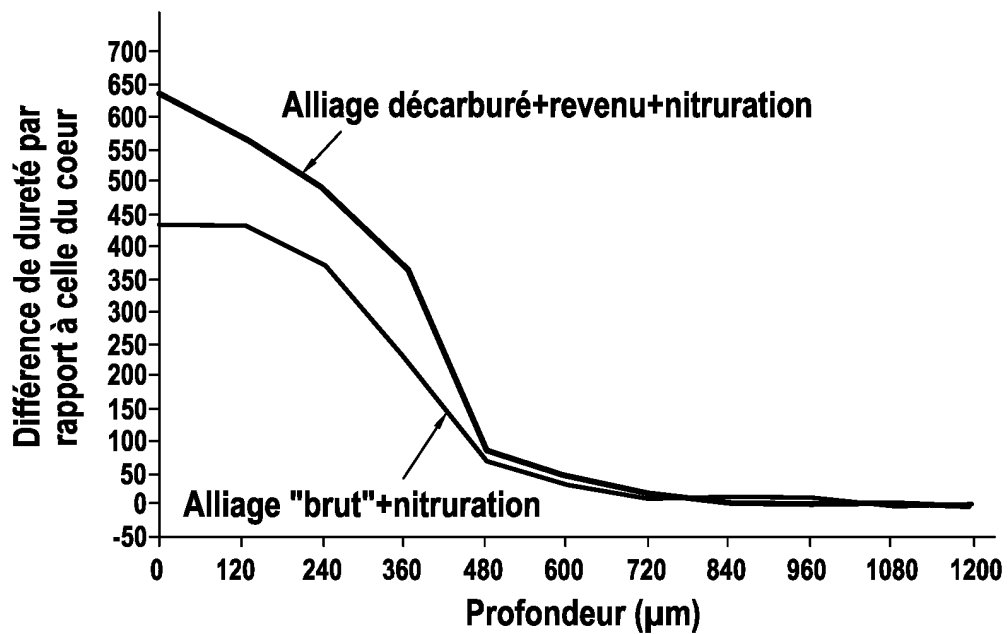


FIG.4

**FIG.5****FIG.6**

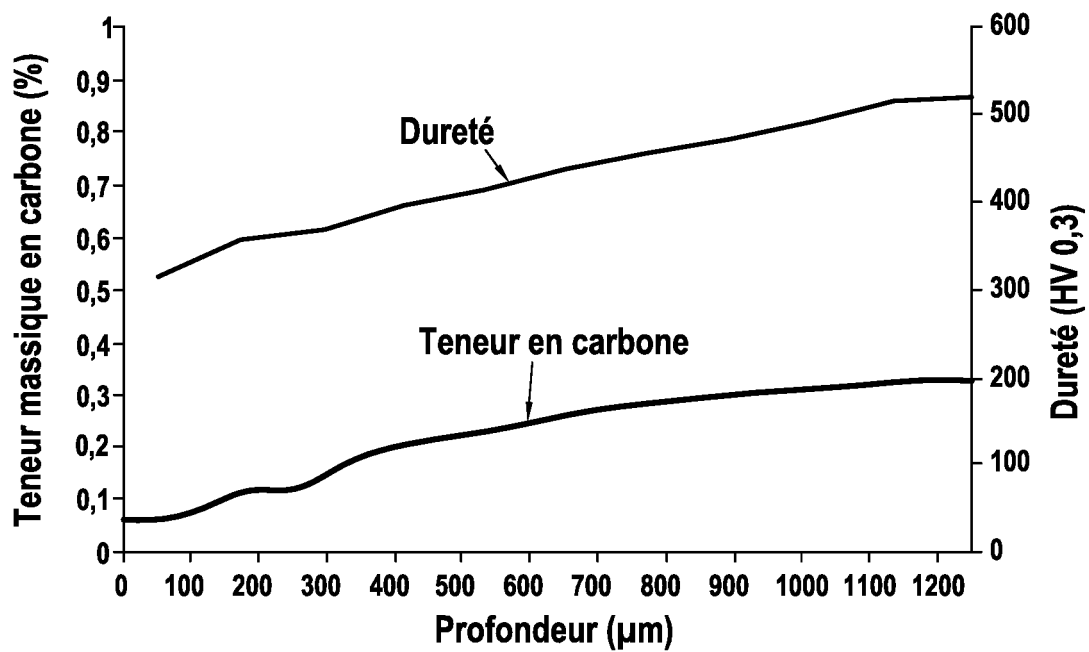


FIG.7

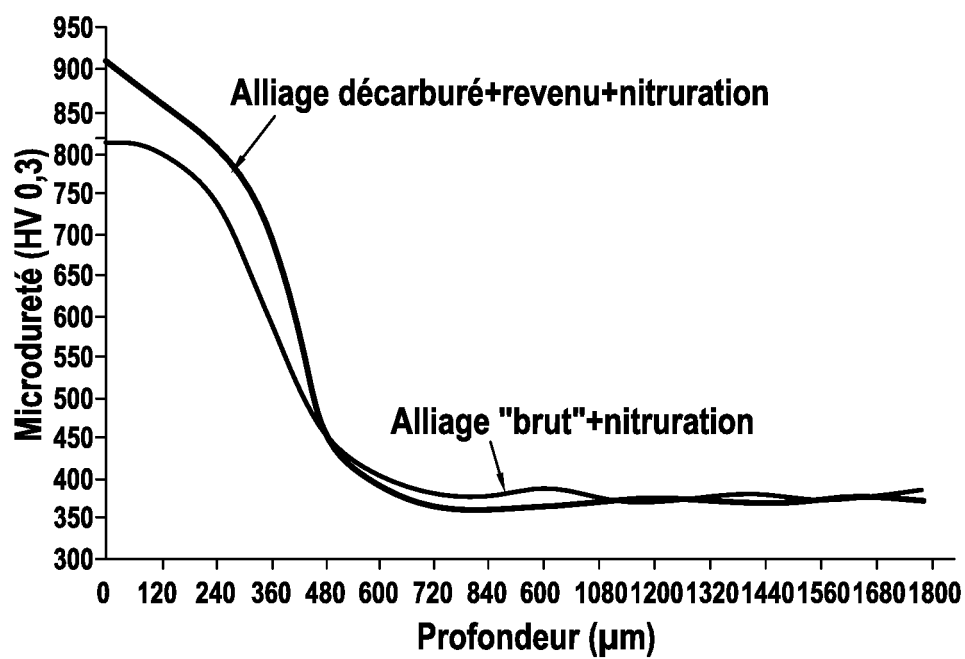


FIG.8

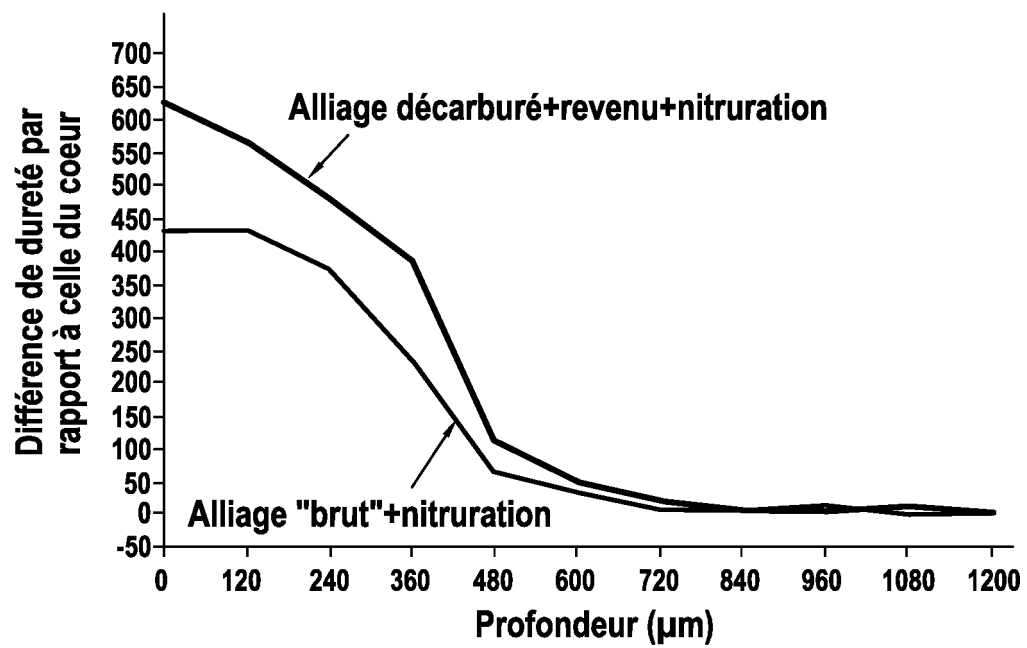


FIG.9

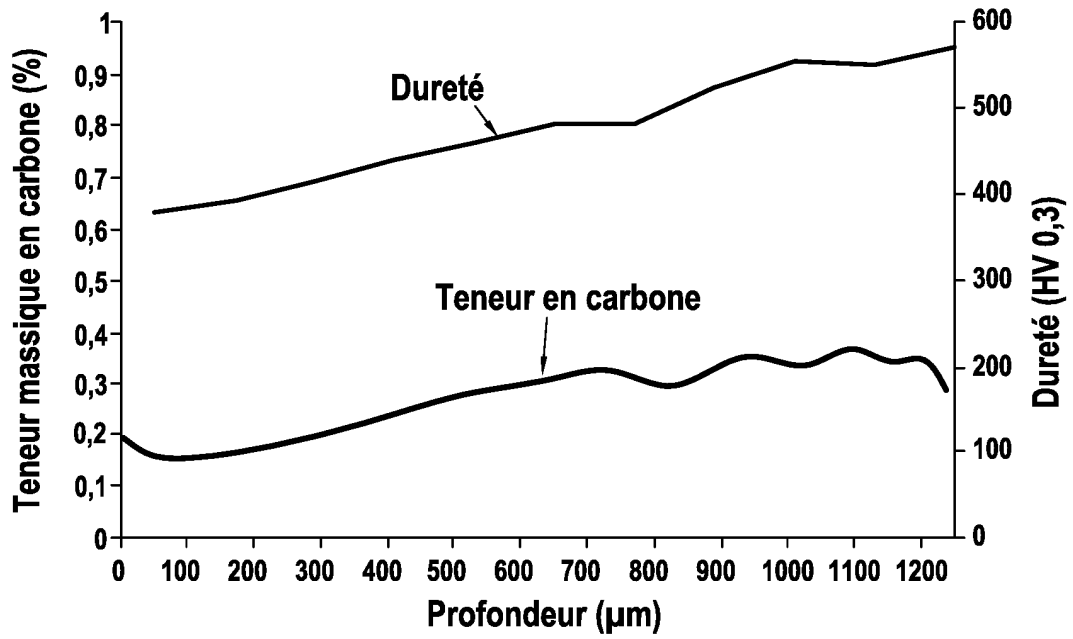


FIG.10

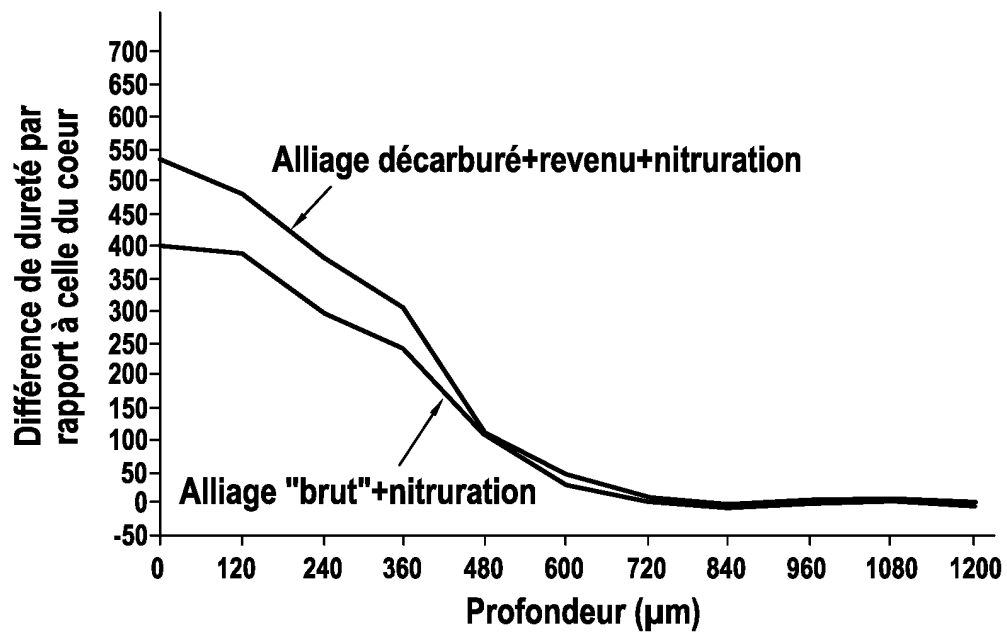


FIG.11

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **I. CALLIARI et al.** Microstructure of a Nitrided Steel Previously Decarburized. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 01 Décembre 2006, vol. 15 (6), 693-698 [0007]