



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 293 579**

51 Int. Cl.:
G01N 25/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **05743494 .6**

86 Fecha de presentación : **28.04.2005**

87 Número de publicación de la solicitud: **1740931**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **10.01.2007**

54 Título: **Procedimiento y aparato para el control continuo de la calidad de un cable de aleación con memoria de forma.**

30 Prioridad: **29.04.2004 IT MI04A0864**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2008

73 Titular/es: **SAES GETTERS S.p.A.**
Viale Italia, 77
20020 Lainate, Milano, IT

72 Inventor/es: **Salvago, Giovanni y**
Toia, Luca

74 Agente: **Isern Jara, Jorge**

ES 2 293 579 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 293 579 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para el control continuo de la calidad de un cable de aleación con memoria de forma.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y un aparato para el control continuo de la calidad de un cable fabricado de una aleación de memoria de forma (en lo que sigue a continuación, también definida como "SMA"). Debe indicarse que aunque se hace referencia a un cable en lo que sigue a continuación, que es ciertamente la aplicación más importante, el procedimiento de la invención es aplicable también a otras formas similares con una dimensión prácticamente infinita y las otras dos finitas y generalmente pequeñas, por ejemplo cintas o similares.

10 Como es conocido, el fenómeno de memoria de forma reside en el hecho de que la pieza mecánica fabricado de una aleación que presenta este fenómeno es capaz de cambiar, en un espacio de tiempo muy corto y sin posiciones de equilibrio intermedias, entre dos formas, previamente determinadas durante la fabricación, en respuesta a un cambio de la temperatura. El fenómeno puede ocurrir en el modo denominado de "una vía", en el que la pieza mecánica se puede deformar en una única dirección como resultado del cambio de la temperatura, por ejemplo pasando de la forma B a la forma A, mientras que la transición opuesta desde la forma A a la forma B requiere la aplicación de una fuerza mecánica; en el modo denominado de "dos vías", por el contrario, ambas transiciones pueden ser causadas por cambios de temperatura.

20 A partir del documento JP 08081745 es conocido un aparato para llevar a cabo el procedimiento de la fabricación de cables rectos de SMA que comprende el paso del suministro del cable a través del aparato, calentando y enfriando dicho cable para incrementar su propiedad elástica y detectando en línea la parte alargada del cable.

25 Es conocido que estos materiales transforman su estructura microcristalina pasando desde un tipo denominado martensítico, estable a bajas temperaturas, hasta un tipo denominado austenítico, estable a temperaturas más elevadas y viceversa. La transformación entre las dos formas tiene lugar de acuerdo con un ciclo de histéresis en un diagrama de temperatura-elongación caracterizado por cuatro valores de la temperatura: durante el calentamiento, empezando desde una temperatura baja en la cual la fase martensítica es estable, se alcanza una primera temperatura A_s en la cual empieza la transformación a la fase austenítica y entonces una segunda temperatura A_f la cual identifica el final de la transformación en la fase austenítica. Durante el enfriamiento, empezando desde la gama de temperaturas en la cual la fase austenítica es estable, se alcanza una tercera temperatura M_s en la cual empieza la transformación a la fase martensítica y entonces una cuarta temperatura M_f en la cual termina esta transformación. Diagramas de estos ciclos de histéresis se pueden encontrar, por ejemplo, en las patentes US 4,896,955 y EP 0 807 276.

35 Las temperaturas reales de las transformaciones anteriormente mencionadas dependen del tipo de material y de los procesos de fabricación, pero para cada material estas temperaturas son siempre del orden de $M_f < M_s$, $A_s < A_f$, mientras puede ser $M_s < A_s$ o viceversa de acuerdo con la velocidad a la que ocurre la transición entre las dos fases. Ejemplos de composiciones de aleaciones con memoria de forma se pueden encontrar en la patente US 6,309,184 del solicitante, entre las cuales principalmente las aleaciones de Ni-Ti preferiblemente con un 54-54,5% en peso de Ni y el resto titanio (se permiten indicios de otros componentes).

40 Para una utilización práctica, un cable de SMA debe tener diversas características funcionales y tecnológicas las cuales se estiman con pruebas específicas. Las pruebas típicamente utilizadas para verificar las características de estos cables son las cuatro siguientes:

45 1. *Resistencia a la fatiga*: una muestra de cable (por ejemplo, un segmento de 10 cm) se introduce en un horno, suspendido por un extremo y con un peso colgado en el extremo libre; el peso se escoge de acuerdo con el diámetro del cable y generalmente es similar a la carga que tendrá que soportar el cable en su aplicación real. Calentando y enfriando cíclicamente la muestra, se somete a una serie de ciclos de elongación y acortamiento, hasta el fallo;

50 2. *Deformación permanente residual*: consiste en estimar la deformación permanente residual neta de una muestra tal como la de la prueba anterior, probada en las mismas condiciones, pero para un número de ciclos inferior a aquél que causa el fallo (por ejemplo 75% o 90% de los ciclos que causan el fallo);

55 3. *El ciclo de histéresis*: utilizado para verificar que el cable realmente lleva a cabo las transiciones de elongación y acortamiento a las temperaturas esperadas para esa composición. Esta prueba también por el momento se lleva a cabo en las mismas condiciones que la primera;

60 4. *Carrera*: consiste en estimar el porcentaje de elongación o acortamiento de la muestra durante una transición. También esta última prueba se lleva a cabo en las mismas condiciones y con el mismo ajuste experimental que la primera prueba.

Las cuatro pruebas anteriores por lo tanto son todas pruebas de muestreo, las cuales se pueden llevar a cabo por ejemplo en una pieza aproximadamente por cada kilómetro de cable, pero mientras las dos primeras pruebas son destructivas, y por lo tanto necesariamente se llevan a cabo en muestras, será preferible poder llevar a cabo las pruebas 3 y 4 continuamente. De hecho, llevando a cabo estas dos últimas pruebas como pruebas de muestreo tiene algunas desventajas.

ES 2 293 579 T3

Una primera desventaja es que pueden haber faltas de homogeneidad en las características del cable las cuales no son detectadas, debido a la frecuencia muy baja de muestreo a lo largo del cable; además con los modos de funcionamiento actuales estas pruebas se llevan a cabo en paralelo con el proceso de fabricación y por lo tanto con un incremento del tiempo y de los costes para tomar la muestra de la línea de fabricación y llevar a cabo las pruebas fuera de la línea; finalmente, en fabricaciones industriales es mejor tener cables tan largos como sea posible, mientras llevar a cabo las pruebas de las muestras como ha sido descrito hace necesario cortar el cable en partes relativamente cortas.

El objeto de la presente invención por lo tanto es proporcionar un procedimiento y un aparato, los cuales superen las desventajas anteriormente mencionadas. Este objeto se consigue a través de la presente invención que, en un primer aspecto de la misma, se refiere a un procedimiento para el control continuo de la calidad de un cable de aleación de memoria de forma o similar, caracterizado porque comprende los siguientes pasos:

a) suministro del cable a través de un aparato en el cual está sometido a un recorrido de temperaturas que cubre una gama tal que comprende las temperaturas de transición características del material del cual está fabricado el cable;

b) medición en línea directamente o indirectamente de las variaciones de la longitud del cable en puntos previamente establecidos de dicho aparato que corresponden a diferentes temperaturas conocidas;

c) utilización de los datos de la temperatura y de la variación de la longitud para obtener por puntos la curva de histéresis de dicho material en el diagrama de temperaturas-elongación.

La principal ventaja del presente procedimiento y del aparato pertinente es por lo tanto permitir la verificación de las características del cable ya no por muestreo sino continuamente, de forma que el control de calidad del producto se lleva a cabo sobre toda la producción.

Otra ventaja considerable deriva del hecho de que este control se lleva a cabo fuera de línea, ahorrando el tiempo y el dinero de la toma de muestras y de llevar a cabo pruebas fuera de línea.

Estas y otras ventajas y características del procedimiento y del aparato según la presente invención serán claras para aquellos expertos en la materia a partir de la siguiente descripción detallada de una forma de realización de la misma con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

la figura 1 es una vista frontal esquemática de un aparato que lleva a cabo el procedimiento según la presente invención; y

la figura 2 es una vista esquemática desde arriba del aparato de la figura 1.

El presente procedimiento se basa en la idea de hacer pasar el cable en continuo por un aparato de medición en el que es sometido a un recorrido tal de temperaturas que las temperaturas de transición características anteriormente mencionadas están abarcadas por la gama del recorrido y la medición en línea de las variaciones de la longitud del cable durante este recorrido. Preferiblemente, la temperatura del cable que entra y sale del aparato de medición es la temperatura ambiente, mientras en por lo menos un área del aparato el cable es calentado a una temperatura por lo menos igual a A_f (pero preferiblemente superior a ella). En el interior del aparato es posible disponer de un perfil térmico que sea continuo o discontinuo, "por pasos".

En una primera forma de realización del procedimiento, es posible medir directamente la elongación del cable, por ejemplo haciendo que el cable deslice sobre puntos de soporte del aparato, las variaciones de la longitud del cable causan la aparición y desaparición progresiva de una flecha entre dichos puntos de soporte y midiendo dicha flecha es posible obtener las variaciones de longitud que tienen lugar entre los puntos de soporte: una vez se conocen las temperaturas de estos puntos y las variaciones de la longitud, es posible obtener la curva de histéresis del cable.

Sin embargo, puesto que las elongaciones son pequeñas, es difícil conseguir la medición directa de las mismas, también porque requiere la utilización de instrumentos ópticos de precisión a fin de no afectar a la tensión del cable.

Por lo tanto, en una forma de realización preferida el procedimiento de la invención consiste en la medición de la variación de la velocidad del cable mientras pasa entre las áreas a diferentes temperaturas del sistema. Considerando que una variación de la longitud puede ser expresada como un porcentaje de la longitud inicial, la variación de la última cuando pasa de una temperatura a otra puede ser medida como su primera derivada con respecto al tiempo, es decir como la velocidad; más precisamente, en el procedimiento de la invención se mide la diferencia de la velocidad del cable entre diversos puntos de su carrera a través del aparato los cuales están a temperaturas diferentes. En otras palabras, suministrando el cable a una velocidad conocida fija y con una tensión constante adecuada, a través de una secuencia de áreas a diferentes temperaturas y midiendo la velocidad del cable en cada temperatura es posible obtener la cantidad de la elongación (o del acortamiento) que ocurre mientras pasa de una temperatura a otra. De este modo, integrando las variaciones de la velocidad es posible obtener por puntos la curva de histéresis en el diagrama temperatura-elongación y calcular también la carrera en la transición entre dos temperaturas.

En el presente procedimiento de medición, la medición de la velocidad del cable es más simple que la medición directa de las elongaciones o acortamientos que se llevan a cabo en el procedimiento de flecha anteriormente descrito.

ES 2 293 579 T3

En un segundo aspecto de la misma, la invención se refiere a un aparato para llevar a cabo el procedimiento de la invención.

Un ejemplo de un aparato capaz de llevar a cabo las mediciones de las variaciones de la velocidad se ilustra en las figuras anteriormente mencionadas, las cuales muestran un cable F desenrollado mediante una máquina de entrada de desenrollamiento B y el enrollamiento sobre una máquina de enrollamiento de salida B'. La tensión del cable F está controlada por una unidad V, colocada aguas abajo de la máquina de desenrollamiento de entrada B, provista de dos rodillos de accionamiento R, sobre los cuales se enrolla el cable F unas pocas veces y con un brazo suelto C que detecta la tensión del cable. La medición de la tensión por medio del brazo C ayuda a mantenerla constante actuando sobre el control de los rodillos R, y según el caso también sobre aquél de los rodillos R' de una unidad V' la cual controla la velocidad del cable y que está colocada aguas arriba de la máquina de enrollamiento de salida B'. Las unidades V y V' están ambas conectadas para una retroalimentación mutua.

Entre las dos unidades V, V' están colocadas una serie de cámaras termostáticas T en cada una de las cuales se mantiene constante una temperatura determinada, por medio de sistemas de regulación conocidos, de forma que se reproduzca un cierto perfil de temperatura de una manera discreta. En el ejemplo ilustrado se proporcionan trece cámaras T con una temperatura de "escalón", es decir una diferencia de temperatura entre cámaras adyacentes de 20°C aumentando primero y descendiendo después, de tal forma que se obtenga un perfil de temperaturas que será 40-60-80-100-120-140-160-120-100-80-60-40°C.

En cada cámara T está colocada una polea de tensión M, mantenida a la temperatura de la cámara y sobre la cual se enrolla el cable F sin deslizamiento, la cual es utilizada para medir la velocidad del cable F a través de un codificador de alta definición que detecta la velocidad de giro de la polea M con precisión. Dos poleas adicionales M con codificadores pertinentes, están también colocadas respectivamente aguas arriba y aguas abajo de las cámaras T para detectar la velocidad del cable a la temperatura ambiente, la cual normalmente es aproximadamente 20°C.

Mediante el conocimiento de la velocidad del cable F en las diversas cámaras T a cada temperatura y puesto que el paso P entre las poleas M es conocido, es posible obtener la relación entre la temperatura del cable y la elongación del mismo. Los parámetros medidos son grabados continuamente en tiempo real por medio de medios conocidos adecuados, y están provistos preferiblemente también medios de marcado del cable los cuales son activados automáticamente si los parámetros de la medición alcanzan valores fuera de la gama de tolerancia permisible.

En una forma de realización alternativa, entre las dos unidades V y V', está colocada una única cámara calefactora con extremos abiertos y las poleas M pueden ser desplazadas a lo largo de los ejes de dicha cámara; llevando el área central de la cámara a la temperatura más elevada de interés (160° en el ejemplo anterior), la dispersión térmica en los extremos abiertos de la cámara determina un perfil de temperatura en "forma de campana" a lo largo de la cámara única, con un máximo en la mitad y un descenso regular hacia los extremos. Si el perfil térmico de la cámara es conocido es posible desplazar cada una de las poleas M hasta una posición en la cámara que esté a la temperatura deseada (por ejemplo, las temperaturas que corresponden a las trece cámaras de la forma de realización anteriormente descrita). El perfil térmico de la cámara se puede conocer midiendo la temperatura en una serie de puntos colocados a lo largo de la cámara, por ejemplo por medio de termopares o pirómetros ópticos o bien otros sistemas adecuados; la medición de la temperatura en dichas series de puntos puede ser llevada a cabo durante una prueba de calibración adecuada, o de una manera continua durante la prueba de verificación del cable real. Preferiblemente, los puntos en los cuales se mide la temperatura a lo largo de la cámara se hace que correspondan a los puntos en los que están colocados las poleas M.

Es evidente que las formas de realización del procedimiento y del aparato según la invención descritos anteriormente en este documento e ilustrados son únicamente ejemplos susceptibles de numerosos cambios. En particular, se pueden cambiar diversos parámetros constructivos y funcionales tales como el número de cámaras T, el "escalón" de la temperatura entre las cámaras, el desenrollamiento del cable, las unidades de enrollamiento y suministro; incluso el paso P entre poleas adyacentes M puede no ser constante mientras sea conocido. Adicionalmente, en la forma de realización con el perfil de la temperatura de escalón a lo largo del aparato, se puede renunciar a las cámaras T utilizando el calentamiento del cable mediante el efecto joule (por lo menos para el incremento de la temperatura): aplicando tensiones diferentes en diferentes puntos con los cuales entra en contacto el cable (pueden ser las mismas poleas M), es posible establecer caídas de potencial previamente establecidas en partes únicas del cable y por lo tanto, conociendo la resistencia del cable, establecer previamente temperaturas conocidas en esas partes.

De forma similar, la velocidad puede ser detectada a través de medios diferentes a partir de las poleas con codificadores anteriormente mencionadas, por ejemplo por medio de instrumentos ópticos que detecten el paso de marcas colocadas sobre el cable a una distancia constante, o bien instrumentos ópticos de lectura láser que no requieran la presencia de marcas sobre el cable y en los cuales la velocidad de medición de la misma se basa en el efecto Doppler.

El aparato de la invención, en cualquier variante del mismo, adicionalmente puede comprender medios de marcado del cable, para permitir marcar partes del cable en donde los parámetros medidos en esas partes alcancen valores fuera de la gama de tolerancia permisible; estos medios de marcado generalmente son activados automáticamente cuando el sistema detecta que estas partes del cable no cumplen las especificaciones.

ES 2 293 579 T3

El aparato y el procedimiento de la invención constituyen el único modo conocido de proporcionar un cable fabricado de una aleación SMA en el cual se certifica que el 100% del cable dispone de las características requeridas. Sin embargo, para ciertas aplicaciones que tengan unos requisitos de calidad menos estrictos, el procedimiento y el aparato de la invención pueden ser utilizados de forma que no se compruebe la totalidad del cable, por ejemplo, el 75% del cable. Esto se pueda hacer por ejemplo no pasando parte de la longitud del cable por dentro del sistema, o dejando de grabar datos medibles por parte del sistema durante parte del tiempo; en estos períodos, el cable se puede desplazar más rápidamente desde la máquina de desenrollamiento de entrada B hasta la máquina de enrollamiento de salida B', acortando de ese modo el tiempo total de funcionamiento. Funcionando de este modo, todavía es posible disponer de un buen grado de fiabilidad sobre las propiedades del cable, suficiente para aplicaciones inferiores, a un coste inferior.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para el control continuo de la calidad de un cable de aleación de memoria de forma o similar, **caracterizado** porque comprende los siguientes pasos:

a) suministro del cable a través de un aparato en el cual es sometido a un recorrido de temperaturas que cubre una gama tal que comprende las temperaturas de transición características del material del cual está fabricado el cable;

10 b) medición en línea directamente o indirectamente de las variaciones de la longitud del cable en puntos previamente establecidos de dicho aparato que corresponden a diferentes temperaturas conocidas;

15 c) utilización de los datos de la temperatura y de la variación de la longitud para obtener por puntos la curva de histéresis de dicho material en el diagrama de temperaturas-elongación.

2. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el cable es suministrado con una velocidad conocida y con una tensión constante y porque la medición de las variaciones de la longitud se obtiene a partir de la flecha entre diferentes puntos de soporte colocados a lo largo del aparato.

20 3. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el cable es suministrado con una velocidad conocida y con una tensión constante y porque la medición de las variaciones de la longitud se obtiene midiendo las variaciones de la velocidad del cable entre puntos diferentes del aparato.

25 4. Aparato para el control continuo de la calidad de un cable (F) o similar de una dirección de memoria de forma **caracterizado** porque comprende:

a) medios adecuados para establecer a lo largo del cable (F) un perfil conocido de temperaturas en una gama que abarca las temperaturas de transición características del cable;

30 b) medios adecuados para medir directa o indirectamente la variación de la longitud del cable (F) en cada una de las temperaturas diferentes; y

c) unidades de suministro (B, B', V, V') del cable (F).

35 5. Aparato según la reivindicación 4 en el que la variación de la longitud del cable se mide directamente a través de la medición por medios ópticos de la flecha formada por el cable entre diferentes puntos de soporte establecidos a temperaturas diferentes.

40 6. Aparato según la reivindicación 4 **caracterizado** porque las unidades de suministro (B, B', V, V') son adecuadas para ajustar la tensión y la velocidad de suministro del cable (F) y en el que la variación de la longitud del cable se mide indirectamente a través de medios adecuados para la medición de la velocidad del cable en diferentes puntos establecidos a temperaturas diferentes.

45 7. Aparato según la reivindicación 4 en el que dichos medios adecuados para establecer un perfil de la temperatura conocido a lo largo del cable comprende puntos de contacto del cable ajustados a diferentes potenciales eléctricos.

8. Aparato según la reivindicación 4 en el que dichos medios adecuados para establecer un perfil de la temperatura conocido a lo largo del cable comprende una o más cámaras termostáticas (T).

50 9. Aparato según la reivindicación 4 **caracterizado** porque comprende una pluralidad de cámaras termostáticas (T) en cada una de las cuales se mantiene constante una temperatura determinada por medio de sistemas de regulación automáticos y en el que dichos medios adecuados para medir directamente o indirectamente la variación de la longitud del cable están colocados en cada una de dichas cámaras (T).

55 10. Aparato según la reivindicación 4 **caracterizado** porque comprende una única cámara termostática (T) calentada en el área central de la misma de forma que crea un perfil continuo de la temperatura en dicha gama y en el que dichos medios adecuados para medir directamente o indirectamente la variación de la longitud del cable están colocados en puntos previamente establecidos a lo largo de dicha cámara (T).

60 11. Aparato según la reivindicación 10 **caracterizado** porque adicionalmente comprende medios de verificación en puntos previamente establecidos a lo largo de dicha única cámara termostática (T).

65 12. Aparato según la reivindicación 10 **caracterizado** porque dichos puntos de verificación de la temperatura previamente establecidos coinciden con los puntos en los que están colocados dichos medios adecuados para medir directamente o indirectamente la variación de la longitud del cable.

ES 2 293 579 T3

13. Aparato según la reivindicación 6 **caracterizado** porque los medios de medición de la velocidad del cable (F) son poleas (M) de tensión (M) sobre las cuales está enrollado el cable (F) sin deslizamiento, cuya velocidad de giro se mide mediante codificadores de alta definición.

5 14. Aparato según la reivindicación 13 **caracterizado** porque el paso (P) entre las poleas (M) es constante.

15. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 14 **caracterizado** porque adicionalmente comprende medios de marcado del cable los cuales son activados automáticamente si los parámetros medidos alcanzan valores los cuales están fuera de la gama de tolerancia permisible.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

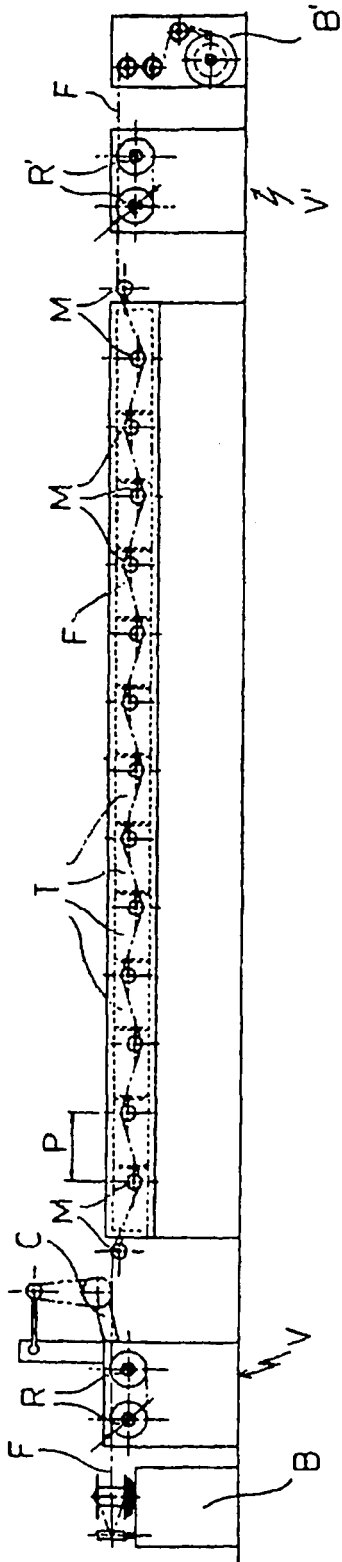


FIG. 1

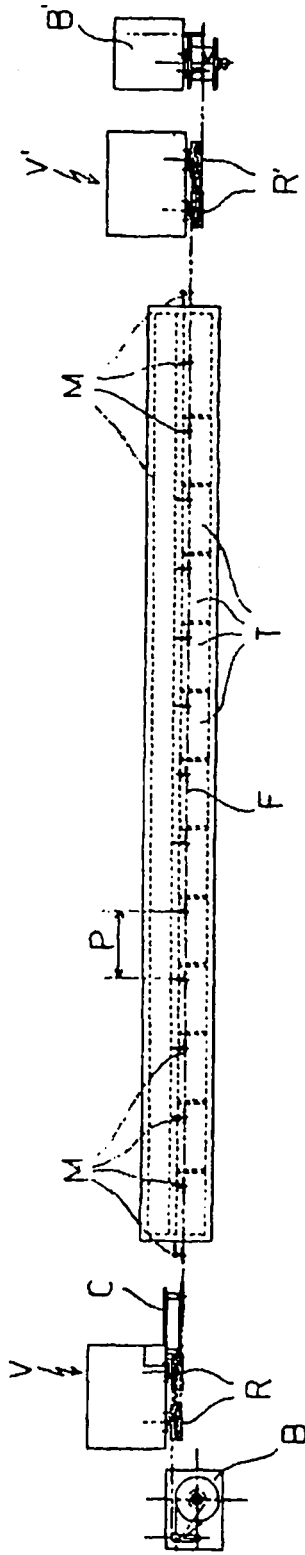


FIG. 2