(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 670 147**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **90 15342**

(51) Int Cl[5] : B 23 K 13/01, 20/02, 20/14

# (12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 07.12.90.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 12.06.92 Bulletin 92/24.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :** *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *REGIE NATIONALE DES USINES RENAULT (S.A.)* — FR et *CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS & METIERS* — FR.

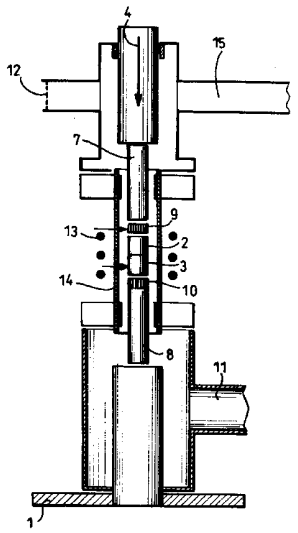
(72) **Inventeur(s) :** Hourcade Martine, Lefrançois Patrice, Criqui Bernard et Deverse Thierry.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire :** Régie Nationale des Usines Renault S.A. Rougemont Bernard.

## (54) Procédé de soudage-diffusion-dynamique de l'acier et dispositif pour la mise en œuvre du procédé.

(57) Procédé de soudage-diffusion dynamique à l'état solide, de pièces métalliques (2, 3), consistant à assembler ces pièces sous l'action conjuguée de la pression et de la température, caractérisé en ce que les pièces (2, 3) sont soudées rapidement par induction, et en ce qu'on leur applique une pression dynamique modulée en fonction de la température pendant toute la séquence de soudage.




FR 2 670 147 - A1

L'invention se rapporte à une technique de soudage dite de soudage-diffusion à l'état solide. Selon cette technique, les pièces à assembler, soigneusement préparées, sont portées en température pendant un temps suffisant, sous l'action d'une pression adéquate. Correctement appliqué, ce traitement permet de réaliser des jonctions présentant des caractéristiques de traction équivalentes à celles du métal de base, traité dans les mêmes conditions.

Le coût de l'opération, lié à sa mise en oeuvre et à sa durée, a longtemps limité son emploi à des pièces de structure peu sollicitées telles que des coques ou des ailes d'avion. Aujourd'hui, par contre, il apparaît qu'en dépit d'une mise en oeuvre quelque peu coûteuse, le soudage-diffusion présente un intérêt certain pour la grande industrie. Cette technique a récemment fait l'objet de publications de brevet, telles que la publication FR 2.595.280. Celle-ci porte sur un procédé pour l'assemblage indissociable d'éléments de structure d'avion, selon lequel on recouvre les surfaces de liaison des éléments à assembler, d'une couche métallique dont le point de fusion est situé en-dessous de la température nécessaire au pressage à chaud sous pression isostatique, mais qui n'est pas fondu à la température à laquelle on effectue ce pressage ; ceci permet d'obtenir la diffusion des matériaux sur les surfaces de liaison.

La technique de soudage-diffusion présente des avantages évidents tels que l'absence de passage en phase liquide, les faibles perturbations de microstructures, la réduction des déformations, l'assemblage possible de pièces de nature différente ou de petites dimensions (feuillards) et de

matériaux réputés insoudables (aciers fortement chargés en carbone, métaux réfractaires comme le molybdène ou le tungstène).

Cependant, les procédés de soudage-diffusion classiques nécessitent des durées de maintien isotherme de plusieurs minutes, voir de plusieurs heures. Cette contrainte est incompatible avec les exigences de l'industrie de série, dans laquelle le soudage doit être conduit en un temps très court.

L'invention apporte une solution au problème posé par cet inconvénient majeur, en réduisant la durée du soudage à quelques secondes. Elle permet d'obtenir des pièces présentant des caractéristiques mécaniques et microstructurales équivalentes à celles du métal de base. La ductilité des assemblages obtenus est supérieure à celle des assemblages soudés par friction. L'invention permet également de réduire la déformation des pièces à assembler, de façon telle qu'elle demeure inférieure ou égale à 2 % de la longueur chauffée. L'interface est, par ailleurs, quasiment exempt de défauts de contact observables au microscope, au point d'être difficilement repérable après l'opération.

L'invention a pour objet un procédé de soudage-diffusion dynamique à l'état solide, de pièces métalliques, consistant à assembler ces pièces sous l'action conjuguée de la pression et de la température. Ce procédé est caractérisé en ce que les pièces sont chauffées rapidement par induction et en ce qu'on leur applique une pression dynamique modulée en fonction de la température, pendant toute la séquence du soudage.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la pression est modulée de façon à rester presque toujours légèrement

inférieure à la contrainte d'écoulement du matériau.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les pièces à assembler sont en acier.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé de soudage-diffusion peut s'appliquer à l'assemblage de différentes nuances d'acier de construction mécanique, réputées insoudables par fusion.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé de soudage-diffusion-dynamique est adapté à l'assemblage de pièces non circulaires, tubulaires ou de section évolutive en fonction de leur longueur.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé de soudage-diffusion-dynamique est appliqué à l'assemblage d'arbres de transmission après traitement thermochimique.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé de soudage dynamique est appliqué en soudage d'arbres de boîte de vitesses après traitement thermochimique.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé de soudage-diffusion-dynamique est mis en oeuvre sous une atmosphère contrôlée.

Selon un mode de réalisation de l'invention, l'atmosphère contrôlée inclut un balayage d'azote hydrogéné.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les pièces à assembler sont soumises à un traitement mécanique et/ou physico-chimique de surface.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la préparation superficielle des pièces avant soudage, avec polissage mécanique, confère à celles-ci une rugosité inférieure à un micromètre.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la préparation superficielle des pièces avant soudage inclut un dégraissage à l'acétone et/ou à l'alcool.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé de soudage-diffusion-dynamique est appliqué à de l'acier 27CD4 et la température de soudage est maintenue en palier à 1050° C $\pm$ 50°C pendant quelques secondes.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la séquence de contrainte prévoit l'application d'une pression de 300 MPa à 20° C, restant inférieure à la limite élastique de l'acier pendant le chauffage, et ne dépassant pas 20 MPa à 1050°C.

L'invention concerne également un dispositif de soudage-diffusion-dynamique pour la mise en oeuvre du procédé, caractérisé en ce qu'il comporte des barres d'application de la pression, et un ensemble constitué d'une installation de mise sous atmosphère contrôlée et d'un système de chauffage par induction.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le dispositif de soudage-diffusion-dynamique est caractérisé en ce que les pièces à assembler sont isolées des barres d'application de la pression par des pions isolants, capables de supporter des contraintes de compression élevées.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les pions isolants sont en céramique thermomécanique.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le dispositif comporte un thermocouple et un boîtier de régulation assurant son pilotage selon des cycles thermiques et mécaniques définis par la vitesse de chauffage, la valeur et la durée de la température de palier, et la vitesse de refroidissement.

L'invention sera mieux comprise à la lecture suivante de la description d'un mode de réalisation de l'invention, en liaison avec les dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente de façon schématique le dispositif spécialement conçu pour la mise en oeuvre de l'invention,

- la figure 2 illustre, sous forme graphique, l'évolution des paramètres opératoires au cours d'une séquence de soudage.

Le dispositif représenté sur la figure 1 représente schématiquement un ensemble de compression associé à une installation de mise sous atmosphère contrôlée et à un système de chauffage par induction. Ce dispositif comporte en outre un socle 1 reposant sur une position de compression non représentée. La pression est appliquée aux pièces à assembler 2, 3 dans la direction de la flèche 4 dirigée vers le bas, par l'intermédiaire de la première barre d'application de la pression 7. La réaction du socle, verticale et dirigée vers le haut, est transmise aux pièces à assembler par l'intermédiaire d'une seconde barre de pression 8. Des pions 9, 10 assurant une isolation thermique, tout en transmettant les efforts de poussée, sont disposés entre les barres d'application de pression 7, 8 et les pièces à assembler 2, 3. Ces pions 9, 10, capables de supporter des contraintes

de pression de 1900 MPa à 20°C, peuvent avantageusement être constitués de pastilles réfractaires en céramique thermomécanique.

L'atmosphère régnant à l'intérieur de l'enceinte est contrôlée au moyen d'un système de pompes approprié 11. Une jauge 12, placée dans la partie supérieure de l'enceinte, assure la régulation dans la pression, par exemple un vide partiel de 0,5 Pa.

L'objectif recherché par le contrôle de l'atmosphère à l'intérieur de l'enceinte est d'éviter l'oxygénation des pièces. Pour cette raison on peut soumettre celles-ci au balayage d'un gaz inerte, tel que de l'azote hydrogéné.

Les pièces à assembler 2, 3 sont chauffées par induction. Le chauffage est assuré par un inducteur solénoïde 13 entourant une paroi isolante 14, par exemple du pyrex, qui assure un chauffage rapide et homogène des pièces à souder.

La température des pièces est mesurée par des termocouples non représentés soudés sur les pièces au voisinage de l'interface, et passant au travers de la gaine 15. Les thermocouples sont reliés à un boîtier de régulation et de programmation également non représenté.

Ce système permet d'asservir la commande de température. On peut ainsi programmer des cylcles thermiques appropriés aux conditions opératoires requises par le soudage réalisé. D'une façon générale, un cycle thermique de soudage-diffusion-dynamique est défini par la vitesse de chauffage, la valeur et la durée du palier de température, et la vitesse de refroidissement.

Une caractéristique essentielle de l'invention consiste en ce que la pression dynamique de soudage est modulée en fonction de la température de façon à demeurer presque toujours légèrement inférieure à la contrainte d'écoulement du matériau. Par ailleurs, on sait que l'obtention d'une jonction saine nécessite d'optimiser, sous une atmosphère contrôlée, les quatre paramètres opératoires suivants, qui sont interdépendants : la température, la pression, l'état de surface et le temps. A titre d'exemple, la figure 2 illustre graphiquement l'évolution de la température et de la pression au cours d'un soudage-diffusion-dynamique des pièces en acier, dont le point de consigne (valeur de la température en palier) est de 1050° C. Les courbes apparaissant sur ce graphique mettent en évidence que la pression appliquée diminue alors que la température augmente, si bien qu'elle reste toujours inférieure à la contrainte d'écoulement.

Dans tous les cas, les paramètres opératoires sont déterminés en vue d'obtenir des déformations plastiques locales, un contact intime, et une migration des atomes entre les pièces. L'ensemble de ces phénomènes permet en effet de parvenir à une parfaite continuité de la matière après soudage. Cette continuité constitue la principale qualité des assemblages réalisés conformément à l'invention.

L'invention peut s'appliquer au soudage des pièces métalliques de toute nature. Elle concerne principalement le soudage des alliages ferreux, et plus particulièrement celui de l'acier 27 CD4, sans que ceci n'en limite la portée. Avec ce type d'acier, la séquence de contrainte appliquée pourra avantageusement prévoir l'application d'une pression de 300 MPa à 20° C, qui restera inférieure à la limite élastique de l'acier pendant le chauffage, et ne dépassera pas 20 MPa à 1050°C $\pm$ 50°C.

Le procédé convient au soudage d'aciers réputés insoudables par fusion. Il est adapté à l'assemblage de pièces non circulaires, tubulaires ou de sections évolutives en fonction de leur longueur. On peut l'appliquer à l'assemblage d'arbres de transmission ou de boîte de vitesses, après traitement thermochimique.

Une préparation superficielle des pièces est nécessaire pour obtenir un soudage satisfaisant. Celles-ci peuvent par exemple subir un traitement mécanique consistant en une opération de polissage qui leur confère une rugosité inférieure à un micron. Avantageusement ce traitement mécanique sera suivi d'un traitement chimique approprié, tel qu'un dégraissage à l'acétone et/ou à l'alcool.

Le tableau suivant, reproduit à titre d'exemple, indique les résultats de huit essais de traction différents, effectués sur des pièces asemblées selon le procédé de soudage-diffusion-dynamique de l'invention.

SOUDAGE-DIFFUSION en 4 secondes, de pièces en acier 27 CD4 type u

| Essai N° | Rm (MPa) | A% | Lieu de rupture |
|---|---|---|---|
| 1 | 995 | 26 | MB |
| 2 | 955 | 24 | MB |
| 3 | 940 | 21 | MB |
| 4 | 970 | 19 | MB |
| 5 | 1000 | 17 | MB |
| 6 | 970 | 23 | MB |
| 7 | 995 | 23 | MB |
| 8 | 1000 | 17 | MB |

Légende :

Rm = Résistance mécanique à la rupture

A% = Pourcentage d'allongement de la pièce avant la rupture.

MB = Rupture dans le métal de base

Ce tableau met en évidence la fiabilité du procédé de l'invention, puisque à chaque essai, la rupture a lieu dans le métal de base (MB) et non au niveau de la soudure. Celle-ci témoigne donc d'une résistance à la traction supérieure au métal de base.

# REVENDICATIONS

[1] Procédé de soudage-diffusion dynamique à l'état solide, de pièces métalliques (2, 3), consistant à assembler ces pièces sous l'action conjuguée de la pression et de la température, caractérisé en ce que les pièces (2, 3) sont soudées rapidement par induction, et en ce qu'on leur applique une pression dynamique modulée en fonction de la température pendant toute la séquence de soudage.

[2] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 1 caractérisé en ce que la pression est modulée de façon à rester presque toujours légèrement inférieure à la contrainte d'écoulement du matériau.

[3] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les pièces à assembler (2, 3) sont en acier.

[4] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'assemblage de différentes nuances d'acier de construction mécanique réputées insoudables par fusion.

[5] Procédé de soudage-diffusion-dunamique selon l'une quelconque des revendicaztions 1 à 4, caractérisé en ce qu'il est adapté à l'assemblage de pièces non circulaires, tubulaires ou de section évolutive en fonction de leur longueur.

[6] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'assemblage d'arbres de transmission après traitement thermochimique.

[7] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'assemblage d'arbres de boîte de vitesses, après traitement thermochimique.

[8] Procédé de soudage-diffusion-dynamique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est mis en oeuvre sous une atmosphère contrôlée.

[9] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'atmosphère contrôlée inclut un balayage d'azote hydrogéné.

[10] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que les pièces à assembler (2, 3) sont soumises à un traitement mécanique et/ou physicochimique de surface.

[11] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 10, caractérisé en ce que la préparation superficielle des pièces (2, 3) avant soudage confère à celles-ci une rugosité inférieure à un micromètre.

[12] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 10 ou 11, cactérisé en ce que la préparation superficielle des pièces (2, 3) avant soudage inclut un dégraissage à l'acétone et/ou à l'alcool.

[13] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il est appliqué à de l'acier 27 CD4 et en ce que la température de soudage est maintenue à 1050° C ± 50° C pendant quelques secondes.

[14] Procédé de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 13, caractérisé en ce que la séquence de contrainte prévoit l'application d'une pression de 300 MPa à 20° C, restant inférieure à la limite élastique de l'acier pendant le chauffage, et ne dépassant pas 20 MPa à 1050° C ± 50°.

[15] Dispositif de soudage-diffusion dynamique, pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce qu'il comporte des barres d'application de la pression (8, 9) et un ensemble constitué d'une installation de mise sous atmosphère contrôlée (11) et d'un système de chauffage par induction.

[16] Dispositif de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 15, caractérisé en ce que les pièces à assembler (2, 3) sont isolées des barres d'application de la pression (8, 9) par des pions (9, 10) capables de supporter des contraintes de compression élevées.

[17] Dispositif de soudage-diffusion dynamique selon la revendication 16, caractérisé en ce que les pions (9, 10) isolants sont en céramique thermomécanique.

[18] Dispositif de soudage-diffusion dynamique selon l'une quelconque des revendications 15 à 17, caractérisé en ce qu'il comporte un thermocouple et un boîtier de régulation assurant son pilotage selon des cycles thermiques et mécaniques définis par la vitesse de chauffage, la valeur et la durée de la température de palier, et la vitesse de refroidissement.

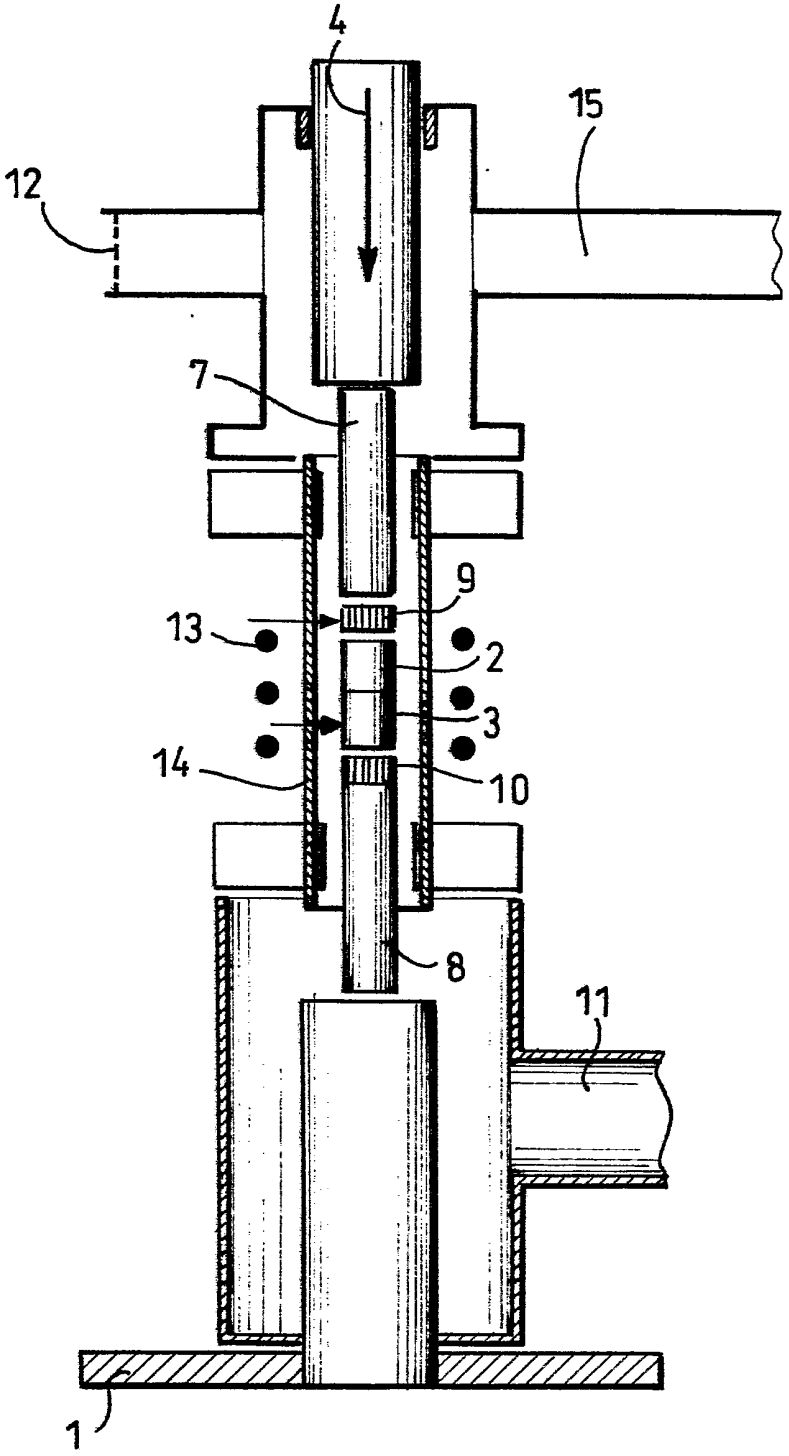



FIG.1

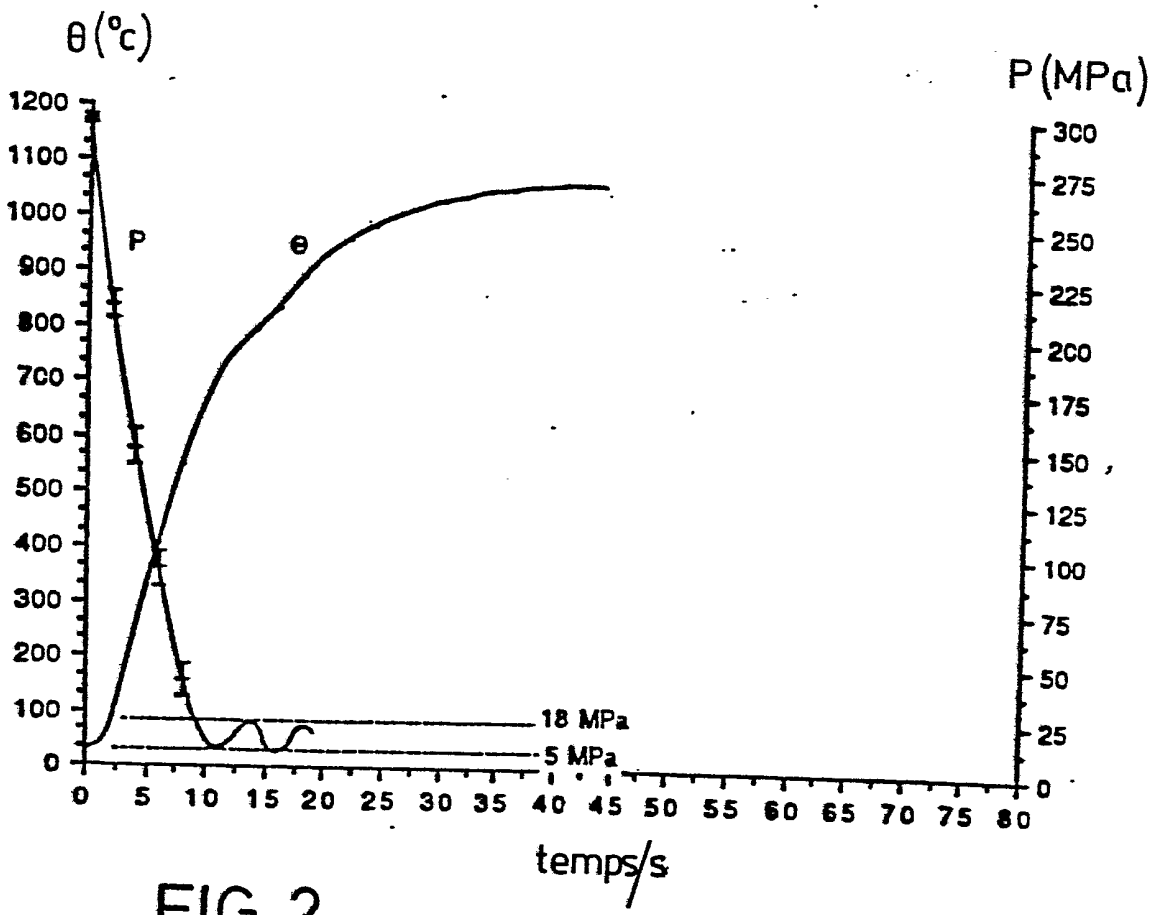

θ(°c)
P(MPa)
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
300
275
250
225
200
175
150
125
100
75
50
25
0
P
θ
18 MPa
5 MPa
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80
temps/s

FIG. 2

2670147

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

N° d'enregistrement national

FR 9015342
FA 451763

# RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

## DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | Revendications concernées de la demande examinée |
|---|---|---|
| X | FR-A-1409304 (COMPTOIR LYON-ALEMAND, LOUYOT & CIE)<br>* page 4, colonne de gauche, alinéa 4 - page 7, colonne de droite, dernier alinéa; figures * | 1, 3, 5 |
| X | GB-A-919031 (THE INTERNATIONAL NICKEL COMPANY LIMITED)<br>* page 1, ligne 21 - page 2, ligne 93; figure * | 1, 8 |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 4, no. 72 (M-13)(554) 27 mai 1980,<br>& JP-A-55 36057 (HITACHI SEISAKUSHO K.K.) 13 mars 1980,<br>* le document en entier * | 1, 18 |
| A | GB-A-842120 (COMBUSTION ENGINEERING INC.)<br>* le document en entier * | 1-18 |

**DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)**

B23K

| Date d'achèvement de la recherche | Examinateur |
|---|---|
| 22 AOUT 1991 | HERBRETEAU D. |

1

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)

**CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES**

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant