



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 304 145**

51 Int. Cl.:
G01N 21/71 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03761506 .9**

86 Fecha de presentación : **25.06.2003**

87 Número de publicación de la solicitud: **1520165**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **06.04.2005**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para realizar espectrometría de emisión.**

30 Prioridad: **01.07.2002 DE 102 29 498**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.09.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.09.2008

73 Titular/es: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Hansastraße 27C
80686 München, DE**

72 Inventor/es: **Noll, Reinhard y
Stepputat, Michael**

74 Agente: **Durán Moya, Carlos**

ES 2 304 145 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).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para realizar espectrometría de emisión.

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para el análisis multi-elemental cuantitativo y cualitativo de objetos a medir móviles mediante espectrometría de emisión, preferentemente, espectrometría de emisión láser.

Estado de la técnica

10 En la espectrometría de emisión láser, la concentración de cada elemento químico en una muestra se determina generando, mediante un rayo láser enfocado, un plasma sobre la superficie del objeto a medir, y determinando la concentración del elemento observado en la muestra mediante la utilización de las emisiones del plasma inducido por láser específicas del elemento.

15 En la figura 1 se muestran las magnitudes relevantes para la generación del plasma inducido por láser sobre la superficie del objeto a medir. Una óptica de enfoque (1) enfoca un rayo láser de impulsos (2) en la dirección de propagación (3) sobre un elemento de superficie (4) del objeto a medir. El sistema de coordenadas está elegido de forma que la dirección de propagación (3) del rayo láser (2) es paralela y opuesta al eje (z). La normal (5) al elemento de superficie (4) forma un ángulo α entre el eje (z) y el eje del rayo láser. El punto de penetración (6) de la dirección de propagación (3) en el elemento de superficie (4) es el centro de la proyección (7) de la sección transversal del rayo láser sobre el elemento de superficie (4). La distancia entre el plano focal (8) del rayo láser (2) y el punto de penetración (6) se designa con la referencia Δs . Cuando el plano focal (8), visto desde la óptica de enfoque, está detrás del punto de penetración (6), el valor de Δs es positivo. Generalmente se elige un valor de Δs positivo. La distancia entre la óptica de enfoque (1) y el punto de penetración (6) se designa con la letra (d).

20 La emisión del plasma inducido por láser en el lugar (6) es recogida por la óptica de recepción de la unidad de detección (9) y se conduce a un espectrómetro. La unidad de detección del espectrómetro determina, para una cantidad de tiempo definida, la emisión integrada en el tiempo de las líneas espectrales emitidas. Sobre la base de las emisiones de las líneas espectrales emitidas, integradas por segmentos de tiempo, se determina luego mediante una función de calibrado la concentración de cada elemento analizado en la muestra. Para ello, es conocido el cálculo de la magnitud de entrada de la función de calibrado a partir de la relación entre la emisión de una línea de análisis observada y una combinación de emisiones de otras líneas espectrales o una señal medida representativa de la emisión total del plasma.

25 La espectrometría de emisión láser se puede realizar, a elección, con una óptica de enfoque de distancia focal fija o variable.

30 En la espectrometría de emisión láser con óptica de enfoque de distancia focal fija, el objeto a medir debe estar posicionado con una precisión de pocos milímetros, a fin de conseguir, mediante un calibrado previo, un resultado cuantitativo de la concentración de elementos analizados en el material del objeto a medir. Cuando se modifica la posición de la muestra respecto al punto focal fijo del rayo láser o se modifica la inclinación del elemento de superficie (4), cambia el ángulo espacial detectado de la emisión del plasma debido al cambio de la distancia entre la superficie de la muestra y la posición fija de la óptica de recepción de la unidad de detección (9) o debido a que el objeto a medir oculta parcialmente el plasma inducido por láser. Esta modificación se puede compensar en parte, analizando la relación entre la señal medida de la línea de emisión y una combinación de otras señales de emisión de líneas y una señal proporcional a la emisión total del plasma observado. Este procedimiento se denomina "referenciación" o "normalización interna".

35 Otro error sistemático se produce por una característica modificada de la emisión del plasma inducido por láser. Por ello, es difícil o imposible obtener un resultado cuantitativo de las concentraciones de elementos a analizar en el material del objeto a medir, o bien la concentración medida de los elementos a analizar adolece de errores.

40 Esta última causa de errores puede ser subsanada en parte utilizando una unidad de autoenfoco combinada con un láser de impulsos de intervalo de repetición fijo, tal como dan a conocer M. Stepputat y otros, en VDI-Berichte, 1667, 35-40 (2002). Los autores proponen determinar en la unidad de autoenfoco la distancia a la superficie de la muestra mediante un sensor de triangulación de láser y ajustar a esta distancia el punto focal del láser de análisis. En esta configuración, el rayo láser de la unidad de triangulación y el rayo láser del láser de análisis están dispuestos coaxialmente.

Descripción de la invención

45 La invención tiene por objeto subsanar el problema técnico mediante un procedimiento y un dispositivo de mayor precisión de medida, destinados a la espectrometría de emisión, en especial la espectrometría de emisión láser, en concreto, para el análisis espectrométrico de objetos en movimiento.

65 La solución de este problema técnico se realiza mediante las características de las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se presentan perfeccionamientos ventajosos.

Según la invención, se ha reconocido que este problema técnico se puede resolver mediante un procedimiento en el que, antes de la generación del plasma, además de la distancia (d) entre la óptica de autoenfoque y la superficie de la pieza a trabajar, se determinan los parámetros geométricos adicionales P1, P2 ... PN de un lugar potencial de medición sobre la superficie de la pieza, y sólo se lleva a cabo un análisis elemental para los lugares potenciales de medición en los que, como mínimo, uno de los parámetros geométricos adicionales está dentro de un intervalo de tolerancias [T1 ... T2] predeterminado.

La solución propuesta se basa en el descubrimiento de que, según el estado de la técnica, también se detectan sobre el objeto a medir lugares de medición cuya superficie, desde el punto de vista de la geometría, no es adecuada para una medición cuantitativa. Una medición lo más precisa posible requiere que la composición geométrica del lugar de medición sea en gran medida idéntica a la utilizada para el registro de la curva de calibrado. Si la curva de calibrado se ha medido con los parámetros geométricos P1, P2 ... PN, sólo cumplirá con exactitud su función deseada si durante la medición de un objeto de medida, además de los parámetros fijos tales como, en especial, los parámetros del láser, están presentes los mismos parámetros geométricos.

Por ello, como aproximación a esta situación óptima, se propone que, en una primera etapa, se predefina una zona de tolerancias [T1 ... T2] para los parámetros geométricos P1, P2 ... PN que represente del mejor modo posible los correspondientes parámetros geométricos presentes durante la medición de calibrado. Dicho de otra manera, los parámetros geométricos predeterminados, en lo referente a su tipo e intervalo de tolerancias, se deben corresponder con los parámetros geométricos con los que se ha registrado la curva de calibrado. La amplitud del intervalo de tolerancias depende de las exigencias de precisión de la determinación de concentraciones de cada aplicación y de las limitaciones impuestas por los componentes utilizados.

En una segunda etapa, se miden los mismos parámetros geométricos P1, P2 ... PN en lugares potenciales de medición de la pieza a trabajar.

De todas maneras, el funcionamiento de autoenfoque la distancia (d) entre la óptica de autoenfoque y la superficie de la pieza a trabajar se determina de modo continuo en forma de parámetro geométrico. Según la presente invención, sólo se lleva a cabo un análisis elemental para los lugares potenciales de medición en los que, como mínimo, uno de los parámetros geométricos adicionales está dentro de un intervalo de tolerancias [T1 ... T2] predeterminado.

Preferentemente, uno de los parámetros geométricos es la distancia (d) entre la óptica de enfoque y la superficie de la pieza a trabajar. También esta distancia (d) debería estar dentro de un intervalo de tolerancias definido mediante la medición de calibrado, y se debe destacar que el intervalo de tolerancias del parámetro (d) es independiente de la zona dentro de la cual funciona de modo fiable el dispositivo de autoenfoque.

También es ventajoso determinar en forma de parámetro geométrico la inclinación α de la superficie de la pieza a trabajar respecto al eje del rayo láser en el lugar potencial de medición. Mediante el ajuste de este parámetro dentro de un intervalo de tolerancias, se tiene expresamente en cuenta que el espectro de emisión del plasma depende de la inclinación en el lugar de la medición. Teniendo en cuenta sistemáticamente esta relación de dependencia se consigue el aumento deseado de la precisión de medida.

Según lo expuesto anteriormente, los parámetros geométricos relevantes (d) y α deberían estar dentro de un intervalo de tolerancias:

$$d_u \leq d \leq d_o$$

$$-\alpha_{\text{máx}} \leq \alpha \leq \alpha_{\text{máx}}$$

De esta manera, estos parámetros definen un espacio de proceso dentro del cual se lleva a cabo la espectrometría de emisión. Naturalmente, en caso necesario se puede aplicar esta forma de proceder a un mayor número de parámetros geométricos.

Para comprobar que los lugares de medición realmente presentan parámetros geométricos dentro del espacio de medición, se prevé determinar mediante un procedimiento de triangulación, antes de la inducción del plasma, el perfil superficial de, como mínimo, una zona parcial de la superficie de la pieza a trabajar, y calcular los parámetros geométricos adicionales a partir de dicho perfil superficial. Para los parámetros geométricos relevantes, los valores reales determinados de esta manera se comparan con los valores teóricos prefijados, o se comprueba que, como mínimo, un parámetro geométrico del lugar de medición se encuentra dentro del intervalo de tolerancias predefinido. La precisión de la medición aumenta considerablemente cuando todos los parámetros geométricos están dentro del intervalo de tolerancias.

Para hacer posible una selección automática de puntos de medición adecuados, se han previsto medios para la medición de la superficie de las muestras que también funcionan transversalmente respecto a la dirección de desplazamiento del objeto a medir. Por ejemplo, en el procedimiento según la invención, se puede determinar la distancia (d) entre el elemento de superficie (4) y la óptica de enfoque (1), mediante una unidad de triangulación (17), según muestra

la figura 4a. La figura 4b muestra esquemáticamente la disposición de los puntos de superficie (15) determinados del objeto a medir. Una unidad de triangulación (17) mide, de forma simultánea o sucesiva, las distancias verticales (s_1), (s_2), (s_3), etc., entre un plano de referencia y puntos de medición discretos (15) situados sobre la superficie del objeto a medir. La unidad de triangulación se puede realizar, por ejemplo, mediante un sensor de intersección luminosa, una
 5 unidad de triangulación multipunto o varios sensores de triangulación. La distancia (DT) entre las líneas (14) y (14') viene determinada por el intervalo entre mediciones de la unidad de triangulación y por la velocidad de la superficie del objeto a medir (4'). El recorrido de la superficie de la muestra (4') entre los puntos de medición de la triangulación (15) se determina mediante interpolación.

10 De lo anteriormente expuesto se desprende que el procedimiento según la invención, se puede utilizar ventajosamente para la inspección de objetos en movimiento. Así pues, es posible realizar mediciones de piezas que se desplazan sobre una cinta pasando por delante del láser de análisis, por ejemplo, chatarra de aluminio o desechos eléctricos.

15 La medición se realiza de modo que sólo se lleva a cabo un análisis elemental en los lugares potenciales de medición en los que, como mínimo, uno de los parámetros geométricos adicionales está dentro de un intervalo de tolerancias [T1 ... T2] predeterminado. Para ello, se pueden desechar los datos de lugares de medición no adecuados, o bien solamente se induce plasma en los lugares cuyos parámetros geométricos predeterminados se encuentran dentro del intervalo de tolerancias. En este último caso, cuando no existe un lugar de medición adecuado, es ventajoso emitir sólo un impulso de bombeo y no un impulso láser. De esta manera, se aumenta la estabilidad térmica del láser.

20 También se puede prever que el rayo láser se desvíe transversalmente respecto a la dirección de movimiento del objeto a medir. De esta manera se pueden elegir, no sólo lugares potenciales de medición en la dirección de avance del láser de análisis, sino también lugares de emisión perpendiculares a dicha dirección de avance. Esto aumenta el número de puntos de medición aprovechables sobre la superficie del objeto a medir, con lo que aumenta la precisión y
 25 la fiabilidad del análisis y de la identificación.

En especial cuando se trata de objetos a medir pequeños y que se desplazan rápidamente en relación con el rayo láser, existe el riesgo de que se encuentren en total pocos puntos de medición adecuados. En este caso, el resultado de la medición adolece de un considerable error estadístico. Para aumentar la precisión de la medición, en una forma de
 30 realización preferente de la invención se propone aplicar el rayo láser con un intervalo entre impulsos ΔT variable.

El intervalo entre impulsos se puede elegir, inicialmente, de forma que para una velocidad relativa mayor entre el láser de análisis y el objeto a medir el intervalo entre impulsos se reduzca, y que aumente para una velocidad relativa menor. También se puede elegir un menor intervalo entre impulsos para objetos a medir pequeños, a fin de aumentar la
 35 probabilidad de poder realizar una medición. El número mayor de posibles mediciones que se consigue de esta forma mejora la precisión estadística del resultado del análisis.

Cuando se emplea la variación de impulsos, el intervalo entre impulsos se elige de forma que es de dentro de una zona de tolerancias [$\Delta T_{\min}$... $\Delta T_{\max}$] predeterminada. Esto aumenta la fiabilidad y la estabilidad del sistema.

40 El intervalo de tiempo entre dos impulsos láser se designa ΔT y habitualmente es constante. Sin embargo, en un sistema láser se puede variar dentro de un intervalo limitado. Las posibles restricciones de la regulación del intervalo entre impulsos y, con ello, de la frecuencia de repetición momentánea del láser de análisis, pueden deberse, por ejemplo, a una mayor dispersión de la energía de los impulsos, a una modificación de la estabilidad térmica del láser
 45 de análisis y a la consecuente modificación del perfil o de la dirección de los rayos, o bien a que se superen los valores límites de la electrónica de bombeo para la generación de impulsos de bombeo del medio láser.

La variación de impulsos se realiza ventajosamente de forma que, cuando un dispositivo de detección adecuado, por ejemplo, una barrera óptica, una unidad de triangulación o un dispositivo similar, detecta un objeto a medir, se
 50 selecciona para el láser de análisis un intervalo entre impulsos menor que cuando no se detecta ningún objeto a medir. Esta forma de proceder hace que se realice el mayor número posible de mediciones cuando hay presente un objeto, lo cual aumenta la precisión estadística de la medición. En cambio, cuando el láser de análisis no detecta ningún objeto a medir, se aumenta el intervalo entre impulsos, lo que mejora el rendimiento térmico del láser.

55 Cuando se captan parámetros geométricos adicionales y solamente se realiza una medición en los lugares en los que, como mínimo, uno de los parámetros geométricos adicionales se encuentra dentro de un intervalo de tolerancias predeterminado, del modo antes descrito, si el láser de análisis detecta una posición de medición adecuada se selecciona un intervalo entre impulsos menor que cuando no se detecta ninguna posición de medición adecuada. Se designa como posición de medición adecuada una posición de medición cuyos parámetros geométricos predeterminados están dentro del espacio de proceso seleccionado por el usuario. Por ello, el procedimiento óptimo es seleccionar,
 60 inicialmente, el intervalo entre impulsos $\Delta T_{\min}$ para el primer caso, y $\Delta T_{\max}$ para el segundo caso.

No obstante, también se debe tener en cuenta que cuando se irradia durante un tiempo prolongado con el láser a intervalos entre impulsos $\Delta T_{\min}$ o con frecuencia de repetición máxima, la carga térmica del láser es muy elevada.
 65 Por ello, para asegurar la estabilidad sistema es necesario ajustar el intervalo medio entre impulsos ΔT al valor teórico $\Delta T_{\text{teórico}}$, para lo cual se pueden utilizar los procedimientos de regulación conocidos. Es decir, que el intervalo promedio entre impulsos ΔT_{medio} varía alrededor del valor teórico $\Delta T_{\text{teórico}}$.

ES 2 304 145 T3

Igualmente, se ha previsto que cuando no hay ningún objeto a medir en la posición de medición, el intervalo entre impulsos se regule al valor teórico $\Delta T_{\text{teórico}}$ del sistema láser mediante procedimientos de regulación conocidos. El valor teórico $\Delta T_{\text{teórico}}$ es el intervalo entre impulsos especificado para el funcionamiento con una frecuencia de repetición constante. Sin embargo, cuando un objeto a medir se encuentra en la posición de medición, se selecciona el intervalo entre impulsos individualmente para cada impulso. El intervalo entre impulsos se ajusta siempre dentro de una zona $[\Delta T_{\text{mín}}, \Delta T_{\text{máx}}]$ específica para el sistema y la aplicación, que también depende de los intervalos entre impulsos de los impulsos emitidos con anterioridad. Para cada intervalo entre impulsos ΔT se determinan nuevamente, los valores límite posibles $\Delta T_{\text{mín}}$ y $\Delta T_{\text{máx}}$, o bien se ajusta el intervalo entre impulsos individualmente para cada impulso. Para ello, se utilizan los valores límite $\Delta T_{\text{mín}}$ y $\Delta T_{\text{máx}}$, que dependen del aparato, para cada intervalo entre impulsos ΔT , así como el intervalo medio entre impulsos $\Delta T_{\text{medio},N}$ de los últimos “N” impulsos generados por el láser. Los intervalos entre impulsos ΔT de los impulsos láser siempre se eligen de forma que el intervalo medio entre impulsos $\Delta T_{\text{medio},N}$ de los últimos “N” impulsos siempre tenga un valor situado en la zona $[\Delta T_{\text{medio},N}^{\text{mín}}, \Delta T_{\text{medio},N}^{\text{máx}}]$. En resumen, esto se puede describir mediante las expresiones siguientes:

$$\Delta T \in [\Delta T_{\text{mín}}, \Delta T_{\text{máx}}]$$

$$\Delta T_{\text{medio},N} \in [\Delta T_{\text{medio},N}^{\text{mín}}, \Delta T_{\text{medio},N}^{\text{máx}}]$$

Cuando un objeto a medir se encuentra en la posición de medición, los valores de $\Delta T_{\text{mín}}$ y $\Delta T_{\text{máx}}$ se determinan según las reglas siguientes:

$$\Delta T_{\text{mín}} = \Delta T_g^{\text{mín}} \text{ para } \Delta T_{\text{medio},N} > \Delta T_{\text{medio},N}^{\text{mín}}$$

$$\Delta T_{\text{mín}} = \Delta T_g^{\text{máx}} \text{ para } \Delta T_{\text{medio},N} \leq \Delta T_{\text{medio},N}^{\text{mín}}$$

$$\Delta T_{\text{máx}} = \Delta T_g^{\text{máx}} \text{ para } \Delta T_{\text{medio},N} < \Delta T_{\text{medio},N}^{\text{máx}}$$

$$\Delta T_{\text{máx}} = \Delta T_g^{\text{mín}} \text{ para } \Delta T_{\text{medio},N} \geq \Delta T_{\text{medio},N}^{\text{máx}}$$

La limitación de los intervalos entre impulsos ΔT posibles antes descrita hace que no sea posible medir cualquier punto de la superficie de la muestra cuando un objeto a medir se desplaza por delante del sistema de análisis a una velocidad (v) constante en una dirección perpendicular a la dirección (3) de propagación de los rayos. Como contraste, se obtiene la trama de posibles zonas de medición (10) y (10') en la superficie (4') de la muestra, representada en la figura 2. La longitud (MX) de una zona de medición (10') depende de las limitaciones de los intervalos entre impulsos ΔT . La distancia (11) entre el último punto de incidencia (12) del láser de análisis (19) en la zona de medición (10) y el comienzo de la siguiente zona de medición (10') viene dada por el intervalo entre impulsos mínimo ajustable $\Delta T_{\text{mín}}$ y la velocidad (v) del objeto a medir, y es $v \times \Delta T_{\text{mín}}$. De forma análoga, el final de la zona de medición (10') está a una distancia (13) de la posición de medición (12) igual al producto del intervalo entre impulsos $\Delta T_{\text{máx}}$ máximo ajustable por la velocidad (v) del objeto a medir, o sea, $v \times \Delta T_{\text{máx}}$.

La figura 3 muestra como ejemplo la zona de medición (10') en el plano (yz) en forma rectangular. La altura de la zona de medición (10') en la dirección (z) se designa (MZ) y viene dada por las distancias regulables mínima y máxima (d_u) y (d_o) entre el punto de penetración (6) y la óptica de enfoque (1). El ancho (MY) de la zona de medición (10') está determinado por el ángulo γ de desviación de rayos máximo ajustable con la óptica de enfoque y por la distancia (d_u) mínima ajustable, como límite del intervalo de enfoque (MZ). El ancho (MY) se elige de forma que para cada coordenada (y) dentro de (MY) y dentro del ángulo máximo γ de desviación de rayos, se pueda llegar hasta cualquier posición vertical (z) dentro de la zona de enfoque (MZ).

Se busca localizar la posición de medición (12') más próxima posible dentro del espacio de medición (10') de manera que los parámetros antes citados de intervalo entre impulsos ΔT , la distancia (y), la distancia (d) y el ángulo de inclinación α estén dentro del espacio de proceso, para poder realizar la medición siguiente en dicha posición. Así pues, el espacio de proceso está definido como:

$$d_u \leq d \leq d_o$$

$$-\alpha_{\text{máx}} \leq \alpha \leq \alpha_{\text{máx}}$$

$$y_u \leq y \leq y_o$$

$$\Delta T_{\text{mín}} \leq \Delta T \leq \Delta T_{\text{máx}}$$

ES 2 304 145 T3

Para poder posicionar cada impulso láser en las posiciones óptimas de medición (12), (12') a determinar de dicha manera, se calcula mediante el control del sistema el momento de la generación del impulso láser, y mediante una unidad de desviación de rayos se posiciona el rayo del láser de análisis transversalmente respecto a la dirección de avance, es decir, en la dirección (y). En comparación con el estado de la técnica, mediante este procedimiento se

5 aumenta considerablemente el número de mediciones aprovechables realizadas sobre piezas en desplazamiento.

La figura 5 muestra la realización del procedimiento. En el momento (t_A) la unidad de triangulación (17) detecta en la posición (x_A) la superficie (4') del objeto a medir. Para cada línea (14) medida, los valores de distancia (s) de los puntos de medición de triangulación (15) se transmiten al dispositivo (18) de regulación del autoenfoco. El

10 dispositivo de regulación del autoenfoco, mediante el recorrido de la superficie interpolado, determina en la siguiente zona de medición (10') válida el siguiente punto de medición (12') posible, cuyos parámetros ΔT , (d) y α están dentro del espacio de proceso válido. Preferentemente, la búsqueda en el siguiente espacio de medición (10') de una posición de medición (12') con un espacio de medición válido se realiza con valores crecientes de ΔT y, para cada valor de ΔT , con distancias crecientes respecto a la coordenada (y) de la posición de medición (12) de la zona de medición (10). De

15 esta manera, se da preferencia a los puntos de medición que, dentro de la zona de medición (10'), se encuentran a una distancia espacial mínima respecto al impulso anterior. Con ello siempre se consigue el número máximo de puntos de medición (12), (12') sobre la superficie (4') de la muestra, posible dentro del marco de la aplicación.

En caso de que en la zona de medición (10') no se pueda encontrar ningún punto de medición (12') dentro del

20 espacio de proceso, se emite un impulso de bombeo del láser, pero no un impulso de láser. El intervalo entre impulsos ΔT se determina entonces del modo siguiente:

$$\Delta T = \Delta T_g^{\min} \text{ para } \Delta T_{\text{medio},N} > \Delta T_{\text{teórico}}$$

25

$$\Delta T = \Delta T_g^{\max} \text{ para } \Delta T_{\text{medio},N} \leq \Delta T_{\text{teórico}}$$

Con ello se aumenta la estabilidad térmica del sistema láser y, al mismo tiempo, se regula el intervalo medio entre

30 impulsos $\Delta T_{\text{medio},N}$ al valor teórico $\Delta T_{\text{teórico}}$. En caso de que para un número definido de impulsos ya se hubieran emitido impulsos de bombeo en vez de impulsos láser, y fuera necesario emitir nuevamente sólo un impulso de bombeo, se emitirá un impulso láser cuyos valores de medición se desechan. Mediante estos "impulsos ciegos" se aumenta la estabilidad térmica del láser.

La figura 6 muestra, a título de ejemplo, la regulación descrita de las distancias entre impulsos para las mediciones sobre un objeto a medir en el plano (xz). El eje (x) está representado por un eje temporal equivalente (eje -t-). La referencia (P) designa un impulso de bombeo emitido, y la referencia (L) designa un impulso láser emitido. En los momentos (t_1) y (t_2) no hay ningún objeto a medir en la posición de medición, y para los intervalos entre impulsos se selecciona el valor $\Delta T_{\text{teórico}}$. Se emiten impulsos de bombeo (P) pero no impulsos láser (L). En los momentos (t_3) y (t_4), el objeto a medir está en posición, la superficie está en las zonas de medición (10^{3'}), (10^{4'}) y se elige el valor $\Delta T_g^{\min}$ para los dos intervalos entre impulsos. Esto debe permitir realizar el mayor número posible de mediciones sucesivas. Se emiten impulsos de bombeo (P) e impulsos láser (L). En el momento (t_5) no se puede encontrar ninguna posición de medición en la zona de medición (10^{5'}), por lo que se ajusta un intervalo entre impulsos de $\Delta T_g^{\max}$. Se emite un impulso de bombeo (P) pero no un impulso láser (L). En el momento (t_6) ya se han realizado tres mediciones en los momentos

40 (t_6) a (t_8) con un intervalo entre impulsos de $\Delta T_g^{\min}$, y el intervalo medio para los tres impulsos ya ha alcanzado el valor límite $\Delta T_{\text{medio},3}$. Por ello, el intervalo mínimo ajustable $\Delta T_{\min}$ pasa a ser $\Delta T_g^{\max}$ y el intervalo entre impulsos ΔT sólo puede ser ajustado a $\Delta T_g^{\max}$. Se encuentra una posición de medición adecuada y se emiten un impulso de bombeo y un impulso láser, con un intervalo entre impulsos de $\Delta T_g^{\max}$. En el momento (t_{12}) no se puede encontrar en la zona de medición (10^{12'}) ninguna posición cuyos parámetros estén dentro del espacio de proceso. El ángulo de inclinación

50 α de la normal a la superficie es demasiado grande, o bien los elementos de superficie están fuera de la zona (MZ) de medición vertical. Dado que la duración media de impulsos debe ser $\Delta T_{\text{medio},3} < \Delta T_{\text{teórico}}$, el intervalo entre impulsos se ajusta a $\Delta T_g^{\max}$. En el momento (t_{14}) el objeto a medir ya no está en la posición de medición, y los intervalos entre impulsos se vuelven a ajustar a $\Delta T_{\text{teórico}}$.

Para la siguiente posición de medición (12') posible determinada, en el momento (t_B) de llegada del objeto a medir

55 (16) a la posición de medición (x_B), se utilizan los parámetros ΔT , (y) y (d) para enfocar el rayo láser (2) sobre la superficie (4') del objeto a medir (16) mediante la óptica de enfoque (1). La óptica de enfoque (1), que consta de la óptica de autoenfoco (1a) y de la unidad de desviación de rayos (1b), enfoca el rayo láser (2) del láser de análisis (19) sobre la superficie (4') de la muestra, en la posición de medición (x_B), según muestra la figura 5.

Para ajustar la posición del punto focal del láser se procede del modo siguiente. Se ajusta la distancia vertical (d) mediante la óptica de autoenfoco (1a). La zona de medición vertical ajustable es (MZ). La magnitud de ajuste de la óptica de autoenfoco se elige de manera que (Δs) sea constante para todas las mediciones. Mediante la unidad de desviación de rayos (1b) se ajusta la coordenada (y) de la siguiente posición de medición (12'). La zona ajustable de este traslado horizontal es (MY). Mediante el momento de la medición se ajusta la coordenada (x) de la siguiente

65 posición de medición (12'). La longitud de la zona de medición (10') ajustable es (MX).

ES 2 304 145 T3

La óptica de autoenfoque (1a) se puede realizar, por ejemplo, con un sistema de dos lentes, compuesto por una lente cóncava y una lente convexa, de modo que, mediante un movimiento de la lente cóncava paralelo al eje óptico, se pueda variar la distancia del punto focal respecto a la óptica de enfoque (1). La unidad de desviación (1b) se puede realizar, por ejemplo, utilizando un sistema de escaneado (X/Y) en combinación con un objetivo theta (F).

La emisión del plasma (6) inducido por láser en la posición de medición (x_B) es recogida por la óptica de recepción de la unidad de detección (9) y conducida a un espectrómetro (20).

La óptica de recepción de la unidad de detección (9) está configurada de modo tal que se puedan detectar las emisiones de plasma en toda la zona de medición (MX) (MY), según muestra la figura 3. Esto se puede conseguir, por ejemplo, mediante un haz de fibras que posee una sección transversal en forma de líneas, dispuesto paralelamente al eje (y) en el lugar de la medición, el cual puede detectar las emisiones de plasma de cada lugar posible de medición, cuyo lado orientado hacia el espectrómetro está adaptado mediante el cambio de sección transversal a la rendija de entrada del espectrómetro, y que está montado antes del mismo. La unidad de dispersión (20a) del espectrómetro (20) descompone el espectro de emisión del plasma detectado, y la unidad de detección (20b) del espectrómetro determina, para un periodo de tiempo definido, la emisión integrada en el tiempo de las líneas espectrales observadas. Una función de corrección $f(\alpha)$ corrige la variación de la emisión de plasma integrada en el tiempo de todas las líneas de emisión observadas debida al ángulo α , respecto al valor correspondiente, por ejemplo, al caso en que $\alpha=0^\circ$. En general no se realiza una corrección del espectro de emisión cuando el ángulo de inclinación α se aparta de un valor predeterminado α_K .

La concentración de cada elemento a analizar observado en la muestra se determina mediante una función de calibrado. Para ello, la unidad de detección (20b) calcula para cada emisión del plasma las señales de referencia de cada impulso que corresponden a una línea del elemento a analizar. Estas señales de referencia se calculan a partir de la relación entre la emisión integrada en el tiempo corregida de la línea del elemento a analizar observado y una combinación de las demás emisiones de líneas, o bien de una señal de medición representativa de la emisión total del plasma y las distancias verticales (s_1), (s_2), (s_3),..., determinadas mediante la unidad de triangulación (17). Se desechan todas las líneas de elementos a analizar cuya emisión de plasma, integrada en el tiempo por tramos, presenta un valor situado fuera de la correspondiente zona de medición. A continuación se calcula el valor promedio de todas las señales de cada impulso referenciadas que pertenecen a cada objeto a medir (16). La concentración de los elementos a analizar observados en la muestra se determina mediante una función de calibrado, que incluye todas las señales de cada impulso referenciadas observadas para los correspondientes elementos a analizar. La ponderación en la función de calibrado de las señales de cada impulso referenciadas observadas de los diferentes elementos a analizar depende de los propios valores de las señales de cada impulso referenciadas observadas.

Las concentraciones de los elementos a analizar determinadas de esta forma para cada objeto a medir son transmitidas por la unidad de detección (20b) del espectrómetro a un dispositivo de control (21), el cual las utiliza, por ejemplo, para clasificar los objetos a medir, para comprobar errores o para documentar el control de calidad.

Lista de referencias

- 1 Óptica de enfoque
- 1a Óptica de autoenfoque
- 1b Unidad desviadora del rayo
- 2 Rayo láser
- 3 Dirección de propagación
- 4 Elemento de la superficie de la muestra
- 4' Superficie de la muestra
- 5 Normal a la superficie
- 6 Punto de penetración
- 7 Proyección de la sección transversal del rayo láser sobre el elemento de superficie
- 8 Plano focal
- 9 Unidad de detección
- 10,10' Zona de medición

ES 2 304 145 T3

11	Distancia entre el último lugar de medición y el comienzo de la siguiente zona de medición
12, 12'	Posición de medición
5 13	Distancia entre el último lugar de medición y el final de la siguiente zona de medición
14, 14'	Líneas de medición de la unidad de triangulación
15	Punto de la superficie de la muestra detectado por la unidad de triangulación
10 16	Objeto a medir
17	Unidad de triangulación
15 18	Regulación de autoenfoco
19	Láser de análisis
20	Espectrómetro
20 20a	Unidad de dispersión del espectrómetro
20b	Unidad de detección del espectrómetro
25 21	Control del dispositivo.

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para realizar espectrometría de emisión, en especial, espectrometría de emisión láser, en la que se enfoca automáticamente un rayo láser con impulsos sobre una pieza a trabajar para generar un plasma inducido por láser,
en la que se detecta la radiación emitida por el láser y con el espectro de emisión se realiza un análisis elemental,
caracterizado porque,
antes de la generación del plasma, además de determinar la distancia entre la óptica de autoenfoque y la superficie de la pieza a trabajar, se determinan los parámetros geométricos adicionales P1, P2 ... PN de un lugar potencial de medición sobre la superficie de la pieza a trabajar,
y sólo se realiza un análisis elemental para los lugares potenciales de medición sobre los que se encuentra, como mínimo, uno de los parámetros geométricos adicionales dentro de un intervalo de tolerancias [T1...T2] predefinido.
2. Procedimiento según la reivindicación 1,
caracterizado porque el ángulo de inclinación α de la superficie de la pieza a trabajar en relación al eje del rayo láser presente en el lugar potencial de medición se determina como parámetro geométrico.
3. Procedimiento según la reivindicación 2,
caracterizado porque se realiza una corrección del espectro de emisión cuando existe una diferencia entre el ángulo de inclinación α y un valor predefinido α_K .
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3,
caracterizado porque, antes de la inducción del plasma, se determina mediante un método de triangulación el perfil superficial, como mínimo, de una zona parcial de la superficie de la pieza a trabajar, y a partir de dicho perfil superficial se calculan los parámetros geométricos adicionales.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4,
caracterizado porque solamente se induce plasma en los lugares en los que todos los parámetros geométricos predefinidos están dentro del intervalo de tolerancias.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5,
caracterizado porque los parámetros geométricos predefinidos, en lo que respecta a su tipo e intervalo de tolerancias, se corresponden con los parámetros geométricos para los que previamente se ha trazado una curva de calibrado.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6,
caracterizado porque el rayo láser se desvía transversalmente respecto a la dirección de movimiento del objeto a medir.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7,
caracterizado porque se miden piezas que se desplazan sobre una cinta.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8,
caracterizado porque se mide chatarra de aluminio o desechos eléctricos.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9,
caracterizado porque la penetración de rayos láser se realiza con un intervalo de impulsos ΔT variable, de modo que los valores de ΔT están dentro de un intervalo de tolerancias predefinido [$\Delta T_{\min}$... $\Delta T_{\max}$] y la distancia media entre impulsos ΔT_{medio} fluctúa alrededor de un valor teórico $\Delta T_{\text{teórico}}$.
11. Procedimiento según la reivindicación 10,
caracterizado porque, cuando un dispositivo de detección detecta un objeto a medir, se selecciona un intervalo entre impulsos menor que cuando no se detecta un objeto a medir.

ES 2 304 145 T3

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 u 11,

caracterizado porque, cuando un dispositivo de detección no detecta un objeto a medir, se emite impulso de bombeo y no se emite impulso láser.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 12,

caracterizado porque el intervalo entre impulsos ΔT se regula individualmente para cada impulso.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 13,

caracterizado porque se determinan individualmente para cada impulso los límites del intervalo de tolerancias $\Delta T_{\min}$ y $\Delta T_{\max}$.

15. Dispositivo para la espectrometría de emisión, en especial, para la espectrometría láser, que comprende un láser de impulsos para generar un plasma inducido por láser sobre una pieza a trabajar que se desplaza respecto al rayo láser, un dispositivo de autoenfoco del rayo láser, un detector para detectar la radiación emitida por el plasma, y un dispositivo para realizar un análisis elemental,

caracterizado porque dispone de un medio para medir el perfil de la superficie de una muestra transversalmente respecto a la dirección de movimiento del objeto a medir.

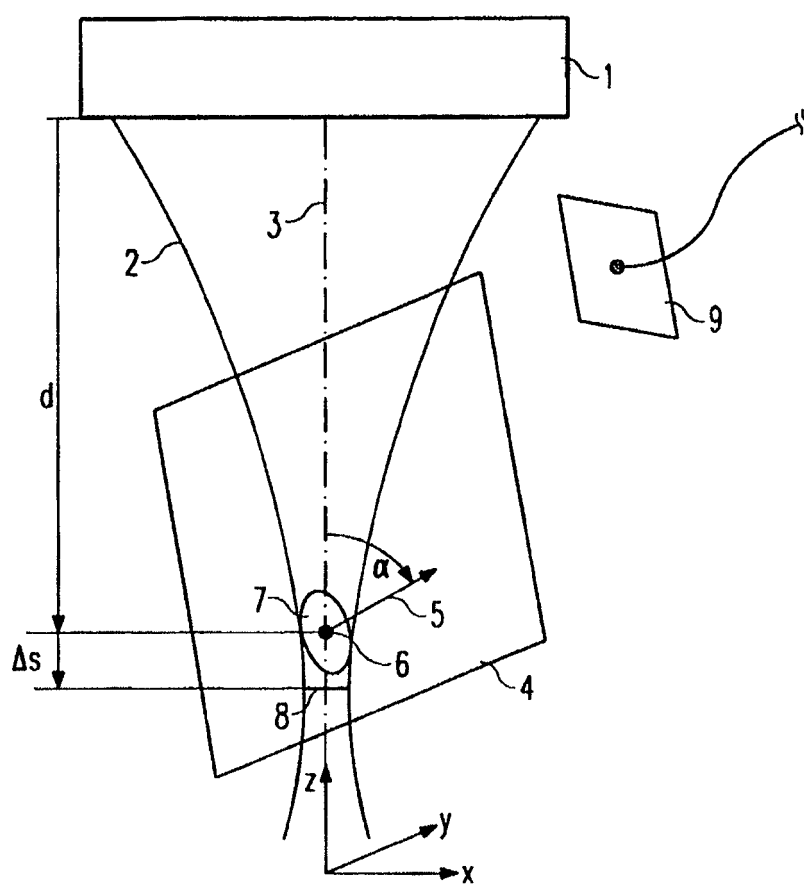


Fig. 1
Estado de la técnica

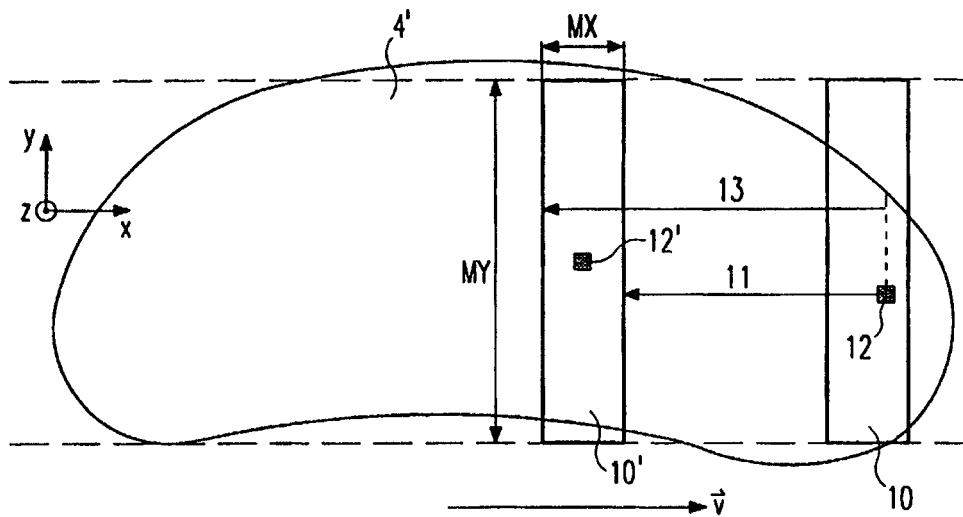


Fig. 2

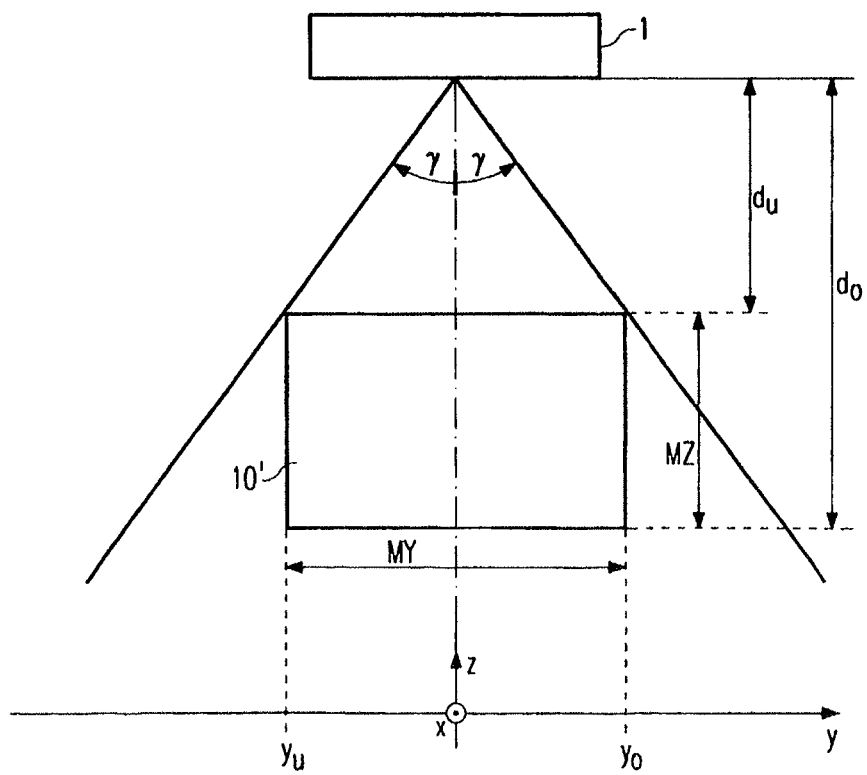


Fig. 3

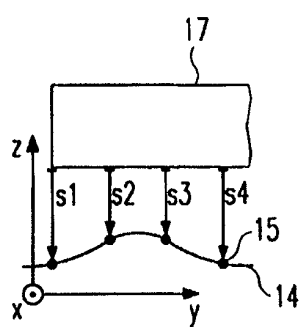


Fig. 4a

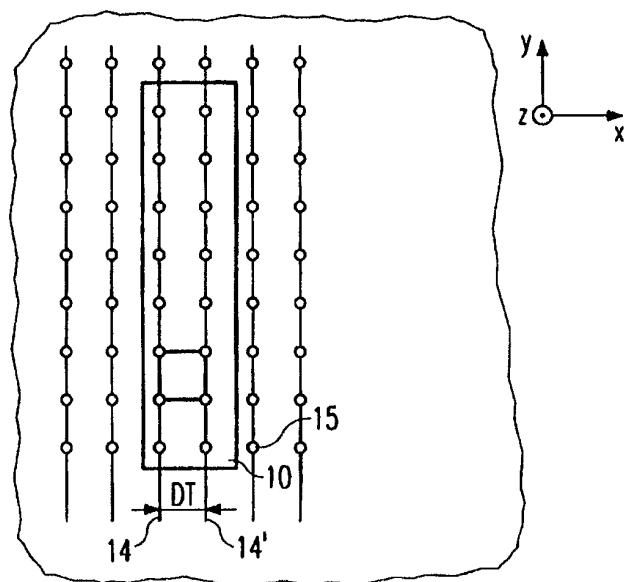


Fig. 4b

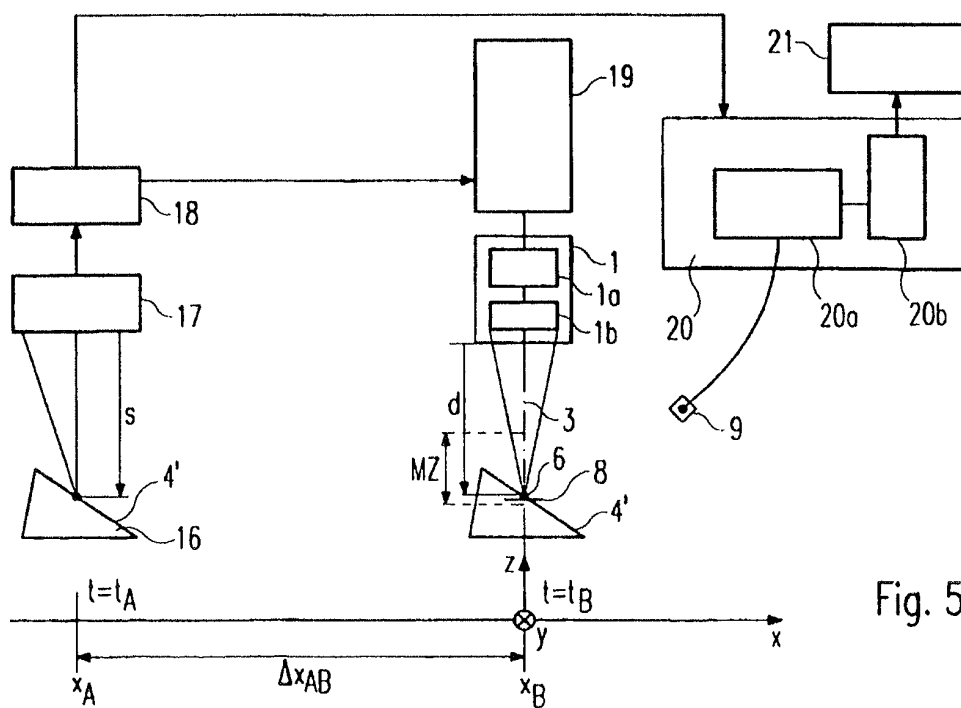


Fig. 5

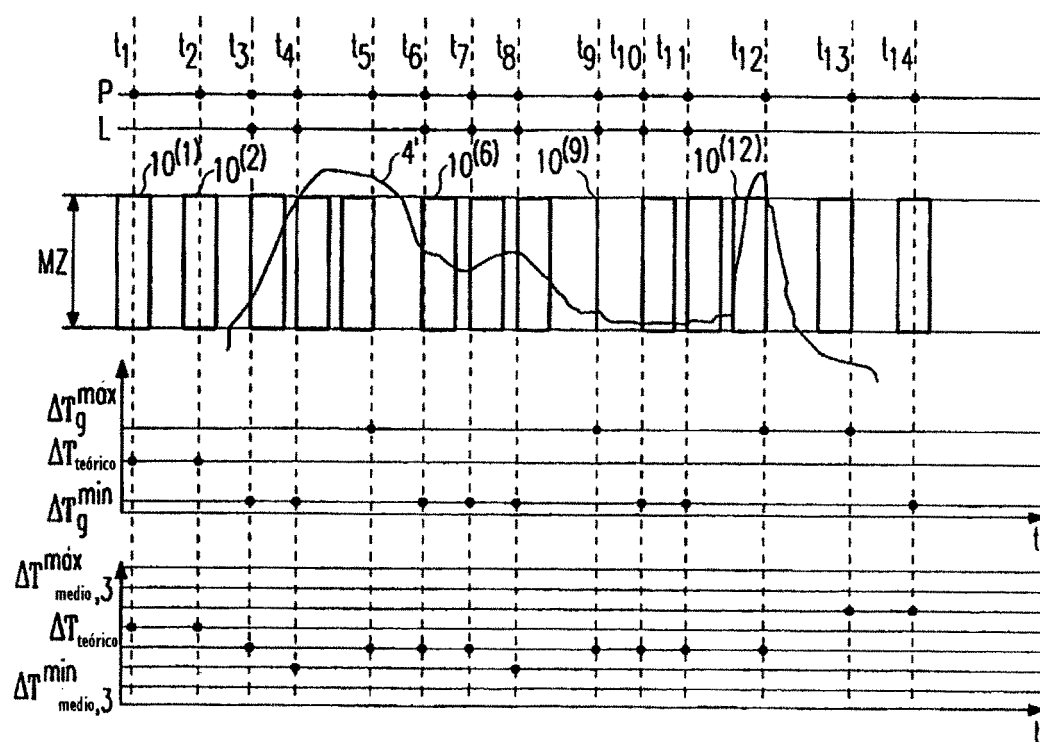


Fig. 6