

⑫

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt: **86402082.1**

⑤① Int. Cl.4: **C 22 F 1/18**

⑳ Date de dépôt: **23.09.86**

③① Priorité: **25.09.85 FR 8514202**

④③ Date de publication de la demande:  
**06.05.87 Bulletin 87/19**

⑥④ Etats contractants désignés: **BE DE GB IT NL**

⑦① Demandeur: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**  
**Etablissement de Caractère Scientifique Technique et**  
**Industriel**  
**31/33, rue de la Fédération**  
**F-75015 Paris (FR)**

⑦② Inventeur: **Morey, Jean-Michel**  
**Pavillon 49**  
**Lery F-21440 Saint Seine l'Abbaye (FR)**

**Paradis, Gilles**  
**13 rue de la Fontaine Soyer**  
**F-21850 Saint Apollinaire (FR)**

⑦④ Mandataire: **Mongrédiën, André et al**  
**c/o BREVATOME 25, rue de Ponthieu**  
**F-75008 Paris (FR)**

⑥④ **Procédé de traitement thermique d'une pièce en alliage d'uranium.**

⑤⑦ La présente invention a pour objet un procédé de traitement thermique de pièces en alliage d'uranium.

Ce procédé comprend au moins une étape d'homogénéisation en phase  $\gamma$  suivie d'une étape de chauffage par induction, puis d'une étape de trempe ; l'utilisation du chauffage par induction permet de ne chauffer la pièce, et donc de modifier la structure, qu'en surface : on peut ainsi, éventuellement avec des étapes supplémentaires de trempe et/ou de revenu, ajuster la dureté à coeur et en surface.

Application à la réalisation de matériaux de protection.

## Description

## PROCÉDE DE TRAITEMENT THERMIQUE D'UNE PIÈCE EN ALLIAGE D'URANIUM

La présente invention a pour objet un procédé de traitement thermique de pièces en alliage d'uranium permettant d'obtenir des propriétés structurales et mécaniques différentes entre le coeur et la surface d'une pièce.

Dans certains cas, il peut être intéressant d'obtenir des propriétés mécaniques différentes entre la surface et le coeur d'une pièce métallique, par exemple dans la réalisation de matériaux de protection.

La présente invention s'applique plus particulièrement aux alliages d'uranium dits "à durcissement structural" qui sont généralement des alliages d'uranium avec du titane, du niobium ou du zirconium, la teneur moyenne en éléments d'addition étant de 0,5 à 6% en poids.

Selon la principale caractéristique du procédé objet de l'invention, celui-ci comprend les étapes successives suivantes :

- (a) - homogénéisation en phase  $\gamma$  ;
- (b) - chauffage par induction ; et
- (c) - trempe.

Si l'on désire obtenir une peau tendre et un coeur dur, le procédé comprend en outre une étape (1) de trempe, puis une étape (2) de revenu, ces dernières étant effectuées après l'étape (a) et avant l'étape (b).

L'étape d'homogénéisation est effectuée à une température variable suivant l'alliage, mais généralement supérieure à 750°C car, à cette température, l'uranium est en phase  $\gamma$  et les éléments d'addition sont en solution solide. Par trempe depuis cette phase  $\gamma$ , on forme une phase martensitique dans laquelle les éléments d'addition sont en sursaturation. Cette phase martensitique est une variante de la phase orthorhombique  $\alpha$  de l'uranium : elle est d'autant plus tendre que la teneur en éléments d'addition est élevée, les duretés étant généralement comprises entre 250 et 400 HV.

Par un revenu ultérieur, on déstabilise la phase martensitique et on provoque la précipitation de composés durcissants. Il est possible d'atteindre, suivant le type d'alliage, la température et le temps de revenu, une dureté de 600 à 650 HV.

Quant au chauffage par induction, il permet de ne chauffer la pièce, et donc d'en modifier la structure, que sur une profondeur déterminée dépendant de la manière dont le chauffage est réglé. En effet, la profondeur chauffée par les courants induits dans la pièce dépend de la fréquence. Pour une fréquence supérieure à 300 kHz, cette profondeur est inférieure à 2 mm. Pour des fréquences moyennes, c'est-à-dire de 10 à 30 kHz environ, cette profondeur est de l'ordre de 2 à 8 mm. En basse fréquence, c'est-à-dire à des fréquences inférieures ou égales à 4 kHz, elle est supérieure à 8 mm. Cette profondeur dépend également des caractéristiques du matériau, entre autres la résistivité électrique. De plus, cette technique peut être mise en oeuvre dans une enceinte confinée sous vide ou balayée par un gaz neutre, ce qui est particulièrement avantageux

compte tenu de l'oxydabilité de l'uranium.

Si l'on veut obtenir une pièce ayant une peau tendre et un coeur dur, on commence par les étapes d'homogénéisation, de trempe et de revenu décrites ci-dessus. Ensuite, la pièce subit un chauffage par induction afin de passer une bande superficielle en phase  $\gamma$  et de redissoudre la précipitation, mais ceci uniquement en surface. Ce chauffage est immédiatement suivi d'une trempe qui provoque la transformation martensitique de cette bande et donc une zone superficielle plus tendre que le coeur. La largeur de cette bande dépend des caractéristiques de l'installation et notamment des caractéristiques du courant de chauffage par induction, de la température atteinte en surface et de la cinétique de redissolution des précipités en phase  $\gamma$ .

Afin de mieux ajuster la dureté en surface, le procédé comprend une étape supplémentaire (3) de revenu effectuée après les étapes de chauffage par induction et de trempe indiquées ci-dessus. Ce revenu permet d'obtenir la dureté désirée en surface. Bien entendu, il est nécessaire, lorsqu'on procède ainsi, de tenir compte de l'effet durcissant de ce deuxième revenu sur le coeur de la pièce lorsqu'on effectue le premier traitement de revenu.

Lorsqu'on veut obtenir une peau dure et un coeur tendre, on effectue une étape (4) de refroidissement lent depuis la phase  $\gamma$ , c'est-à-dire après l'étape d'homogénéisation et avant l'étape de chauffage par induction. En effet, par un refroidissement lent, la phase  $\gamma$  se décompose en deux phases :  $\gamma \rightarrow \alpha + U_xM_y$  où  $U_xM_y$  désigne une phase riche en éléments d'addition M. La dureté obtenue est faible, souvent plus faible que la dureté de la martensite de l'alliage correspondant. Après le refroidissement lent, on forme une bande de martensite en peau par chauffage par induction et trempe superficielle et on effectue une étape (5) de revenu, ce qui ne modifie pas la structure à coeur.

L'invention apparaîtra mieux à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre purement illustratif et nullement limitatif, de quelques exemples de mise en oeuvre du procédé objet de l'invention.

Les essais qui vont être décrits ci-dessous ont été effectués sur des pièces en alliage d'uranium et de titane contenant 0,75% en poids de titane.

## Exemple 1

Dans cet exemple, on a cherché à obtenir des pièces dures à coeur et tendres en surface.

Pour cela, on a d'abord effectué un traitement d'homogénéisation pendant 1 heure à 850°C, suivi d'une trempe à l'eau. On a réalisé ensuite un durcissement structural par un revenu de 4h30mn à 450°C dans un four sous vide.

Les pièces ont ensuite été chauffées par induction pendant 5 secondes à la fréquence de 23,5 kHz dans une enceinte fermée sous balayage d'argon: on a ainsi obtenu une température de 1000°C en surface, ce qui correspond à une vitesse de chauffage de

200°C par seconde. On a ensuite effectué une trempe à l'eau immédiatement en fin de chauffage.

Cette gamme a permis d'obtenir des pièces ayant un gradient de dureté, la dureté étant de 375 HV en peau sur une zone de 5 mm de profondeur et de 580 HV à coeur.

#### Exemple 2

Dans cet exemple, les pièces ont subi le même traitement que dans l'exemple 1, mais on a ajusté la dureté en peau par un traitement de revenu supplémentaire, effectué après la dernière opération de trempe. On a pu constater que ce traitement ne modifie pas notablement la dureté à coeur.

Par un revenu de 4 heures à 400°C, on a obtenu une dureté en surface de 420 HV et, par un revenu de 4 heures à 425°C, on a obtenu une dureté en surface de 480 HV. Dans l'un et l'autre cas, la dureté à coeur est restée égale à 580 HV.

#### Exemple 3

Dans cet exemple, on a cherché à obtenir des pièces dures en surface et moins dures à coeur.

On a d'abord effectué un traitement d'homogénéisation pendant 1 heure à 850°C suivi d'un refroidissement contrôlé dans un four sous vide, la vitesse de refroidissement étant inférieure à 0,5°C par seconde.

Les pièces ont ensuite été chauffées par induction à la fréquence de 23,5 kHz, ce qui a permis d'atteindre une température en peau de 1000°C, soit une vitesse de chauffage de 200°C par seconde. Les pièces ont été trempées à l'eau immédiatement en fin de chauffage.

On a ensuite effectué un traitement de revenu pendant 4 heures à des températures comprises entre 350°C et 450°C.

Cette gamme a permis d'obtenir des pièces ayant un gradient de dureté. La dureté à coeur était toujours inférieure à 320 HV tandis que les duretés en peau allaient de 375 HV à 580 HV suivant la température de revenu choisie.

#### Revendications

1. Procédé de traitement thermique d'une pièce en alliage d'uranium en vue d'obtenir des propriétés différentes entre la peau et le coeur, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes successives suivantes :

- (a) - homogénéisation en phase  $\gamma$  ;
- (b) - chauffage par induction ; et
- (c) - trempe.

2. Procédé selon la revendication 1, permettant d'obtenir une peau tendre et un coeur dur, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes successives suivantes, effectuées après l'étape (a) et avant l'étape (b) :

- (1) - trempe ; et
- (2) - revenu.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend une étape supplémentaire (3) de revenu effectuée après l'étape

(c).

4. Procédé selon la revendication 1, permettant d'obtenir une peau dure et un coeur tendre, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape (4) de refroidissement lent effectuée après l'étape (a).

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte une étape supplémentaire (5) de revenu effectuée après l'étape (c).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la ou les étapes de trempe sont des trempes à l'eau.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'étape (b) est effectuée sous vide.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'étape (b) est effectuée sous balayage d'un gaz neutre.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la pièce à traiter est réalisée en un alliage d'uranium avec l'un au moins des éléments suivants : titane, niobium, zirconium.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la teneur moyenne de la pièce à traiter en éléments d'addition est comprise entre 0,5% et 6% en poids.



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
A	FR-A-1 417 620 (UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY) * Résumé, points A1,6; page 2, colonne de droite, alinéas 2,3 *	1	C 22 F 1/18
A	LU-A- 42 035 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) * Revendications 1,3,4; page 5, lignes 6-14 *	1,6,8	
A	CHEMICAL ABSTRACT, vol. 80, no. 12, 25 mars 1974, page 429, no. 65820p, Columbus, Ohio, US; E. KADERABEK et al.: "Preferred orientation and structure of induction hardened rods from uranium alloys", & USTAV JAD. VYZK., CESK. AKAD. VED [REP.] 1972, no. 2782-M, 24 pp * Résumé *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
			C 22 F 1/18 C 22 C 43/00
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 14-01-1987	Examineur KESTEN W.G.
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		I : 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	