

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication: **0 382 109 B1**

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication de fascicule du brevet: **08.12.93** (51) Int. Cl.⁵: **C22F 1/00**

(21) Numéro de dépôt: **90102048.7**

(22) Date de dépôt: **02.02.90**

(54) **Procédé de conditionnement d'une pièce en alliage métallique à mémoire de forme présentant deux états de mémoire de forme réversibles.**

(30) Priorité: **08.02.89 CH 428/89**
10.02.89 FR 8901764

(43) Date de publication de la demande:
16.08.90 Bulletin 90/33

(45) Mention de la délivrance du brevet:
08.12.93 Bulletin 93/49

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

(56) Documents cités:
EP-A- 0 035 069
EP-A- 0 161 952
US-A- 4 283 233

(73) Titulaire: **Nivarox-FAR S.A.**
Avenue du Collège 10
CH-2400 Le Locle(CH)

(72) Inventeur: **Grenouillet, Guy**
Rue Capitaine Richardot
F-25130 Villers-le-Lac(FR)

(74) Mandataire: **Caron, Gérard et al**
ICB
Ingénieurs Conseils en Brevets SA
Passage Max. Meuron 6
CH-2001 Neuchâtel (CH)

EP 0 382 109 B1

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

Description

L'invention est relative à un procédé de conditionnement de pièces réalisées en alliage métallique susceptible de subir une transformation réversible de l'état de phase cristallographique de type austénitique à un état de phase cristallographique de type martensitique, et concerne notamment le conditionnement de pièces présentant des configurations complexes en vue de la mémorisation réversible par celles-ci de deux états de mémoire de forme.

On connaît déjà de la demande de brevet EP-A-161 952 un procédé de conditionnement d'une pièce en un alliage du type mentionné plus haut permettant de conférer à cette dernière un double effet de mémoire de forme réversible.

Le procédé peut être décomposé en deux séries d'opérations, à savoir la préparation de la pièce à éduquer et l'éducation de la pièce proprement dite.

En effet, avant de mettre en oeuvre le procédé d'éducation il est nécessaire de préparer la pièce, celle-ci étant au départ dans un état de phase cristallographique non défini qui ne permet pas son éducation. Cette préparation comprend essentiellement trois opérations successives au cours desquelles la pièce est d'abord conformée selon une configuration constituant un premier état de mémoire de forme, puis chauffée afin d'être amenée dans un état de phase austénitique et enfin refroidie et stabilisée à une température voisine de la température ambiante.

La préparation telle que décrite précédemment présente cependant quelques difficultés lors de sa mise en oeuvre.

Il est notamment difficile, selon ce procédé de préparation, de conformer précisément des pièces dans leur premier état de mémoire de forme, la difficulté d'obtention d'une configuration précise étant d'autant plus grande que la géométrie de la pièce est complexe. Cela s'explique par le fait que lorsque la pièce est chauffée afin d'atteindre son état de phase austénitique, elle est portée, pour des raisons de sécurité, à une température légèrement supérieure à la température théorique de début d'apparition de la phase austénitique monophasée. Or à cette température on est proche de la température de fusion de l'alliage, il en résulte que la pièce se trouve dans un état de ramollissement dans lequel elle s'affaisse sous son propre poids et par suite perd sa forme initiale. Ceci constitue un inconvénient important dans de nombreuses applications telles que la préparation de pièces complexes de faibles sections.

Par ailleurs, le procédé d'éducation comprend les opérations consistant successivement à déformer la pièce afin de l'amener dans la configuration

constituant son second état de mémoire de forme en la soumettant, à température ambiante, à une contrainte mécanique, à soumettre cette pièce sous la contrainte mécanique à un abaissement de la température telle qu'elle est amenée dans un état de phase martensitique, à supprimer la contrainte mécanique, et à chauffer la pièce à une température telle qu'elle est à nouveau amenée dans un état de phase austénitique si bien qu'elle reprend la configuration constituant son premier état de mémoire de forme. Ce cycle peut être répété en une pluralité de fois pour parfaire l'éducation.

Le procédé d'éducation décrit n'apporte pas non plus entière satisfaction. En effet, la mise en oeuvre de ce procédé nécessite un grand nombre de manipulations délicates, puisqu'au cours de chaque cycle il faut successivement imposer une contrainte mécanique à la pièce et supprimer cette contrainte mécanique. Ainsi l'éducation d'une série de pièces est consommatrice de temps et par conséquent coûteuse.

Il est également connu de la demande de brevet EP-A-0 035 069 une méthode d'amélioration du double effet de mémoire de forme réversible pour des alliages Cu/Al ou Cu/Al/Ni consistant en un traitement de stabilisation de 0,1 à 10 heures à 200-350 ° C avant le procédé d'éducation.

L'invention a donc pour but principal de remédier aux inconvénients de l'art antérieur susmentionné.

A cet effet, la présente invention a pour objet un procédé de conditionnement d'une pièce en alliage métallique susceptible de subir une transformation réversible de l'état de phase cristallographique martensitique pour la mémorisation réversible de deux états de mémoire de forme comprenant les opérations consistant à

- conformer à la température ambiante, la pièce à la forme constituant le premier état de mémoire de forme,
- chauffer la pièce pour l'amener dans un premier état de phase cristallographique austénitique,
- soumettre la pièce à un premier abaissement brusque de la température et à un traitement de stabilisation tout en conservant l'état de phase cristallographique austénitique,
- soumettre la pièce à un deuxième abaissement brusque de la température pour l'amener dans un état de phase cristallographique martensitique en lui imposant simultanément une contrainte mécanique destinée à conformer la pièce dans le second état de mémoire de forme, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une opération consistant à imposer à la pièce mécaniquement maintenue dans son second état de mémoire de forme une

série de contraintes thermiques pour amener alternativement la pièce d'un état de phase cristallographique martensitique à un état de phase cristallographique austénitique.

On évite ainsi les différentes manipulations de mise sous contraintes mécaniques de la pièce à chaque cycle d'éducation du procédé connu décrit plus haut, si bien que l'éducation est simplifiée et facilitée.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description détaillée qui suit d'une manière possible, mais non limitative, de mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

Cette description sera faite en référence aux dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 montre un graphique représentant les traitements thermiques que subit une pièce en fonction du temps, au cours de la mise en oeuvre du procédé selon l'invention,
- les figures 2 et 3 montrent respectivement les configurations à haute température et à basse température d'un ressort réalisé selon le procédé de l'invention, et
- les figures 4 à 10 montrent les différentes configurations du ressort aux différentes étapes du procédé de conditionnement selon l'invention.

Le procédé de conditionnement selon l'invention permet la préparation et l'éducation de pièces en alliage métallique à mémoire de forme en vue de sa mémorisation par ces dernières, de façon réversible, de deux états de mémoire de forme.

Ces pièces sont réalisées de façon connue en alliage métallique du type ayant la propriété de pouvoir subir une transformation réversible de leur état de phase cristallographique austénitique (haute température) à l'état de phase cristallographique martensitique (basse température).

Avec de tels alliages, la transition d'un état de phase à l'autre s'effectue dans un sens comme dans l'autre dans un intervalle de température. La température à laquelle la phase austénitique commence à apparaître lors du chauffage de l'alliage est appelée A_s et la température à laquelle la formation de la phase est achevée est appelée A_f ($A_f > A_s$). De façon similaire, lors du refroidissement de l'alliage les températures de début et de fin de transformation de phase martensitique sont appelés M_s et M_f respectivement ($M_f < M_s$).

D'une manière générale, il est à noter que M_s et M_f sont sensiblement inférieures à A_f et A_s respectivement, les intervalles de températures $[A_s, A_f]$ et $[M_s, M_f]$ étant dépendants de la composition de l'alliage.

On va maintenant décrire en liaison avec la figure 1 le procédé de conditionnement d'une pièce P selon l'invention.

La figure 1 est un graphe dont l'axe des abscisses représente le temps et l'axe des ordonnées de la température. Ce graphe représente schématiquement les cycles thermiques et les configurations d'une pièce P à conditionner, pendant les opérations successives $O_1, O_2 \dots O_7$ du procédé.

Les deux premières opérations O_1 et O_2 sont réalisées à température ambiante T_1 , c'est-à-dire de 0° à 50° C environ. Il est à noter que les températures de références A_s, A_f, M_s, M_f peuvent être supérieures ou inférieures à la température ambiante, selon l'alliage métallique utilisé. Ces températures peuvent être inférieures à 0° C, ou supérieure à 0° C comme on l'a représenté sur le graphe.

Au cours de l'opération O_1 , la pièce P est conformée à l'aide de moyens de configuration appropriés selon une configuration déterminée. Cette configuration qui constitue un premier état de mémoire de forme correspond à la configuration de la pièce à haute température.

Notamment dans le cas où la configuration initiale de la pièce et le premier état de mémoire de forme sont très éloignés, il peut être avantageux de procéder à la configuration de la pièce en plusieurs étapes successives, chacune utilisant un moyen de configuration particulier pour passer progressivement de la configuration initiale au premier état de forme.

La pièce ainsi conformée est ensuite mise en place dans un dispositif dans lequel elle peut être maintenue sous une contrainte mécanique σ - (tension, compression ou autre) et/ou simplement soutenue, par exemple par un gabarit, selon la complexité de sa géométrie (opération O_2). Grâce à ce maintien et/ou soutien, on s'affranchit des problèmes d'élasticité propre de la pièce déformée et des problèmes de tenue mécanique de la pièce lors des traitements thermiques. Il en résulte que la pièce conserve précisément son premier état de mémoire de forme.

La pièce est alors soumise à une élévation de température pour être amenée dans un état de phase cristallographique austénitique (opération O_3). Lors de cette opération, on réalise un chauffage à coeur de la pièce à une température T_3 comprise dans une gamme s'étendant d'environ de 600° à 850° C selon l'alliage considéré. Ce chauffage est réalisé, par exemple, dans un four à chambre classique, ce dernier ayant été préalablement chauffé.

Il est à noter, à ce propos, que le temps de passage de la pièce dans le four doit être le plus court possible, compte tenu de la forme et de la dimension de la pièce, afin d'éviter une évaporation des métaux légers de l'alliage. En effet, une telle évaporation entraîne une modification de la composition de l'alliage et par conséquent une modifica-

tion sensible des caractéristiques thermiques (points de transition, etc) et mécaniques (limite d'élasticité, etc) qui risque de modifier l'aptitude à l'éducation de l'alliage d'une part, et la plage de températures d'utilisation de la pièce d'autre part.

Consécutivement à ce chauffage, la pièce toujours maintenue et/ou soutenue est soumise à un brusque refroidissement jusqu'à une température T_4 (opération O_4). L'abaissement de la température réalisé, par exemple, au moyen d'une trempe, permet la fixation de la phase austénitique. Dans tous les cas, la température T_4 atteinte après le refroidissement doit être supérieure à la température A_f sans quoi la potentialité d'éducation de la pièce est perdue, cette dernière ayant, dans ce cas, traversé sa zone de transformation de phase austénitique-martensitique sans changement de configuration. Par ailleurs, la température T_4 à laquelle la pièce est refroidie doit être choisie de sorte que toute apparition d'une phase parasite, c'est-à-dire une phase autre que l'austénite ou associée à l'austénite, soit évitée.

Une fois la phase austénitique fixée, on procède à un traitement thermique de stabilisation de la pièce (opération O_5). Ce traitement consiste à maintenir la pièce pendant quelques dizaines d'heures à une température T_5 supérieure à A_f et, par exemple, égale à la température T_4 à laquelle la pièce a été précédemment refroidie. Ce traitement permet une réorganisation structurale de l'alliage et permet notamment de libérer les contraintes internes et d'éliminer les lacunes et autres défauts ponctuels qui auraient pu apparaître lors du refroidissement brusque.

On notera également que pendant cette stabilisation le maintien et/ou soutien peut être supprimé, puisque la pièce est déjà fixée dans son premier état de mémoire de forme.

Il est à noter de manière impérative que pour conserver la possibilité d'éduquer la pièce, la température de la pièce entre les deux opérations O_4 et O_5 doit rester quelques dizaines de degré au dessus de la température A_f .

La pièce obtenue étant stabilisée dans son premier état de mémoire de forme, peut être alors soumise à un procédé d'éducation.

La pièce préparée selon l'invention (opérations O_1 à O_5) peut être éduquée selon le procédé d'éducation décrit dans la demande de brevet EP-A1-161 952. Cependant, ce procédé d'éducation nécessite, comme on l'a mentionné plus haut, de nombreuses manipulations des pièces ce qui le rend peu avantageux dans le cadre d'une production en série.

Pour éviter ces inconvénients, on utilise avantageusement selon l'invention un procédé d'éducation dans lequel la pièce est d'abord soumise à un brusque abaissement de température pour l'ame-

ner dans un état martensitique, tout en lui imposant simultanément une contrainte mécanique destinée à la conformer dans le second état de mémoire de forme (opération O_6). A ce moment, la pièce est déjà éduquée. Là encore, on entend par abaissement de température pour amener la pièce dans un état martensitique un abaissement à une température T_6 inférieure à M_f .

Pour parfaire l'éducation de la pièce selon l'invention, on impose à cette dernière une opération supplémentaire O_7 . Cette opération consiste à soumettre la pièce maintenue mécaniquement dans son second état de mémoire de forme à une série de contraintes thermiques pour l'amener alternativement de l'état martensitique à l'état austénitique. L'éducation obtenue est d'autant plus efficace que le nombre de contraintes thermiques est grand et/ou que l'alliage métallique utilisé est de bonne qualité.

On va maintenant décrire successivement les différentes opérations du procédé de conditionnement selon l'invention en l'appliquant au conditionnement d'un ressort hélicoïdal en vue de la mémorisation par ce dernier de deux positions de mémoire de forme en liaison avec les figures 2 à 10.

Sur les figures 2 et 3, on a représenté un ressort hélicoïdal 2 respectivement dans ses premier et second états de mémoire de forme.

Le premier état de mémoire de forme correspond à la forme du ressort à haute température ($T > A_f$) tandis que le second état correspond à la forme du ressort à basse température ($T < M_f$).

Dans l'exemple décrit, le ressort 2 a dans sa forme à haute température des spires 4 écartées les unes des autres d'un pas X et a dans sa forme à basse température, ses spires 4 écartées d'un pas Y où $X > Y$. Bien entendu, le choix des formes des pièces à haute et à basse températures est arbitraire et dépend essentiellement de l'application de celles-ci.

L'alliage utilisé pour réaliser le ressort est, de manière non limitative, un alliage métallique à mémoire de forme comprenant approximativement 75 % de cuivre, 18 % de zinc et 7 % d'aluminium et dont les températures de transition de phase sont sensiblement les suivantes : $A_s = 43^\circ \text{C}$, $A_f = 68^\circ \text{C}$, $M_s = 56^\circ \text{C}$ et $M_f = 41^\circ \text{C}$.

Bien entendu, les nuances de l'alliage peuvent varier selon que l'on désire obtenir un ressort ayant des températures de transition de phases plus ou moins élevées. On notera également que le procédé qui va être décrit maintenant plus précisément est valable pour d'autres alliages à mémoire de formes tels que les alliages $Ti + Ni$, $Ti + Ni + X$, $Cu + Al + X$, $Fe + X$; etc... X appartenant à l'ensemble des dopants métalliques.

En se référant plus particulièrement aux figures 4 à 8, on voit le ressort 2 aux différentes opéra-

tions successives constituant la préparation avant son éducation proprement dite.

A la figure 4, on voit le ressort à température ambiante avant sa préparation. Ce ressort à été mis en forme par roulage, ou tout autre moyen équivalent, à partir d'un fil en alliage à mémoire de forme du type défini précédemment.

L'opération suivante, représentée à la figure 5, consiste à une mise sous tension F du ressort 2 à la température ambiante de sorte qu'il prend la configuration correspondant à son premier état de mémoire de forme. Pour ce faire, on fixe, par exemple, le ressort par chacune de ses extrémités à un dispositif de support 6. Ce support peut être constitué par une gouttière, les bords 8 des parois de cette dernière étant chacun engagés entre deux spires d'une extrémité du ressort. On choisit de préférence un dispositif de support présentant une inertie thermique plus faible ou égale à celle du ressort pour ne pas perturber les effets des traitements thermiques ultérieurs. Dans le présent exemple, le support a été réalisé à partir d'un grillage en acier inoxydable afin d'éviter une diffusion des matériaux constitutifs du support sur la pièce à conditionner.

On notera que de manière avantageuse, l'utilisation d'un support tel qu'une gouttière permet la mise sous tension d'un grand nombre de pièces simultanément.

A l'opération illustrée à la figure 6 le ressort 2 mis en place sur le support (c'est-à-dire sous tension) est soumis à une température d'environ 750 ° C afin d'amener le ressort de façon certaine dans l'état de phase austénitique.

Pour ce faire, le ressort est introduit, par exemple, dans un four à chambre classique, ce dernier ayant été préchauffé pendant deux heures à 750 ° C. Le ressort est alors maintenu dans le four par exemple entre 1 et 60 minutes, ce temps correspondant en fait au temps nécessaire pour effectuer une transformation austénitique à coeur du ressort. Par conséquent, le temps de chauffage dépend des formes et dimensions du ressort, et pour des raisons déjà explicitées plus haut, le temps de chauffage doit être le plus court possible.

Selon le procédé de l'invention, on remarque de façon avantageuse que le ressort conserve sa configuration au cours du chauffage, et cela même à température élevée, la tension sous laquelle il est maintenu l'empêchant de s'affaisser malgré l'état de ramollissement de la matière à cette température.

Suite à cette opération, on procède à une fixation de la phase austénitique (figure 7). Cette fixation est réalisée en refroidissant brusquement la pièce à une température supérieure à Af tout en évitant la formation de phases parasites. Dans le cas du ressort, on refroidit à une température su-

périeure de 20 à 30 ° C à la température Af de l'alliage, soit à environ 90 à 100 ° C.

Ce brusque abaissement de la température consiste en une trempe du ressort dans un bain thermostaté à environ 100 ° C. Ce bain contient un fluide caloporteur ayant des caractéristiques de refroidissement rapide et homogène. De préférence, on utilise dans cette gamme de température des huiles de types cryothermales, par exemple, une huile de silicone de type vendue sous la dénomination Rhodorsil manufacturée par Rhone Poulenc.

Dans le cas où l'on utilise des alliages métalliques à mémoire de forme présentant des températures de transition inférieures à 0 ° C, la trempe pourra aisément être réalisée dans de l'eau à température ambiante.

L'opération sus-décrite terminée, il convient alors de supprimer les défauts ponctuels et les contraintes internes inhérentes au brusque refroidissement.

Pour ce faire, on soumet le ressort 2 à un traitement thermique de stabilisation (figure 8) afin de réorganiser la structure cristalline de l'alliage et de libérer les contraintes internes. Ce traitement consiste à maintenir pendant 10 à 20 heures le ressort dans le bain dans lequel il a été refroidi, ce dernier n'en ayant pas été retiré après l'étape précédente. Puisque la configuration du ressort dans son premier état de mémoire de forme a été fixé en même temps que la trempe, il n'est alors plus nécessaire de maintenir ce dernier sous tension.

La préparation de la pièce étant terminée, on procède comme cela est illustré aux figures 9 et 10 à l'éducation du ressort.

A la figure 9, est illustrée l'opération essentielle de l'éducation, cette opération consistant à soumettre simultanément le ressort 2, d'une part, à une contrainte mécanique de compression C, pour le conformer dans son second état de mémoire de forme et, d'autre part, à un brusque abaissement de la température, à savoir, à une température inférieure à Mf. Dans le cas de l'alliage choisi, le ressort subit une trempe dite martensitique à une température comprise entre 0 ° et 20 ° C, le ressort étant pincé, par exemple, entre les bords 10 d'une gouttière 12 afin de diminuer son pas. De préférence, la conformation du ressort dans sa forme basse température est réalisée dans l'intervalle de température compris entre Af et Mf.

Enfin, le ressort tout en restant soumis à la contrainte mécanique susdite, est alternativement chauffé à une température supérieure à Af soit 90 ° à 110 ° C puis à un brusque refroidissement à une température inférieure à Mf soit de 0 ° à 20 ° C pour l'alliage en question ceci étant répété quelques dizaines de fois.

De manière avantageuse, le support, permettant le maintien sous contrainte du ressort dans son second état de mémoire de forme, est conçu pour permettre l'éducation d'un grand nombre de ressorts simultanément. Ainsi on supprime les manipulations des ressorts inhérentes au procédé de l'art antérieur décrit plus haut.

Revendications

1. Procédé de conditionnement d'une pièce en alliage métallique susceptible de subir une transformation réversible de l'état de phase cristallographique martensitique pour la mémorisation réversible de deux états de mémoire de forme comprenant les opérations consistant à

- conformer, à la température ambiante, la pièce à la forme constituant le premier état de mémoire de forme,
- chauffer la pièce pour l'amener dans un premier état de phase cristallographique austénitique,
- soumettre la pièce à un premier abaissement brusque de la température et à un traitement de stabilisation tout en conservant l'état de phase cristallographique austénitique,
- soumettre la pièce à un deuxième abaissement brusque de la température pour l'amener dans un état de phase cristallographique martensitique en lui imposant simultanément une contrainte mécanique destinée à conformer la pièce dans le second état de mémoire de forme, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une opération consistant à imposer à la pièce mécaniquement maintenue dans son second état de mémoire de forme une série de contraintes thermiques pour amener alternativement la pièce d'un état de phase cristallographique martensitique à un état de phase cristallographique austénitique.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'opération de conformation de la pièce à la température ambiante comprend plusieurs étapes successives pour passer progressivement d'une configuration initiale de la pièce au premier état de mémoire de forme.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que lors de l'opération pendant laquelle la pièce mécaniquement maintenue est soumise à un brusque abaissement de la température et à un traitement thermique de stabilisation, la pièce est soumise brusquement

à une température sensiblement supérieure à la température (M_s) de début de formation de la phase martensitique pour fixer la phase austénitique et est maintenue à cette température pendant 10 à 20 heures.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, dans le procédé d'éducation la contrainte mécanique destinée à conformer la pièce dans le second état de mémoire de forme est imposée à la pièce entre les températures de début et de fin de la phase martensitique.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lors de l'opération pendant laquelle la pièce est soumise à un traitement thermique pour l'amener dans un état de phase cristallographique austénitique, la pièce est amenée à une température voisine de 800°C et est maintenue à cette température entre 1 et 60 mn.

Claims

1. Method of conditioning an article made from metallic alloy capable of undergoing reversible transformation from the martensitic crystallographic phase state for the reversible memorisation of two shape memory states comprising the operations consisting of

- shaping the article at ambient temperature to the form constituting the first shape memory state,
- heating the article to transform it into a first austenitic crystallographic phase state,
- subjecting the article to a first sudden lowering of temperature and to a thermal stabilisation treatment whilst still preserving the austenitic crystallographic phase state,
- subjecting the article to a second sudden lowering of temperature to transform it into a martensitic phase state whilst simultaneously imposing upon it a mechanical stress intended to shape the article into the second shape memory state, characterized in that it further comprises an operation consisting of imposing upon the article mechanically held in its second shape memory state a series of thermal stresses to transform the article alternately from a martensitic crystallographic phase state to a austenitic crystallographic phase state.

2. Method according to claim 1, characterized in that the operation for shaping the article at ambient temperature comprises a number of successive stages to pass progressively from an initial shape of the article to the first shape memory state. 5
3. Method according to claim 1 or 2, characterized in that in the operation during which the mechanically held article is subjected to a sudden lowering of temperature and to a thermal stabilisation treatment, the article is suddenly subjected to a temperature substantially higher than the temperature (Ms) of onset of formation of the martensitic phase to fix the austenitic phase and is maintained at this temperature for 10 to 20 hours. 10 15
4. Method according to any one of the preceding claims, characterized in that in the education process, the mechanical stress intended for shaping the article in the second shape memory state is imposed upon the article between the temperatures of the onset and termination of the martensitic phase. 20 25
5. Method according to any one of the preceding claims, characterized in that in the operation during which the article is subjected to a thermal treatment to transform it into a state of the austenitic crystallographic phase state, the article is brought to a temperature close to 800 °C and is maintained at this temperature between 1 and 60 minutes. 30 35

Patentansprüche

1. Verfahren zum Konditionieren eines Werkstücks aus einer metallischen Legierung, die einer reversiblen Transformation des martensitischen, kristallographischen Phasenzustands unterliegt für die reversible Einprägung von zwei Formgedächtniszuständen, umfassend die Arbeitsgänge, bestehend aus 40
 - Versetzen des Werkstücks in die Form, welche den ersten Formgedächtniszustand darstellt bei Umgebungstemperatur, 45
 - Erhitzen des Werkstücks, um es in einen ersten austenitischen, kristallographischen Phasenzustand zu bringen, 50
 - Unterwerfen des Werkstücks einer ersten schnellen Temperaturabsenkung und einer Stabilisationsbehandlung unter Beibehaltung des austenitischen, kristallographischen Phasenzustands, 55
 - Unterwerfen des Werkstücks einer zweiten schnellen Temperaturabsenkung, um

es in den martensitischen, kristallographischen Phasenzustand zu bringen, indem man es gleichzeitig einer mechanischen Belastung unterwirft, die dazu dient, das Werkstück in den zweiten Formgedächtniszustand zu bringen, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner einen Arbeitsgang umfaßt, bestehend aus dem Unterwerfen des Werkstücks, das mechanisch in seinem zweiten Formgedächtniszustand gehalten wird, einer Serie von thermischen Belastungen, um das Werkstück alternierend von einem martensitischen, kristallographischen Phasenzustand in einen austenitischen, kristallographischen Phasenzustand zu bringen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungsarbeitsgang des Werkstücks bei Umgebungstemperatur mehrere aufeinanderfolgende Etappen umfaßt, um progressiv von einer Anfangskonfiguration des Werkstücks in den ersten Formgedächtniszustand zu gelangen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß während des Arbeitsganges, während welchem das mechanisch gehaltene Werkstück einer schnellen Temperaturabsenkung und einer thermischen Stabilisationsbehandlung unterworfen wird, das Werkstück einer schnellen Temperaturbehandlung im wesentlichen oberhalb der Temperatur (Ms) unterworfen wird, bei der die Bildung der martensitischen Phase beginnt, um die austenitische Phase zu fixieren und bei dieser Temperatur während 10 bis 20 Stunden gehalten wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Einprägeprozeß die mechanische Belastung, die dazu bestimmt ist, das Werkstück in den zweiten Formgedächtniszustand zu bringen, auf das Werkstück zwischen der Anfangs- und der Endtemperatur der martensitischen Phase zur Einwirkung gebracht wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß während des Arbeitsganges, während welchem das Werkstück einer thermischen Behandlung unterworfen wird, um es in den austenitischen, kristallographischen Phasenzustand zu bringen, das Werkstück auf eine Temperatur nahe 800 °C gebracht wird und bei dieser Temperatur zwischen 1 und 60 Minuten gehalten wird.

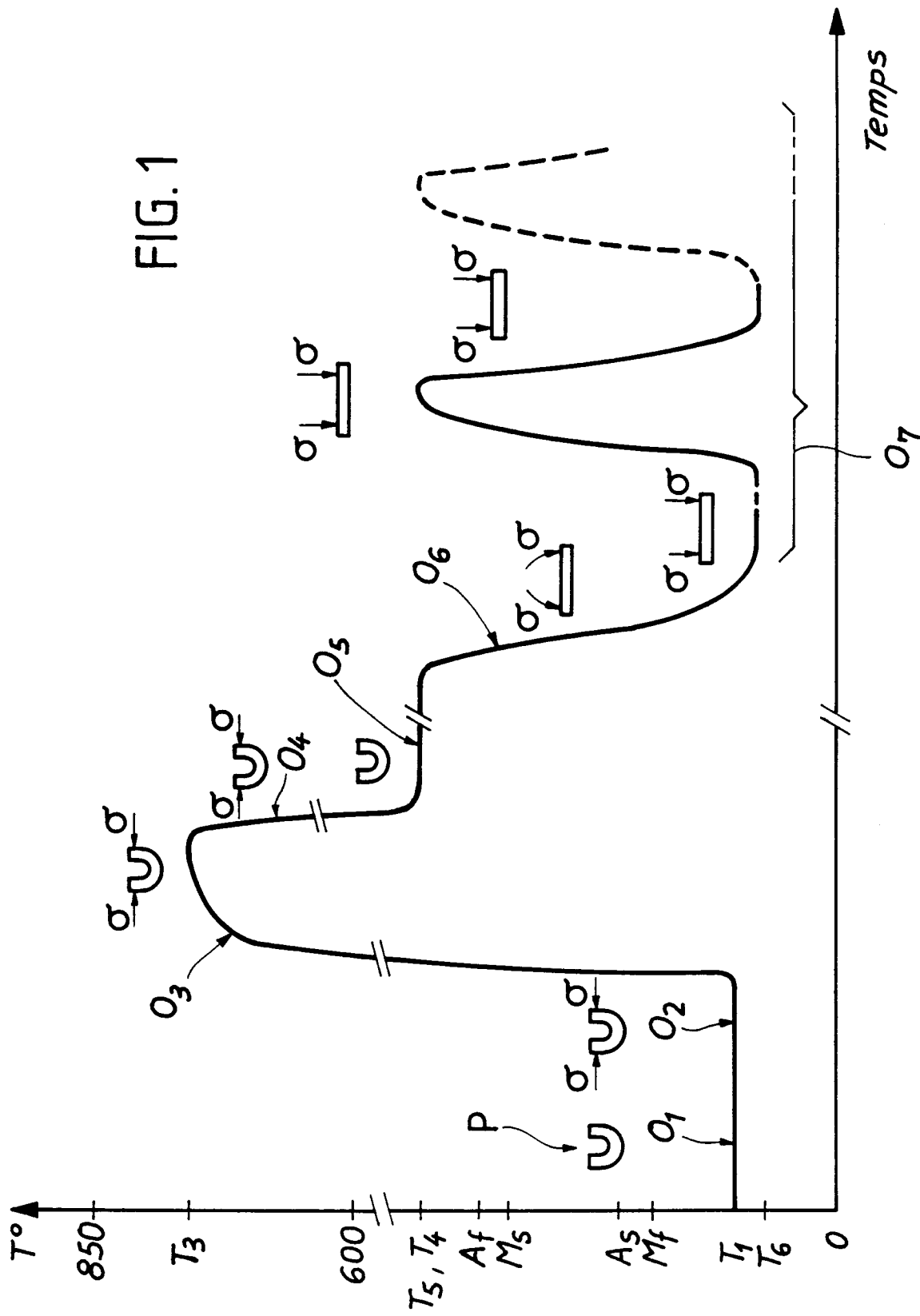


FIG. 2

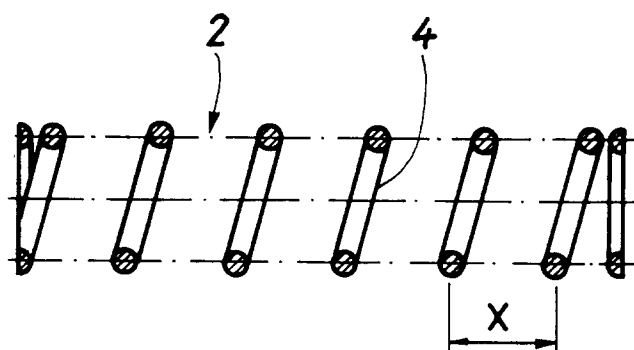


FIG. 3

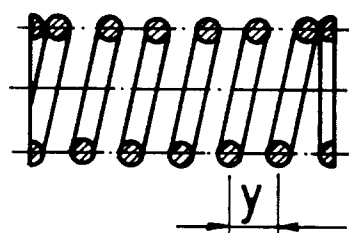


FIG. 4

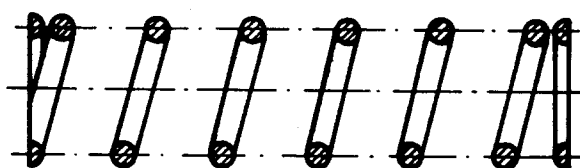


FIG. 5

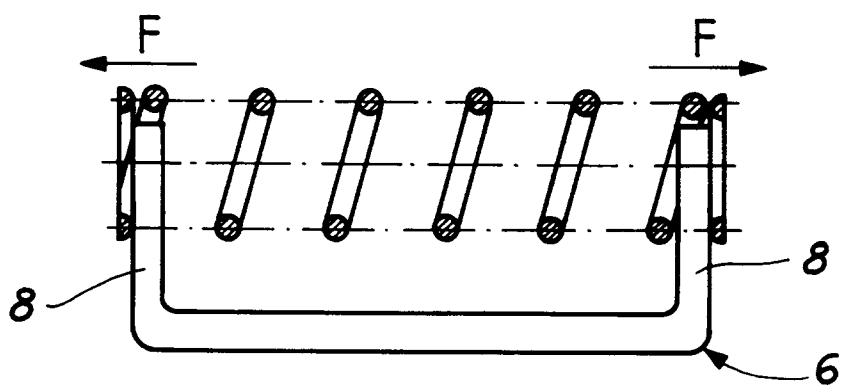


FIG. 6

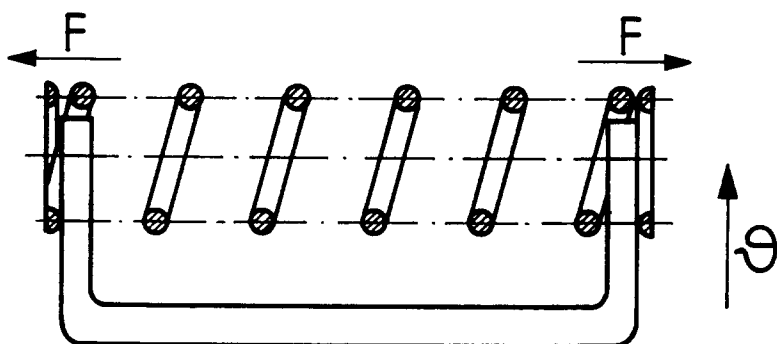


FIG. 7

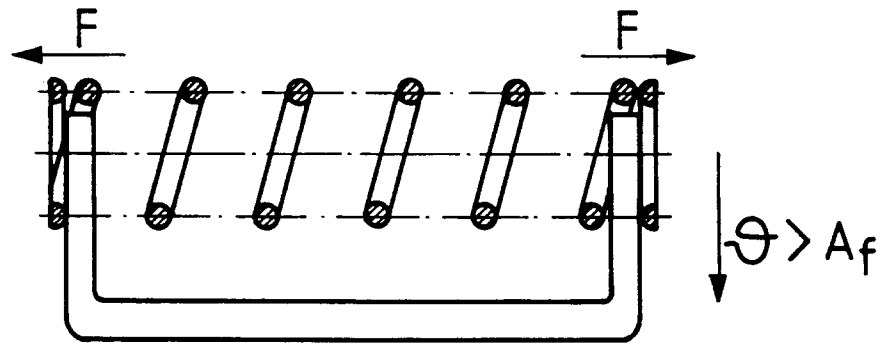


FIG. 8

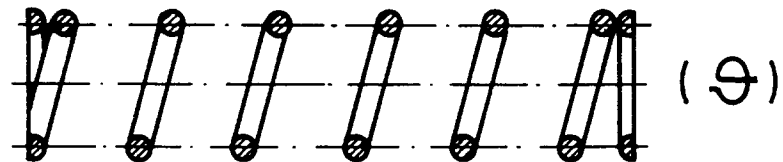


FIG. 9

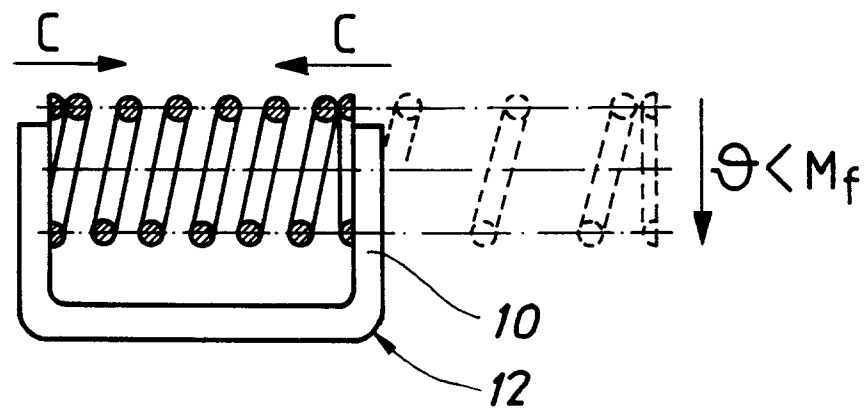


FIG. 10

