



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115180** (13) **C2**
(51) МПК (2017.01)
C22F 1/00
C22F 1/10 (2006.01)
G01K 11/00

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

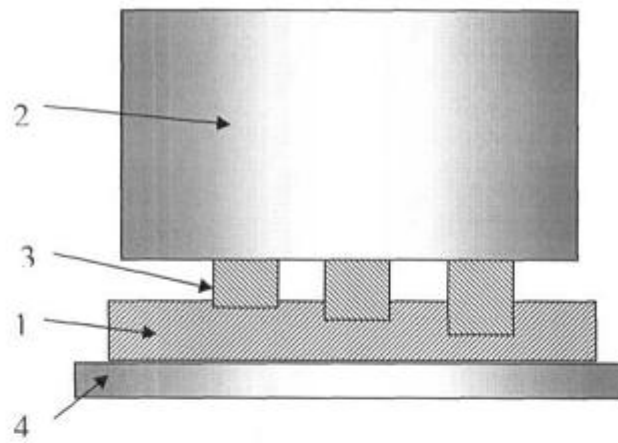
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2015 11829	(72) Винахідник(и): Бублей Ірина Роальдівна (UA), Коваль Юрій Миколайович (UA), Кудрявцев Юрій Васильович (UA), Неганов Леонід Михайлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 30.11.2015	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, бул. Вернадського, 36, м. Київ-142, 03142 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.09.2017	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: SU 330 359 A, 24.11.1972 SU 606 894 A, 24.04.1978 SU 836 200 A, 07.06.1981 UA 8 529 C2, 15.08.2005 UA 9 093 C2, 15.09.2005 UA 83 154 C2, 10.06.2008 GB 1 499 404 A, 01.02.1978 JP H 01-210861 A, 24.08.1989 JP 06-203736 A, 22.07.1994 US 7 377 690 B1, 27.05.2008 US 2008282962 A1, 20.11.2008
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.03.2016, Бюл.№ 6	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2017, Бюл.№ 18	

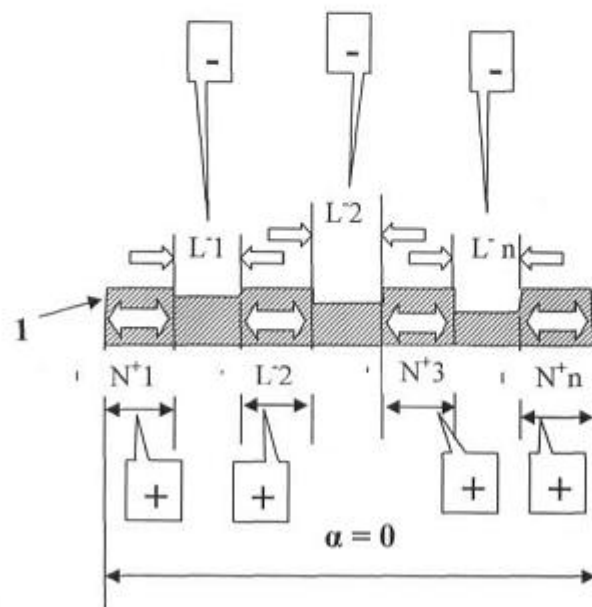
(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕМПЕРАТУРОЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА**(57)** Реферат:

Винахід належить до галузі металургії, а саме - до способу виготовлення температурочутливого елемента зі сплавів з ефектом пам'яті форми. Спосіб включає гартування елемента з β -області, його деформацію, фіксування елемента в деформованому стані з наступним відпуском, причому деформацію елемента здійснюють розтягуванням на 0,5-5,0 % при температурі, нижче точки кінця прямого мартенситного перетворення (M_k) в інтервалі M_k-X , де $X=1-60^\circ\text{C}$, позначають на елементі "додатні" ($N^+1, N^+2, N^+3 \dots N^+n$) та "від'ємні" ($L^-1, L^-2 \dots L^-n$) ділянки, при температурі M_k , які чергуються по його довжині, де n - порядковий номер "додатної" та "від'ємної" ділянок елемента, піддають циклічному ступінчатому пресуванню ділянки ($L^-1, L^-2 \dots L^-n$) під тиском 0,5-500 МПа при температурі M_k-X , де $X=1-60^\circ\text{C}$, починаючи з першої ділянки (L^-1), збільшуючи з кожною наступною "від'ємною" ділянкою число циклів і величину навантаження від 0,5 до 50 МПа, фіксують геометричну форму "від'ємних" ділянок елемента, відпуск здійснюють при температурах 250-300 $^\circ\text{C}$ впродовж 20-30 хвилин, після чого знімають фіксацію і здійснюють нагрівання до температури 400 $^\circ\text{C}$ з витримкою 10-25 секунд. Винахід забезпечує розширення робочого інтервалу температур температурочутливого елемента до 120 $^\circ\text{C}$ при одночасному зменшенні величини ТКЛР до нульового значення, підвищення надійності роботи оптичної системи приладу з цим температурочутливим елементом та покращення якості зображення такої оптичної системи.

UA 115180 C2



a



б

Фиг. 1

Винахід належить до галузі металургії, зокрема до способів виготовлення температурочутливого елемента (далі - ТЧЕ) зі сплавів з ефектом пам'яті форми, зокрема на основі системи мідь-алюміній, і може бути використаний в системах термокомпенсації теплового розширення вузлів оптичних систем та деталей, а також в оптичних навігаційних приладах з високими показниками розв'язання зображень (мікроскопах, телескопах, оптичних прицілах, далековимірниках, проекційних та знімальних апаратах, спектрометрах, спектрографах та ін.).

Відомий спосіб виготовлення температурочутливого елемента зі сплаву системи мідь-алюміній-нікель, що включає деформування для надання заданої форми, з наступним гартуванням від температури 900 °С [Авторське свідоцтво СРСР № 330359, МПК G01K 11/00, 1970].

Недоліками відомого способу є: малий робочий інтервал температур ($\Delta T_p = 35-40$ °С), обумовлений обмеженою областю температур зворотного мартенситного перетворення (A_p-A_k); низька точність компенсації температурного коефіцієнту лінійного розширення α (далі - ТКЛР) оптичних систем, що призводить до дрейфу фокусної відстані в оптичних системах та спричиняє розмиття зображення. Мінімальна величина ТКЛР для вказаного робочого інтервалу температур температурочутливого елемента (ΔT_p) становить $\alpha = 12,3 \cdot 10^{-6}$ град.⁻¹. Окрім цього, недоліком способу є те, що виготовлений температурочутливий елемент не може самостійно змінювати геометричну форму при охолодженні у інтервал температур прямого мартенситного перетворення (M_p-M_k). Для цього потрібно застосовувати зовнішню силу, у зв'язку з чим елемент додатково споряджають вузлом направлено навантаження, що ускладнює конструкцію елемента і знижує надійність його роботи.

Під робочим інтервалом температур температурочутливого елемента (ΔT_p), слід розуміти різницю температур між температурою кінця зворотного мартенситного перетворення (A_k) і температурою кінця прямого мартенситного перетворення (M_k), в якому відбувається відновлення початкової форми при нагріванні до точки A_k і наступне відновлення початкової форми температурочутливого елемента при охолодженні до точки M_k .

Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб виготовлення температурочутливого елемента зі сплавів з ефектом пам'яті форми, що включає гартування з β -області, деформацію в області пружних напружень при температурі, що перевищує точку кінця зворотного мартенситного перетворення, фіксування елемента в деформованому стані з подальшим відпуском при 150-300 °С впродовж від 5 хвилин до 3 годин (Авторське свідоцтво СРСР № 606894, МПК C22F 1/00, 1978).

Недоліками відомого способу є: малий робочий інтервал температур ($\Delta T_p = 40$ °С), високий ТКЛР величина якого для вказаного робочого інтервалу температур становить $\alpha = 16,8 \cdot 10^{-6}$ град.⁻¹.

В основу винаходу поставлено задачу розробити спосіб виготовлення температурочутливого елемента зі сплавів з пам'яттю форми шляхом деформації ТЧЕ розтягуванням при температурі, нижче точки кінця прямого мартенситного перетворення (M_k) в інтервалі M_k-X , де $X=1-60$ °С, позначення на ТЧЕ «додатних» ($N^+1, N^+2, N^+3 \dots N^+n$) і «від'ємних» ($L^-1, L^-2 \dots L^-n$) ділянок, при температурі M_k , які чергуються по його довжині, циклічного ступінчатого пресування ділянок ($L^-1, L^-2 \dots L^-n$) та наступної термічної обробки ТЧЕ, внаслідок чого вдається розширити робочий інтервал температур ($\Delta T_p = 120$ °С) ТЧЕ при одночасному зменшенні величини ТКЛР до нульового значення ($\alpha=0$), що підвищує надійність роботи оптичної системи та покращує якість зображення.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виготовлення температурочутливого елемента зі сплавів з ефектом пам'яті форми, що включає гартування елемента з β -області, його деформацію, фіксування елемента в деформованому стані з наступним відпуском. згідно з винаходом, деформацію елемента здійснюють розтягуванням на 0,5-5,0 % при температурі, нижче точки кінця прямого мартенситного перетворення (M_k) в інтервалі M_k-X , де $X=1-60$ °С, позначають на елементі «додатні» ($N^+1, N^+2, N^+3 \dots N^+n$) та «від'ємні» ($L^-1, L^-2 \dots L^-n$) ділянки, при температурі M_k , які чергуються по його довжині, де n - порядковий номер «додатної» та «від'ємної» ділянки елемента, піддають циклічному ступінчатому пресуванню ділянки ($L^-1, L^-2 \dots L^-n$) під тиском 0,5-500 МПа при температурі M_k-X , де $X=1-60$ °С, починаючи з першої ділянки (L^-1), збільшуючи з кожною наступною «від'ємною» ділянкою число циклів і величину навантаження від 0,5 до 50 МПа, фіксують геометричну форму «від'ємних» ділянок елемента, а відпуск здійснюють при температурах 250-300 °С впродовж 20-30 хвилин, після чого знімають фіксацію і здійснюють нагрівання до температури 400 °С з витримкою 10-25 секунд.

Суть винаходу ілюструється фігурами 1, 2, на яких наведено:

- Фіг. 1а - процес циклічного ступінчастого пресування (1 - температурочутливий елемент, 2 - верхня пресувальна головка, 3 - пуансон, 4 - робочий стіл);

- Фіг. 1б - схема позначення «додатних» та «від'ємних» ділянок температуро чутливого елемента;

5 - Фіг. 2а - дилатометрична крива для сплаву Cu - 12,2 мас. %, Al - 3,1 мас. %, Co - до проведення операцій за способом; Фіг. 2б - дилатометрична крива для температурочутливого елемента сплаву Cu - 12,2 мас. %, Al - 3,1 мас. %, Co - після проведення операцій за способом.

Реалізація запропонованого способу виготовлення температурочутливого елемента відбувається за рахунок наступних чинників.

10 Деформацію всього елемента здійснюють розтягуванням на 0,5-5,0 %, при температурі нижче температури кінця прямого мартенситного перетворення (M_K) в інтервалі M_K-X , де $X=1-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, що створює початковий стискуючий стан в матеріалі елементу зі знаком мінус («-») в умовах оптимального рівня напруг при пластичній деформації. Деформація розтягуванням більше 5,0 %, елемента в інтервалі температур вище M_K викликає появу залишкової деформації та мережі тріщин, а також передчасне руйнування матеріалу елемента, оскільки деформація відбувається в умовах протікання кінця прямого мартенситного перетворення (M_K) з ослабленими міжатомними зв'язками. Деформація елемента розтягуванням менше 0,5 % в інтервалі температур нижче M_K-X , де $X=1-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ викликає появу реактивних напруг, які формують специфічний напружений стан в матеріалі елемента і легко усуваються при нагріванні вище температури кінця зворотного мартенситного перетворення (A_K).

20 Позначання на елементі «додатних» ($N^+1, N^+2, N^+3... N^+n$) та «від'ємних» ($L^-1, L^-2... L^-n$) ділянок, що чергуються по його довжині (див. Фіг. 1б), забезпечує нульове значення теплового розширення температурочутливого елемента ($\alpha=0$) за рахунок компенсації теплового розширення «додатних» ділянок, які подовжуються при їх нагріванні вище точки (A_K) «від'ємними» ділянками, які стискаються при їх нагріванні вище точки (A_K). При охолодженні елемента від точки кінця зворотного мартенситного перетворення (A_K) до точки початку зворотного мартенситного перетворення (A_n) знаки на ділянках змінюються на протилежні.

Циклічне ступінчасте пресування «від'ємних» ділянок елемента під тиском 0,5-500 МПа при температурі M_K-X , де $X=1-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (див. Фіг. 1а) забезпечує оптимальне зростання внутрішніх напружень в елементі через регламентоване і поступове навантаження матеріалу елемента при кожному циклі в межах тиску 0,5-50 МПа, що перешкоджає розвитку руйнівних процесів на межах зерен після кожного циклу. Навантаження матеріалу елемента менше тиску 0,5 МПа стримує розвиток генеруючих напруг, що формують зворотну пам'ять форми. Навантаження матеріалу елемента більше тиску 50 МПа викликає появу мережі тріщин по межах зерен.

35 Навантаження під тиском 0,5-500 МПа починаючи з першої ділянки (L^-1), і поступове збільшення з кожною наступною ділянкою числа циклів і величини навантаження від тиску 0,5 до тиску 50 МПа, починаючи з першого мінімального навантаження (до тиску 50 МПа ділянки L^-1) і закінчуючи максимальною величиною навантаження під тиском 500 МПа останньої ділянки (L^-n) формує градієнтний напружений внутрішній стан між двома ділянками з протилежними знаками деформації. Навантаження під тиском більше 500 МПа сприяє розвитку руйнівних процесів на межах зерен.

Відпуск при температурі 250-300 $^{\circ}\text{C}$ впродовж 20-30 хвилин формує відповідну зворотну деформацію кожної ділянки при генерації пружних напруг в матеріалі елемента. При відпуску за температури менше 250 $^{\circ}\text{C}$ впродовж менше 20 хвилин реактивні напруги незначні і недостатні для розвитку стійкої зворотної деформації, а відпуск при температурі більше 350 $^{\circ}\text{C}$ впродовж більше ніж 30 хвилин призводить до руйнування елемента.

45 Нагрівання до температури 400 $^{\circ}\text{C}$ з витримкою 10-25 секунд стабілізує рівень зворотної деформації виготовленого температурочутливого елемента. Витримка менше 10 секунд не достатня для прогріву елемента, а більше 25 секунд викликає передчасну зміну заданих властивостей елемента.

50 Винахід ілюструється наступними прикладами процесу виготовлення температурочутливого елемента.

Приклад 1

55 1. Зі сплаву, з ефектом пам'яті форми, складу Cu - 12,2 мас. %, Al - 3,1 мас. %, Co вирізають елемент у вигляді пластини розмірами: 0,8 x 5,0 x 50,0 мм.

2. Гартують елемент від 910 $^{\circ}\text{C}$ у 10 % водний розчин NaCl.

3. Визначають критичні точки мартенситного перетворення методом дилатометрії:

M_p - початок прямого мартенситного перетворення ... 60 $^{\circ}\text{C}$;

M_K - кінець прямого мартенситного перетворення ... 40 $^{\circ}\text{C}$;

60 A_p - початок зворотного мартенситного перетворення ... 50 $^{\circ}\text{C}$;

Ак - кінець зворотного мартенситного перетворення ... 80 °C.

4. Деформацію всієї заготовки здійснюють розтягуванням на 0,5 %, при температурі 20 °C.

5. Позначають на елементі «додатні» (N^+1 , N^+2 , N^+3 ... N^+n) та «від'ємні» (L^-1 , L^-2 ... L^-n) ділянки, що чергуються по його довжині, при температурі 40 °C.

6. На стандартному пресовому обладнанні пресують «від'ємні» ділянки елемента під тиском 200 МПа при температурі 30 °C, починаючи з першої ділянки (L^-1), і поступово збільшують з кожною наступною ділянкою число циклів і величину навантаження тиску від 0,5 до тиску 50 МПа, починаючи з першого мінімального навантаження (до тиску 50 МПа) і закінчуючи максимальною величиною навантаження під тиском 500 МПа останньої ділянки (L^-n) по довжині елемента.

7. Будь-яким способом фіксують геометричну форму «від'ємних» ділянок елемента.

8. Здійснюють відпуск при температурі 250 °C впродовж 20 хвилин.

9. Знімають фіксацію та нагрівають елемент до температури 400 °C з витримкою 10 секунд.

Аналіз дилатометричних кривих температурочутливого елемента (Фіг. 2а,б) показує, що при нагріванні вище температури початку зворотного мартенситного перетворення (A_n) ТКЛР елемента починає зменшуватись, змінюючи знак з позитивного "+" на від'ємний "-", але після досягнення температури кінця зворотного мартенситного перетворення (A_k) знову змінює знак на позитивний "+". Аналогічно, при охолодженні температурочутливого елемента ТКЛР, досягнувши температури початку мартенситного перетворення (M_n) змінює знак з від'ємного "-" на позитивний "+". Момент зміни знаку характеризується протилежним напрямком деформації та нульовим значенням ТКЛР ($\alpha=0$). Робочий інтервал температур (ΔT_p) температурочутливого елемента становить 120 °C.

Приклад 2

1. Зі сплаву, з ефектом пам'яті форми, складу Cu - 12,8 мас. %, Al - 2,0 мас. %, Ni вирізають елемент у вигляді пластини розмірами: 0,8 x 5,0 x 50,0 мм.

2. Гартують елемент від 910 °C у 10 % воднодному розчині NaCl.

3. Визначають критичні точки мартенситного перетворення методом дилатометрії:

M_p - початок прямого мартенситного перетворення ... 70 °C;

M_k - кінець прямого мартенситного перетворення ... 35 °C;

A_p - початок зворотного мартенситного перетворення ... 40 °C;

A_k - кінець зворотного мартенситного перетворення ... 85 °C.

4. Деформацію всієї заготовки здійснюють розтягом на 3,0 %, при температурі 10 °C.

5. Позначають на елементі «додатні» (N^+1 , N^+2 , N^+3 ... N^+n) та «від'ємні» (L^-1 , L^-2 ... L^-n) ділянки, що чергуються по його довжині, при температурі 35 °C.

6. На стандартному пресовому обладнанні пресують «від'ємні» ділянки елемента під тиском 300 МПа при температурі 25 °C, починаючи з першої ділянки (L^-1), і поступово збільшують з кожною наступною ділянкою число циклів і величину навантаження тиску від 0,5 до тиску 50 МПа, починаючи з першого мінімального навантаження (до тиску 50 МПа) і закінчуючи максимальною величиною навантаження під тиском 500 МПа останньої ділянки (L^-n) по довжині елемента.

7. Будь-яким способом фіксують геометричну форму «від'ємних» ділянок елемента.

8. Здійснюють відпуск при температурі 270 °C впродовж 20 хвилин.

9. Знімають фіксацію та нагрівають елемент до температури 400 °C з витримкою 20 секунд.

Вигляд дилатометричних кривих температурочутливого елемента є подібним до кривих, наведених у Прикладі 1 (див. Фіг. 2а,б).

Приклад 3

1. Зі сплаву, з ефектом пам'яті форми, складу Cu - 13,0 мас. %, Al - 3,0 мас. %, Mn вирізають елемент у вигляді пластини розмірами: 0,8 x 5,0 x 50,0 мм.

2. Гартують елемент від 910 °C у 10 % водному розчині NaCl.

3. Визначають критичні точки мартенситного перетворення методом дилатометрії:

M_p - початок прямого мартенситного перетворення ... 50 °C;

M_k - кінець прямого мартенситного перетворення ... 20 °C;

A_p - початок зворотного мартенситного перетворення ... 60 °C;

A_k - кінець зворотного мартенситного перетворення ... 90 °C.

4. Деформацію всієї заготовки здійснюють розтягом на 4,0 %, при температурі -40 °C.

5. Позначають на елементі «додатні» (N^+1 , N^+2 , N^+3 ... N^+n) та «від'ємні» (L^-1 , L^-2 ... L^-n) ділянки, що чергуються по його довжині, при температурі 20 °C.

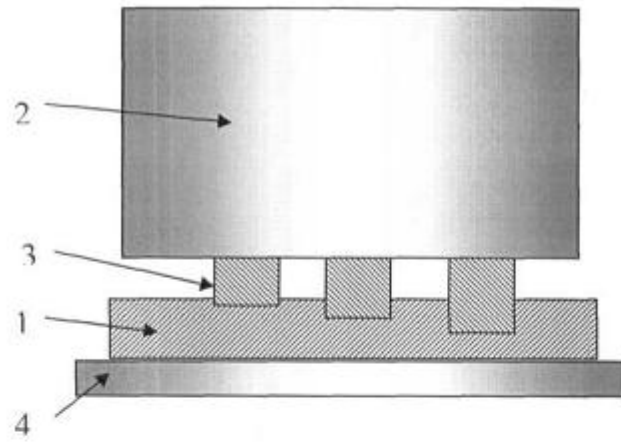
6. На стандартному пресовому обладнанні пресують «від'ємні» ділянки елемента під тиском 350 МПа при температурі 10 °C, починаючи з першої ділянки (L^-1), і поступово збільшують з кожною наступною ділянкою число циклів і величину навантаження тиску від 0,5 до тиску 50

МПа, починаючи з першого мінімального навантаження 0,5 до тиску 50 МПа і закінчуючи максимальною величиною навантаження під тиском 500 МПа останньої ділянки (L_n) по довжині елемента.

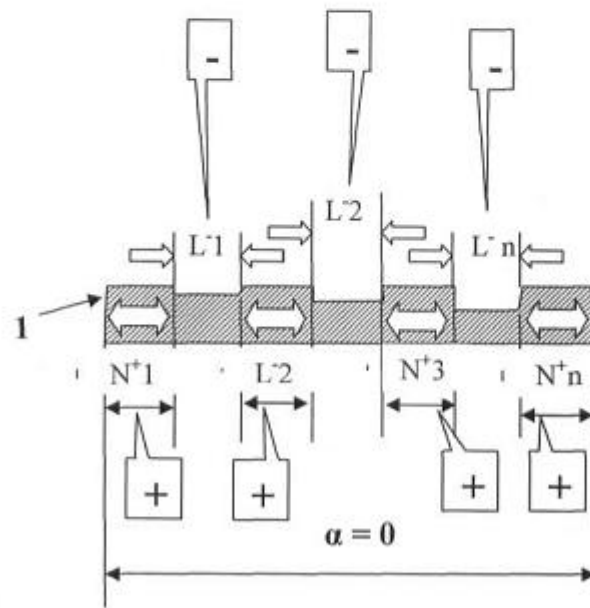
7. Будь-яким способом фіксують геометричну форму «від'ємних» ділянок елемента.
 - 5 8. Здійснюють відпуск при температурі 300 °С впродовж 30 хвилин.
 9. Знімають фіксацію та нагрівають елемент до температури 400 °С з витримкою 10 секунд.
- Вигляд дилатометричних кривих температурочутливого елемента є подібним до кривих, наведених у Прикладі 1 (див. Фіг. 2а,б).
- 10 Запропонований спосіб виготовлення температурочутливого елемента дозволяє розширити робочий інтервал температур температурочутливого елемента (ΔT_p) до 120 °С при одночасному зменшенні величини ТКПР до нульового значення ($\alpha=0$), що підвищує надійність роботи оптичної системи та покращує якість зображення.
- Спосіб може бути реалізовано як у лабораторних, так і у промислових умовах.

15 ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- Спосіб виготовлення температурочутливого елемента зі сплавів з ефектом пам'яті форми, що включає гартування елемента з β -області, його деформацію, фіксування елемента в деформованому стані з наступним відпуском, який **відрізняється** тим, що деформацію елемента здійснюють розтягуванням на 0,5-5,0 % при температурі, нижче точки кінця прямого мартенситного перетворення (M_k) в інтервалі M_k-X , де $X=1-60$ °С, позначають на елементі "додатні" ($N^+1, N^+2, N^+3 \dots N^+n$) та "від'ємні" ($L^-1, L^-2 \dots L^-n$) ділянки при температурі M_k , які чергуються по його довжині, де n - порядковий номер "додатної" та "від'ємної" ділянок елемента, піддають циклічному ступінчатому пресуванню ділянки ($L^-1, L^-2 \dots L^-n$) під тиском 0,5-500 МПа при температурі M_k-X , де $X=1-60$ °С, починаючи з першої ділянки (L^-1), збільшуючи з 25 кожною наступною "від'ємною" ділянкою число циклів і величину навантаження від 0,5 до 50 МПа, фіксують геометричну форму "від'ємних" ділянок елемента, а відпуск елемента здійснюють при температурах 250-300 °С впродовж 20-30 хвилин, після чого знімають фіксацію і здійснюють нагрівання до температури 400 °С з витримкою 10-25 секунд.



a



б

Фиг. 1

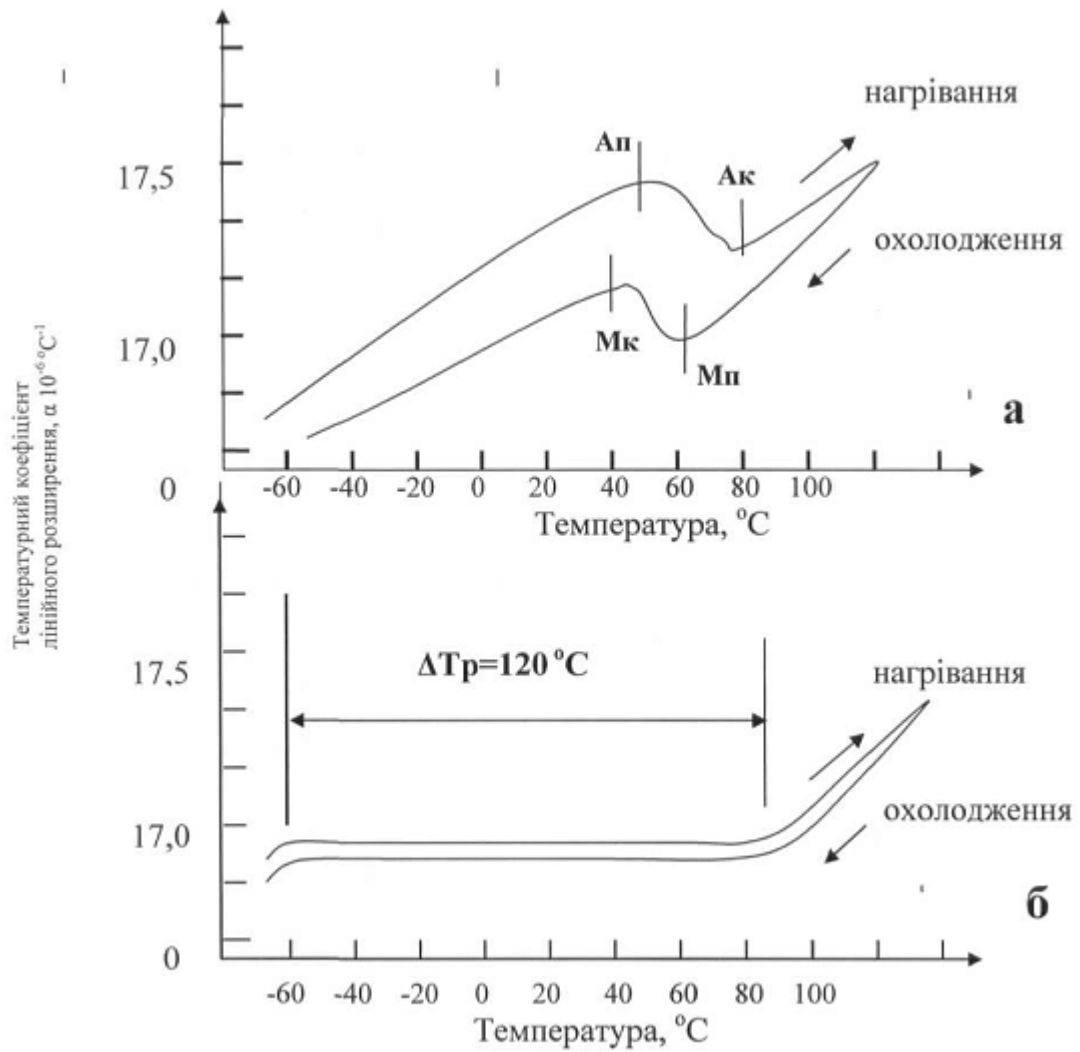


Fig. 2

Комп'ютерна верстка М. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601