

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 450**

51 Int. Cl.:

C21C 5/52 (2006.01)

F27B 3/08 (2006.01)

F27D 21/00 (2006.01)

G01F 23/28 (2006.01)

H05B 7/148 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.09.2013 PCT/EP2013/069238**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.03.2014 WO14044662**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.09.2013 E 13763247 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 2898104**

54 Título: **Procedimiento para operar un horno de arco**

30 Prioridad:

24.09.2012 UA 2012011113

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

06.06.2018

73 Titular/es:

**SMS GROUP GMBH (100.0%)
Eduard-Schloemann-Strasse 4
40237 Düsseldorf, DE**

72 Inventor/es:

**GRYGOROV, PAVLO;
ODENTHAL, HANS-JÜRGEN;
SCHULZE, STEPHAN y
WEDELL, TOBIAS**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 671 450 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 para operar un horno de arco

5 La invención se relaciona con un procedimiento para operar un horno de arco, donde el horno de arco comprende un receptáculo para material fundido, así como al menos un electrodo, donde el electrodo está dispuesto sobre un brazo de soporte y sujeto por éste, donde en el receptáculo se introduce un espumante de escoria, para formar una capa de espuma de escoria con una altura sobre el material fundido.

10 En la fabricación de acero eléctrico, en un horno de arco eléctrico (EAF), la energía eléctrica introducida a través de los brazos de soporte y los electrodos conductores de corriente se convierte en calor de Joule de los arcos. Cada arco arde entre el electrodo y la materia prima hasta que ésta esté completamente fundida. Las corrientes secundarias que fluyen con ello en el circuito de alta corriente alcanzan valores de hasta 120 kA.

15 Un horno de cuchara (trifásico) es una unidad metalúrgica, que se utiliza para el calentamiento y para el tratamiento de acero líquido. De esta forma, se pueden lograr las temperaturas de fundición y los análisis químicos deseada/os. Un horno de cuchara consta de electrodos conductores de corriente, brazos de soporte de electrodos refrigerados por agua, un recipiente refractario, una tapa refrigerada por agua con diversas aberturas para los electrodos y la adición de agente de aleación. El calentamiento del acero líquido se lleva a cabo convirtiendo en calor la energía eléctrica introducida a través de los brazos de soporte y electrodos conductores de corriente. El ajuste de la potencia eléctrica deseada se realiza mediante una regulación del electrodo. Por lo tanto, la longitud del arco se varía mediante el posicionamiento de los electrodos. Con el fin de minimizar el efecto de la radiación del arco en el revestimiento refractario, un horno de cuchara se hace funcionar con arcos cortos, que estén cubiertos por una fina capa de escoria (de 50 a 150 mm).

20 En el estado actual de la técnica se conocen procedimientos apropiados. Se hace referencia, por ejemplo, a la EP 0 637 634 A1 y a la EP 2 302 080 A1. La DE 196 36 279 A1 se refiere a la medición de los movimientos periódicos del electrodo del horno de arco. La EP 1 082 467 B1 prevé que el formador de escoria se regule en función de la corriente del electrodo. En la WO 2009/095396 A1, se detectan las oscilaciones de los electrodos en el horno de arco eléctrico. Una solución similar la muestra la WO 2011/147869 A1.

Las fuerzas electromagnéticas resultantes actúan con la frecuencia de red y la doble sobre los electrodos y los brazos de soporte conductores de corriente y provocan oscilaciones forzadas del sistema electrodos-brazo de soporte.

30 En el espectro de oscilación, se hace una distinción entre los componentes de alta y baja frecuencia. Las oscilaciones de alta frecuencia - a 50 Hz y 100 Hz - son causadas por la dinámica del arco y, en consecuencia, por la fuerza de Lorentz. Las oscilaciones de baja frecuencia - de 1 Hz a 10 Hz - son oscilaciones naturales del sistema electrodos-brazo de soporte, que se impulsan mecánicamente (cuando colapso de chatarra) o eléctricamente (cuando cambie la longitud del arco). En un diseño desfavorable de los brazos de soporte, en este rango de frecuencia pueden aparecer oscilaciones de resonancia del sistema electrodos-brazo de soporte, que alberguen el peligro de rotura del electrodo. Las fracturas de electrodos conducen en la acería muy desfavorablemente al aumento de los costes de producción y a interrupciones más largas en la producción.

35 Las amplitudes de oscilación del brazo de soporte varían durante el proceso de fusión. En la fase de perforación, el arco arde sobre la chatarra sólida y origina amplitudes de oscilación relativamente grandes. En la fase de baño plano, la escoria comienza a formar espuma, debido al baño líquido y a la inyección de un formador de escoria (en la mayoría de los casos, carbono de grano fino). La espuma de escoria mejora el aporte de energía al baño de acero líquido y protege el revestimiento refractario y el sistema de refrigeración por agua del horno frente a la fuerte exposición a la radiación del arco. Dado que, en este contexto, el arco y la punta del electrodo están envueltos por la espuma de escoria, las amplitudes de oscilación disminuyen. Cuanto mayor sea la cantidad, es decir la masa, de espumante de escoria inyectado (carbono), tanto mayor será también la altura de la capa de espuma de escoria y el grado de amortiguación de las oscilaciones del brazo de soporte del electrodo y tanto menores serán las amplitudes de oscilación.

A un alto nivel de la espuma de escoria pueden impulsarse los electrodos más hacia arriba, el arco será más largo para la misma potencia eléctrica y menor corriente.

50 En la construcción de brazos de soporte del electrodo conductores de corriente, frecuentemente no se calculan las frecuencias naturales de los brazos de soporte y no se tienen en cuenta los factores relacionados con el proceso (longitud variable y masa del electrodo) que influyen en la frecuencia natural. Durante el funcionamiento del horno, las fuerzas de una determinada frecuencia que actúan sobre el sistema electrodos-brazo de soporte pueden producir oscilaciones de resonancia, que podrían destruir los electrodos de grafito. Para estabilizar el comportamiento de

oscilación de un electrodo y eliminar la causa de la fractura del electrodo, es importante reconocer precozmente las oscilaciones de resonancia.

5 En la producción de acero eléctrico, los arcos sin haces están envueltos generalmente por la escoria en espuma. Como resultado, se logra un aporte de energía óptimo en el baño de líquido y se minimizan las pérdidas de radiación lateral del arco. En la operación práctica, la espuma de escoria se produce inyectando un carbón de grano fino en la escoria. La cantidad de carbono inyectado puede calcularla o determinarla el personal de operación en base a valores empíricos. Una cantidad excesiva de carbono puede aumentar el contenido de carbono en la masa fundida (carburation de la masa fundida). Sin embargo, desfavorablemente, con una cantidad insuficiente de carbono, el arco sólo estará parcialmente envuelto. La selección de la cantidad correcta de espumante de escoria es, por lo tanto, a veces problemática y en determinadas circunstancias personal, función de la experiencia del personal operativo.

15 Como el acero líquido es un sistema oscilatorio, pueden aparecer oscilaciones críticas no deseadas del recipiente del horno incluso cuando se opera un horno de cuchara. Cuando aparezcan tales oscilaciones, el proceso de tratamiento debería interrumpirse desconectando el horno a corto plazo, pero esto es desfavorable desde el punto de vista de la tecnología de procesos. Las oscilaciones del recipiente del horno pueden estar causadas por una regulación mal ajustada del electrodo o por oscilaciones del brazo de soporte.

20 La invención se basa en el objeto de desarrollar un procedimiento del tipo apropiado de tal forma que se pueda determinar de manera mejorada la altura de la espuma de escoria. Además, deberían adoptarse las condiciones necesarias para optimizar, en la medida de lo posible sin valores experimentales individuales del operario, la alimentación del espumante de escoria, es decir, deberían minimizarse las oscilaciones que aparezcan, donde al mismo tiempo no debería añadirse demasiado formador de escoria, para evitar la carburation no deseada del acero.

La resolución de este objeto con la invención se caracteriza porque el procedimiento comprende los pasos:

25 a) determinación de una relación funcional ($h = f(a)$) entre las oscilaciones del electrodo o del brazo de soporte durante la operación del horno de arco y la altura (h) de la espuma de escoria por medición, donde en la relación funcional se toma la amplitud (A) de la aceleración de oscilación (a) de las oscilaciones como representativa de la altura (h) de la espuma de escoria;

30 b) operación del horno de arco, donde se miden las oscilaciones instantáneas y/o actuales del electrodo o del brazo de soporte y donde, partiendo de estos valores de medición y a través de la relación funcional ($h = f(a)$) determinada en el paso a), se determina la altura (h) de la espuma de escoria, donde la aceleración de oscilación (a) del electrodo o del brazo de soporte se determina por medio de un sensor de aceleración, que se fija a o en el electrodo el brazo de soporte,

35 donde para la adición del espumante de escoria, determinante de la altura de la espuma de escoria, en el receptáculo y/o sobre el material fundido se utiliza una relación funcional determinada experimentalmente entre la masa añadida de espumante de escoria y la amplitud de aceleración de oscilación, donde la adición del espumante de escoria en el receptáculo y/o sobre el material fundido se lleva a cabo de tal forma que las oscilaciones medidas no superen un valor máximo predeterminado.

Al mismo tiempo puede preverse que la adición del espumante de escoria tenga lugar en el receptáculo y/o sobre el material fundido de tal forma que las oscilaciones medidas no queden por debajo de un valor mínimo predeterminado.

40 Conforme a ello, la cantidad óptima de formador de escoria (carbono) se regula y/o controla de tal manera que se eviten, por una parte, una cantidad de escoria demasiado pequeña y, por otro lado, una carburation no deseada del acero a procesar.

Además, se puede usar un rango de frecuencia definido de oscilación del electrodo o del brazo de soporte.

45 Como espumante de escoria se emplea en la mayoría de los casos carbono de grano fino, que se introduce, particularmente se insufla, en el receptáculo.

50 El sensor de aceleración está dispuesto preferiblemente en una región refrigerada por agua del brazo de soporte, por ejemplo, en la región de las pinzas de sujeción del electrodo. Los valores medidos de la aceleración de oscilación del sensor de aceleración se transmiten preferiblemente de forma inalámbrica, en particular por radio, a una unidad de evaluación. Alternativamente, también es posible que los valores medidos de la aceleración de oscilación se transmitan desde un sensor óptico de aceleración a través de una fibra óptica a una unidad de evaluación. Naturalmente, también es posible una transmisión clásica por cable. La energía necesaria para el funcionamiento del sensor de aceleración y/o la transmisión inalámbrica de los datos medidos se puede obtener a

través de un elemento, que obtiene energía eléctrica a partir de la energía de oscilación del electrodo o del brazo de soporte (módulo procesador de energía).

5 Para la fuente de alimentación se aplica naturalmente también cualquier otra posibilidad. Así puede preverse una batería y/o un acumulador. En el caso de una fuente de alimentación por cable, es posible y ventajoso un pasacables a través del interior del brazo de soporte.

10 La presente invención permite, por consiguiente, primero la determinación de la aceleración de oscilación del brazo de soporte del electrodo de un horno de arco por medición. Aquí se incluye la medición de la aceleración de oscilación para detectar las oscilaciones de resonancia del brazo de soporte del electrodo. Finalmente, la invención comprende la medición de las aceleraciones de oscilación y la calibración del sistema para determinar mejor la altura de la espuma de escoria en el horno de arco.

La medición de las oscilaciones del brazo de soporte proporciona información valiosa sobre la altura de la espuma de escoria en el interior del recipiente del horno.

15 El procedimiento propuesto posibilita una medición continua de las oscilaciones del brazo de soporte con la ayuda de uno o varios sensores de aceleración. El dispositivo de medición se instala preferiblemente en la zona refrigerada por agua del brazo de soporte del electrodo cerca de la pinza del electrodo. Las amplitudes de aceleración medidas se transmiten preferentemente de manera inalámbrica, por medio de un módulo de radio incorporado en el brazo de soporte del electrodo, a un ordenador.

20 Monitorizando las oscilaciones medidas y, en particular, las amplitudes de las aceleraciones de oscilación, así como los espectros de frecuencia de las oscilaciones, se pueden detectar precozmente las oscilaciones de resonancia del soporte de electrodo que conducen a la rotura del electrodo; en consecuencia, se pueden tomar medidas para evitar la rotura del electrodo.

25 A partir de la comparación de las amplitudes A de la aceleración de oscilación medidas con la masa M del formador de escoria inyectado (carbono) puede determinarse experimentalmente una relación funcional $M(t) = f[A(t)]$. Como la altura de la espuma de escoria $h(t)$ se correlaciona con la masa del formador de escoria añadido $M(t)$, se puede determinar, por consiguiente, la altura h de la espuma de escoria como función de las amplitudes de aceleración $A(t)$ medidas ($h(t) = f[A(t)]$).

30 Por otra parte, puede elaborarse un diagrama de desplazamiento para la masa del formador de escoria a agregar. Por medio del diagrama de desplazamiento se ajusta entonces en la operación práctica del horno la masa del carbono inyectado de tal forma que se dé una altura suficiente de espuma de escoria para envolver el arco suficientemente (al máximo). Por otro lado, se puede prevenir una adición de demasiado carbono, de forma que pueda evitarse una carburación excesiva de la masa fundida.

Por lo tanto, existe la posibilidad de automatizar el proceso de adición del generador de escoria. Ya no dependerá de la experiencia del personal operativo.

35 Las aceleraciones de los brazos de soporte del electrodo de un horno de arco se miden por medio de un sensor de aceleración y se transmiten con la ayuda de un módulo de radio a un ordenador del personal operativo. Esto crea la oportunidad de detectar precozmente oscilaciones resonantes de un brazo de soporte del electrodo y determinar la altura de la espuma de escoria en la fase de baño plano.

40 Resulta ventajoso que se pueda medir la aceleración de los brazos de soporte del electrodo durante el funcionamiento del horno. Esto permite una monitorización continua del proceso y una detección precoz de oscilaciones resonantes que provocan rotura de electrodos.

Mediante la asignación temporal del valor medido de la amplitud de aceleración $A(t)$ a la altura h de la escoria determinada o medida visualmente, se puede determinar la relación funcional $h(t) = f[A(t)]$. Por medio de esta relación funcional se puede determinar, durante la operación práctica del horno de arco, la altura de la espuma de escoria a partir de las amplitudes de aceleración medidas.

45 A partir de la comparación de las amplitudes de aceleración medidas $A(t)$ con la cantidad de carbón inyectado $M(t)$ puede determinarse un diagrama de desplazamiento de la adición de carbono de la forma $M(t) = f[A(t), h(t)]$. Una vez que se ha determinado el diagrama, la adición de carbono puede controlarse mediante los valores de aceleración medidos, de forma que se pueda evitar en gran medida la exposición de los arcos.

50 Con el procedimiento propuesto puede detectarse precozmente un estado crítico de la operación del horno, incluso en el caso de un horno de cuchara.

Una fuente de alimentación autosuficiente y una transmisión inalámbrica de datos permiten un fácil montaje del equipo de medición en el área refrigerada por agua en el interior de los brazos de soporte del electrodo.

En los dibujos se representa un ejemplo de ejecución de la invención. Muestran:

Fig. 1 esquemáticamente, un horno de arco,

5 Fig. 2 esquemáticamente, la evolución de la masa del espumante de escoria agregado en el horno de arco como función de la amplitud de las oscilaciones del brazo de soporte del electrodo y

Fig. 3 esquemáticamente, la evolución de la altura de la espuma de escoria en el horno de arco como función de la amplitud de las oscilaciones del brazo de soporte del electrodo.

10 En la Fig. 1 se representa un horno de arco 1, que comprende un receptáculo 2, en el que puede fundirse material fundido 3. Para este fin, hay un electrodo 4 dispuesto en un brazo de soporte 5. El electrodo se alimenta con alta tensión, de modo que se forme un arco 9 que caliente el material fundido. En principio, el horno de arco puede ser un horno de corriente alterna o continua.

15 Introduciendo un espumante de escoria (carbono C) en el interior del receptáculo 2 se produce espuma de escoria sobre la superficie del material fundido 3, que tiene una altura h. La altura h ha de elegirse, por un lado, de tal forma que el arco 9 o el extremo del electrodo 4 esté envuelto por escoria, por otro lado, es posible añadir menos espumante de escoria C, o sea carbono, para evitar la carburación excesiva del material 3. El carbono se insufla además debajo de la espuma de escoria usando uno o más inyectores.

20 Para lograr esto, se incorpora en el brazo de soporte 5 un sensor de aceleración 7, que esté diseñado para medir la aceleración de oscilación a del brazo de soporte 5. Los valores medidos por el sensor 7 se transmiten de forma inalámbrica por radio a una unidad de evaluación 8, que comprende un receptor y/o antena 10 para la radioseñal del sensor 7.

En la unidad de evaluación 8, se determina la amplitud A de la aceleración de oscilación a y se usa de base en el análisis o cálculo ulterior.

25 Conforme a esto, la aceleración del brazo de soporte (puede haber también varios brazos de soporte con varios electrodos) puede más favorablemente medirse en el punto de sujeción del electrodo 4 y transmitirse inalámbricamente al procesador del operario. La medición de la aceleración en función del tiempo se lleva a cabo con la ayuda del sensor de aceleración 7. El sensor se instala en el área refrigerada por agua del brazo de soporte eléctrico cerca de la pinza del electrodo, con el objetivo de medir las aceleraciones en tres direcciones espaciales (x, y, z). El sensor se alimenta con una batería o acumulador interna/o. El sensor también puede estar equipado con un
30 módulo procesador de energía, de forma que la corriente eléctrica requerida se pueda obtener de la propia oscilación.

Alternativamente, también es posible usar un sensor óptico de aceleración y una fibra óptica, a través de los cuales pueden transmitirse ópticamente los valores de aceleración medidos.

35 Para determinar una relación funcional entre la amplitud medida de la aceleración de oscilación y la altura de la espuma de escoria en el receptáculo, se procede como sigue:

Las amplitudes dependientes del tiempo de la aceleración de oscilación A(t) se detectan con una alta frecuencia de muestreo entre 100 Hz y 1 kHz. La señal de medición se transmite a la unidad de evaluación (PC) con la ayuda del módulo de radio instalado en el brazo de soporte del electrodo, donde se realizan análisis de los datos de medición y una identificación de las oscilaciones de resonancia.

40 Al mismo tiempo que las aceleraciones, se mide la masa M o el flujo másico dM/dt del carbono inyectado como una variable de proceso adicional y se determina o mide visualmente la altura de la espuma de escoria h (t). De este modo puede representarse la altura de espuma de escoria h como función de las amplitudes A de la aceleración de oscilación en forma de un diagrama $h(t) = f[A(t)]$.

45 Además, se puede determinar un diagrama de desplazamiento $M(t) = f[A(t), h(t)]$ de la masa de adición de carbono. El diagrama de desplazamiento sirve entonces en la operación práctica para optimizar y automatizar la inyección del carbón fino, de forma que el arco permanezca completamente cubierto por espuma de escoria.

El procedimiento explicado y/o las relaciones mencionadas se ilustran en la Fig. 2 y en la Fig. 3.

En la Fig. 2 se representa la relación entre la masa M de espumante de escoria C introducida en el horno de arco y la amplitud medida A de la aceleración de oscilación a . En la Fig. 3 se esboza, correspondientemente a la Fig. 2, la altura h de la espuma de escoria en el receptáculo 2 a lo largo de la amplitud medida de la aceleración de oscilación.

5 Tras determinar la relación funcional $h = f(A)$ entre las amplitudes de la aceleración de oscilación del electrodo 4 y/o del brazo de soporte 5 durante la operación del horno de arco 1 y la altura h de la espuma de escoria 6 a través de dicha medición es, por tanto, posible operar el horno de arco 1 de tal forma que las amplitudes de la aceleración de oscilación del electrodo 4 y/o del brazo de soporte 5 las mida el sensor de aceleración y, partiendo de estos valores de medición, en base a la relación funcional determinada $h = f(A)$, se calcule la altura h de la espuma de escoria 6. En base a esto, a su vez, puede llevarse a cabo la adición del espumante de escoria C en el receptáculo de tal forma que las oscilaciones medidas no excedan un valor máximo predeterminado; al mismo tiempo, sin embargo, la adición del formador de escoria de espuma C se controla y/o regula de tal manera que las oscilaciones medidas no queden por debajo de un valor mínimo predeterminado.

15 Con esto se mantiene todo el sistema de horno en un estado no crítico respecto a la exposición a la oscilación y la irradiación de calor, pero a la vez también se evita una carburación no deseada del acero por la adición de demasiado carbono.

Lista de símbolos de referencia:

	1	horno de arco/ horno de cuchara trifásico
	2	receptáculo
	3	material fundido
20	4	electrodo
	5	brazo de soporte
	6	espuma de escoria
	7	sensor de aceleración
	8	unidad de evaluación
25	9	arco eléctrico
	10	receptor/antena
	C	espumante de escoria
	h	altura (m) de la espuma de escoria a lo largo del baño metálico a la aceleración de oscilación (m/s^2)
	A	amplitud de la aceleración de oscilación (m/s^2)
30	M	masa del espumante de escoria agregado (kg)

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para operar un horno de arco (1), donde el horno de arco comprende un receptáculo (2) para material fundido (3), así como al menos un electrodo (4), donde el electrodo (4) está dispuesto en un brazo de soporte (5) y sujeto por éste, donde en el receptáculo (2) se introduce un espumante de escoria (C), para formar sobre el material fundido (3) una capa de espuma de escoria (6) con una altura h, donde el procedimiento comprende los pasos:
- 10 a) determinar una relación funcional $h = f(a)$ entre las oscilaciones del electrodo (4) o del brazo de soporte (5) durante la operación del horno de arco (1) y la altura h de la espuma de escoria (6) por medición, donde en la relación funcional la amplitud A de la aceleración de oscilación a de las oscilaciones se toma como representativa de la altura h de la espuma de escoria;
- 15 b) operar el horno de arco (1), donde se miden las oscilaciones del electrodo (4) o del brazo de soporte (5) y donde, partiendo de estos valores de medición, a través de la relación funcional determinada en el paso a) $h = f(a)$, se determina la altura h de la espuma de escoria (6), donde la aceleración de oscilación a del electrodo (4) o del brazo de soporte (5) se determina por medio de un sensor de aceleración (7), que se fija a o en el electrodo (4) o el brazo de soporte (5),
- donde para la adición del espumante de escoria (C), determinante de la altura h de la espuma de escoria (6), en el receptáculo (2) y/o sobre el material fundido (3) se toma como base una relación funcional determinada experimentalmente entre la masa $M(t) = f(A(t))$ del espumante de escoria agregado (C) y la amplitud A de la aceleración de oscilación a, donde la adición del espumante de escoria (C) en el receptáculo (2) y/o sobre el material fundido (3) se lleva a cabo de tal forma que las oscilaciones medidas no superen un valor máximo predeterminado.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la adición del espumante de escoria (C) en el receptáculo (2) y/o sobre el material fundido (3) se lleva a cabo de forma que las oscilaciones medidas no queden por debajo de un valor mínimo predeterminado.
- 25 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** en la relación funcional se toma un rango de frecuencia definido de la oscilación del electrodo (4) o del brazo de soporte (5) como representativo de la altura h de la espuma de escoria.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** como espumante de escoria (C) se usa carbono de grano fino, que se introduce, particularmente se insufla, en el receptáculo (2).
- 30 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el sensor de aceleración (7) se dispone en una zona refrigerada por agua del brazo de soporte (5).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** los valores de medición de la aceleración de oscilación a se transmiten del sensor de aceleración (7) inalámbricamente, particularmente por radio, a una unidad de evaluación (8).
- 35 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** los valores de medición de la aceleración de oscilación a se transmiten de un sensor óptico de aceleración a través de una fibra óptica a una unidad de evaluación (8).
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** la energía necesaria para la operación del sensor de aceleración (7) y/o la transmisión inalámbrica de los datos medidos la obtiene un elemento, que obtiene energía eléctrica a partir de la energía de oscilación del electrodo (4) o del brazo de soporte (5).

40

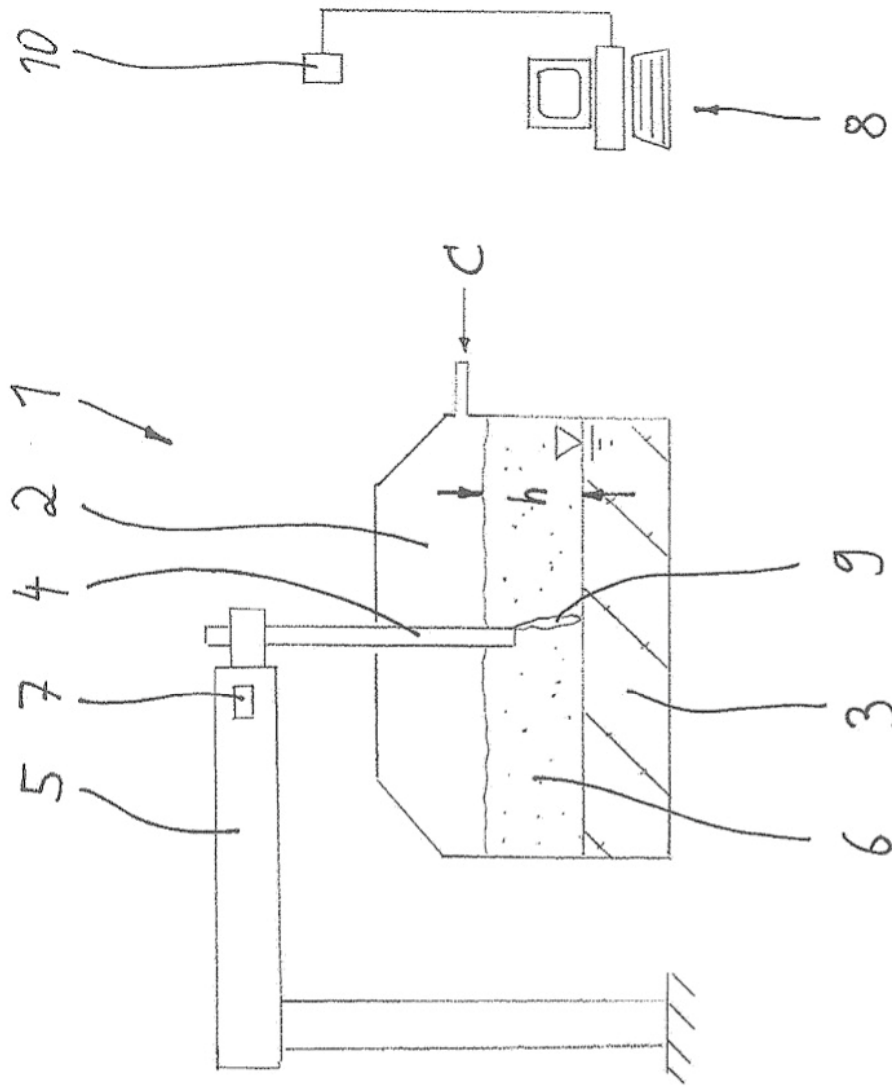


Fig. 1

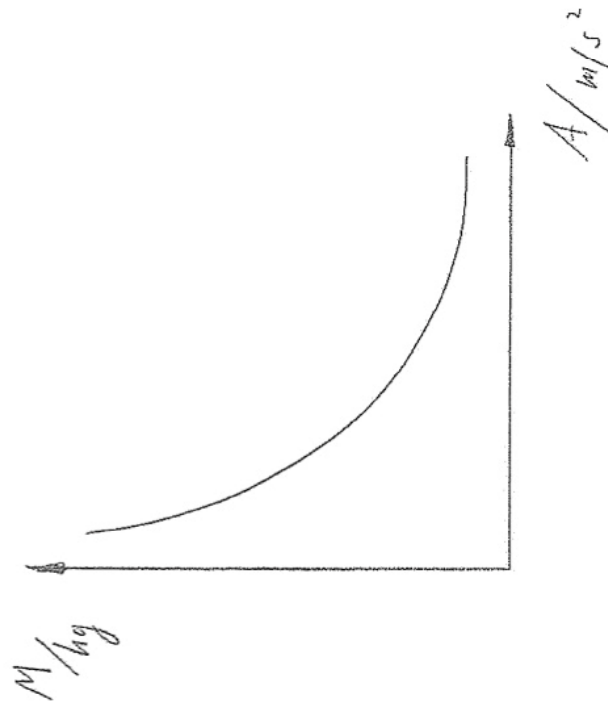


Fig. 2

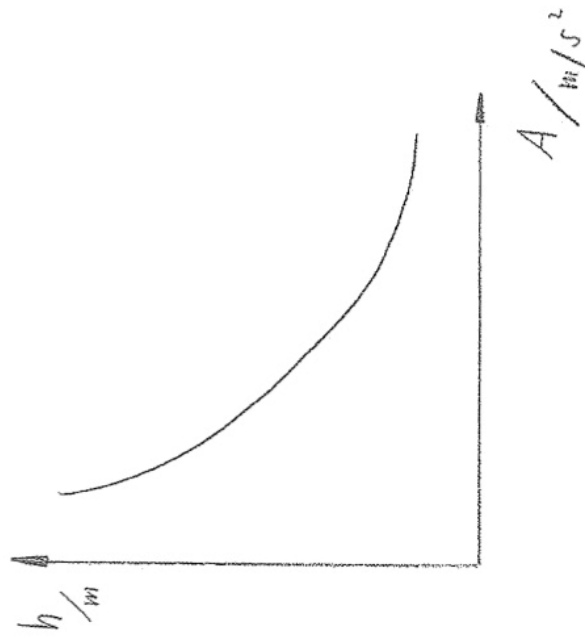


Fig. 3