

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 651**

51 Int. Cl.:

**B23P 6/04** (2006.01)

**B22D 11/12** (2006.01)

**B21B 38/00** (2006.01)

**G01N 27/82** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.06.2021 PCT/EP2021/065994**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2021 WO21254971**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2021 E 21732301 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2024 EP 4164838**

54 Título: **Método y disposición para la eliminación de grietas**

30 Prioridad:

**16.06.2020 EP 20180393**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.01.2025**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.00%)  
Bruggerstrasse 66  
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**LINDER, STEN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 993 651 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**

Método y disposición para la eliminación de grietas

Campo de la invención

5 La presente divulgación se refiere, en general, a la eliminación de grietas en un material metálico y, en particular, a la eliminación de grietas durante un proceso de fabricación de metal, tal como, por ejemplo, en una fundición.

Antecedentes de la invención

10 En la industria actual se usan métodos para eliminar grietas de un objeto de un material metálico, tal como, por ejemplo, una lámina de metal o una losa de metal. En general, se elimina una parte del objeto metálico alrededor de la grieta para crear un canal en lugar de una grieta. A diferencia de una grieta, el canal no causa ningún problema, o al menos causa menos problemas, en el procesamiento posterior del objeto metálico. Este es el caso, por ejemplo, cuando una losa de metal después de la eliminación de grietas se lamina para reducir el espesor de la losa de metal. La eliminación de una parte del material metálico puede realizarse, por ejemplo, desbastando el objeto metálico o fundiendo el material metálico, por ejemplo, con un quemador de gas.

15 De esta manera, es un procedimiento usado comúnmente para eliminar las grietas observadas en objetos metálicos fríos. Primero, el objeto metálico se produce en un proceso de fabricación de metal, por ejemplo, fundición en una máquina de fundición o fundidora, y, a continuación, se enfría a temperatura ambiente, frecuentemente durante varios días. Posteriormente, el objeto metálico se inspecciona visualmente en busca de grietas, un procedimiento en el que normalmente solo se encuentran grietas grandes y abiertas. El objeto metálico puede ser, por ejemplo, irradiado con luz, en el que un sensor óptico, tal como una cámara, puede detectar una grieta. Sin embargo, dichos métodos ópticos  
20 típicamente solo detectan grietas que son visibles en la superficie del material metálico, y las variaciones de color en el material metálico pueden ser interpretadas como grietas por el sensor óptico. De esta manera, la superficie del objeto metálico típicamente debe estar completamente limpia y lisa. A continuación, una grieta detectada visual u ópticamente puede eliminarse hasta una profundidad adecuada siguiendo el proceso de eliminación según se ha ejemplificado anteriormente.

25 En el documento EP2535125 que divulga un método y una disposición según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 12, respectivamente, se divulgan un método de procesamiento de losas y un procesamiento de losas que pueden fabricar placas de acero laminadas en caliente. El método de procesamiento de losas comprende las etapas de: preparar una losa para su procesamiento; unir las regiones de borde de la losa antes de enfriar la losa a una temperatura inferior a 600°C; y post-procesar la losa.

30 Todavía existen varios inconvenientes en los procedimientos de eliminación de grietas actuales y, de esta manera, existe la necesidad en la industria de proporcionar un método y una disposición mejorados para la eliminación de grietas en un objeto de un material metálico.

Sumario

35 Un objeto de la presente invención es superar al menos algunos de los problemas anteriores y proporcionar una solución para eliminar grietas durante un proceso de fabricación de metal, que, al menos en cierta medida, sea mejor en comparación con las soluciones de la técnica anterior. Este y otros objetivos, que se harán evidentes a continuación, se consiguen mediante un método y una disposición para eliminar una grieta en un material metálico durante un proceso de fabricación de metal.

40 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para eliminar una grieta en un material metálico durante un proceso de fabricación de metal en caliente. El método comprende las etapas de:

- determinar la presencia de una grieta y su profundidad de grieta durante el proceso de fabricación de metal mediante una unidad de detección de grietas utilizando una medición inductiva,
- enviar una señal de detección de grieta y de profundidad de grieta a una unidad de eliminación de grietas dispuesta a una distancia conocida desde la unidad de detección de grietas, comprendiendo la unidad de eliminación de grietas un  
45 eyector configurado para expulsar un medio de grabado y para variar la intensidad del medio de grabado expulsado,
- eliminar la grieta detectada mediante la activación del eyector en base a la señal de detección de grieta con una intensidad del medio de grabado expulsado basada al menos en la profundidad de la grieta.

50 De esta manera, puede eliminarse de manera eficiente una grieta durante el proceso de fabricación de metal, por ejemplo, durante una fundición, sin la necesidad de enfriar el material metálico. Además, debido a que la profundidad de la grieta se usa como una entrada para determinar la intensidad con la que el eyector expulsa el medio de grabado, se expulsa una cantidad suficiente, pero no excesiva, de medio de grabado para eliminar la grieta, por ejemplo, causando un canal en el material metálico. De esta manera, el eyector se configura para variar la intensidad del medio de grabado expulsado usando la profundidad de la grieta como una entrada para determinar la intensidad establecida. Además, al detectar tanto la presencia de una grieta como su profundidad de grieta durante el proceso de fabricación de metal, y al eliminar la grieta

detectada en base a la detección de la grieta durante el proceso de fabricación de metal, en combinación con la disposición de la unidad de eliminación de grietas a una distancia conocida desde la unidad de detección de grietas, se proporciona un medio eficiente para eliminar la grieta. En otras palabras, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas operan de una manera continua y sincronizada para detectar y eliminar una grieta durante el proceso de fabricación de metal.

De esta manera, según al menos una realización ejemplar, la profundidad de la grieta se usa como una entrada para determinar la intensidad con la que el eyector expulsa el medio de grabado. Dicho de otra manera, la intensidad del medio de grabado expulsado se adapta en respuesta a la profundidad de la grieta. Siendo la profundidad de la grieta la profundidad de grieta determinada de la grieta determinada. En otras palabras, debido a que el eyector está configurado para variar la intensidad del medio de grabado expulsado, está configurado para variar la intensidad del medio de grabado expulsado en respuesta a la profundidad de la grieta. De esta manera, el eyector adapta el medio de grabado expulsado de manera que grabe el material metálico en la grieta detectada a una profundidad correspondiente a la de la profundidad de grieta determinada. Este procedimiento se repite para las grietas detectadas posteriormente. De esta manera, el eyector varía la intensidad del medio de grabado expulsado en respuesta a la profundidad de grieta respectiva para las grietas detectadas posteriormente. De esta manera, para dos grietas detectadas subsiguientemente, una primera grieta que tiene una primera profundidad de grieta y una segunda grieta que tiene una segunda profundidad de grieta, siendo la segunda profundidad de grieta mayor que la primera profundidad de grieta, el eyector varía, o adapta, la intensidad del medio de grabado expulsado en respuesta a la primera profundidad de grieta cuando se elimina la primera grieta, y posteriormente varía, o adapta, la intensidad del medio de grabado expulsado en respuesta a la segunda profundidad de grieta cuando se elimina la segunda grieta, siendo la intensidad del medio de grabado expulsado cuando se elimina la segunda grieta mayor que la intensidad del medio de grabado expulsado cuando se elimina la primera grieta.

La expresión durante el proceso de fabricación de metal debería entenderse como durante el proceso de producción de un objeto de material metálico, es decir, típicamente después de que el material metálico se ha descargado desde la máquina de fabricación de metal, por ejemplo, una máquina de fundición o un molde, para un proceso de fundición, pero antes de enfriar el material metálico. De esta manera, se hace referencia al proceso de fabricación de metal como un proceso de fabricación de metal en caliente, en el que caliente indica una temperatura del material metálico de al menos 500°C o al menos 750°C. Típicamente, el método se realiza en la descarga de material metálico desde una máquina de fundición continua, es decir, en la losa caliente. En adelante, se hace referencia a la expresión durante el proceso de fabricación de metal como durante la operación. Puede hacerse referencia al material metálico de la presente divulgación como objeto metálico, objeto metálico caliente, losa metálica, lámina metálica, losa metálica caliente o lámina metálica caliente.

Según al menos una realización ejemplar, la etapa de determinar la presencia de una grieta y su profundidad de grieta se realiza de una manera sin contacto con el material metálico. La unidad de detección de grietas puede comprender, por ejemplo, una bobina transmisora dispuesta y configurada para generar un campo magnético en el material metálico y al menos una primera bobina receptora dispuesta y configurada para detectar el campo magnético. De esta manera, la distancia conocida entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas puede ser, por ejemplo, una distancia entre la bobina transmisora o la bobina receptora y el eyector. Más detalladamente, cuando se usa una técnica de medición inductiva para detectar una grieta, se induce una corriente en el material metálico, por ejemplo, la lámina metálica o la losa metálica, mediante un campo magnético variable en el tiempo generado por la bobina transmisora resultante de una alimentación de una corriente variable en el tiempo correspondiente. Cuando la corriente inducida encuentra una grieta en el material metálico, la grieta constituye un obstáculo para la corriente inducida. Como resultado, la grieta altera la corriente inducida en la grieta en comparación con un material metálico sin una grieta. La corriente alterada proporciona un cambio en el campo magnético alrededor de la corriente. El cambio en el campo magnético es medido por la bobina receptora, de manera que puede determinarse que hay una grieta presente en la parte inspeccionada del material metálico, por ejemplo, mediante una comparación con datos de referencia conocidos. Dicha unidad de detección de grietas se explica en detalle más adelante.

Según al menos una realización ejemplar, la activación del eyector para eliminar la grieta detectada se basa en un tiempo transcurrido desde la detección de la grieta por la unidad de detección de grietas, determinado por la velocidad del material metálico y la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas.

De esta manera, se consigue una sincronización correcta de la activación del eyector para eliminar la grieta detectada. El tiempo transcurrido puede estar comprendido, por ejemplo, entre 10 segundos y 100 segundos. Por ejemplo, la velocidad del material metálico puede ser de aproximadamente 2 cm/s y la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas está comprendida entre 0,5 m y 1 m. De manera alternativa, la velocidad del material metálico es más rápida y el tiempo transcurrido puede disminuir, por ejemplo, por debajo de 10 segundos, tal como, por ejemplo, por debajo de 5 segundos o por debajo de 2 segundos. De esta manera, el eyector se activa para eliminar localmente la grieta. Es decir, la grieta se elimina sin grabar una parte grande innecesaria o un canal en el material metálico. Típicamente, en cuanto la grieta ha sido eliminada por el eyector y el medio de grabado expulsado a una profundidad correspondiente a la profundidad de la grieta, el eyector se desactiva. El tiempo de mantenimiento del eyector activado se adapta, por ejemplo, a la longitud de la grieta determinada, en el que la longitud de la grieta, por ejemplo, se estima o se determina tal como se describe más adelante. Típicamente, la anchura de una grieta es pequeña en comparación con la longitud y/o la profundidad de la grieta, y el eyector estará configurado típicamente para expulsar el medio de grabado expulsado en una anchura correspondiente a al menos la anchura de la grieta.

De esta manera, según al menos una realización ejemplar, la etapa de eliminar la grieta detectada mediante la activación del eyector en base a la señal de detección de grietas con una intensidad del medio de grabado expulsado basada al menos en la profundidad de la grieta, se realiza para eliminar localmente la grieta detectada. De esta manera, una parte que comprende la grieta detectada del material metálico es grabada por el medio de grabado expulsado. En otras palabras, la grieta y el material metálico circundante más cercano son eliminados por el medio de grabado expulsado.

Típicamente, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas están dispuestas, durante la operación, para encontrar el mismo punto del material metálico, sucesivamente. En otras palabras, la detección de grietas y la eliminación de grietas se realizan de manera continua y sucesiva.

Según al menos una realización ejemplar, el método comprende la etapa de disponer la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas a lo largo de la misma línea operativa del material metálico. De esta manera, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas están dispuestas a lo largo de la misma línea operativa y están configuradas para, durante la operación, encontrarse con el material metálico de una manera correspondiente. Por ejemplo, el área de detección, o anchura de detección, de la unidad de detección de grietas corresponde a un área de eliminación de grietas, o anchura de eliminación de grietas, de la unidad de eliminación de grietas. De esta manera, una grieta detectada por la unidad de detección de grietas, a medida que el material metálico se desplaza a lo largo de su trayectoria operativa, será encontrada por la unidad de eliminación de grietas. Dicho de otra manera, la unidad de eliminación de grietas puede estar dispuesta a lo largo del mismo eje longitudinal, siendo el eje longitudinal paralelo a la dirección principal de movimiento del material metálico. Según al menos una realización ejemplar, el material metálico puede dividirse en diferentes zonas que se extienden transversalmente sobre el material metálico (es decir, perpendiculares al eje longitudinal en el mismo plano horizontal que la superficie del material metálico), en el que cada zona comprende una unidad de detección de grietas y una unidad de eliminación de grietas. Además, al mantener la misma línea operativa para la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas, pueden evitarse los movimientos transversales. Para un material metálico caliente, es preferible evitar los movimientos transversales, ya que estos pueden causar problemas con el enfriamiento. De manera alternativa, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas comprenden medios para moverse transversalmente a lo largo del material metálico. Para dichas realizaciones, una vez detectada una grieta, el movimiento transversal de la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas se detiene típicamente, para permitir que la unidad de eliminación de grietas opere a lo largo del mismo eje longitudinal en el que se detectó la grieta.

Según al menos una realización ejemplar, el método comprende además la etapa de determinar una primera distancia entre el eyector y la superficie del material metálico, y en el que la etapa de eliminar la grieta detectada durante el proceso de fabricación de metal comprende establecer la intensidad del medio de grabado expulsado en base a al menos la profundidad de la grieta y dicha primera distancia.

De esta manera, puede tomarse también como entrada la primera distancia entre el eyector y la superficie del material metálico para determinar la intensidad con la que el eyector expulsa el medio de grabado. De esta manera, se proporciona una precisión mejorada y/o una eficiencia mejorada de la eliminación de grietas.

Debería entenderse que la superficie del material metálico está dispuesta típicamente en un plano horizontal, y la distancia desde una superficie del material metálico con relación a la unidad de detección de grietas (por ejemplo, la bobina transmisora y/o la bobina receptora) o la unidad de eliminación de grietas (por ejemplo, el eyector) es una distancia vertical perpendicular al plano horizontal. De esta manera, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas están dispuestas a una distancia una de otra a lo largo de un eje paralelo al plano horizontal (es decir, una distancia horizontal) y ambas están dispuestas a una distancia vertical desde la superficie del material metálico. De esta manera, la primera distancia es una distancia vertical.

Según al menos una realización ejemplar, la primera distancia se basa en una distancia medida entre la unidad de detección de grietas, por ejemplo, la bobina receptora de la unidad de detección de grietas, y la superficie del material metálico. En base a la distancia medida y a las posiciones interrelacionadas conocidas de, por ejemplo, la bobina receptora y el eyector (o un orificio del eyector), se determina la primera distancia. La distancia medida puede basarse, por ejemplo, en una señal integrada desde la bobina receptora durante un cierto intervalo de tiempo.

Según al menos una realización ejemplar, el método comprende además la etapa de adaptar la primera distancia entre la superficie del material metálico y el eyector de la unidad de eliminación de grietas.

De esta manera, el eyector puede disponerse a una distancia beneficiosa desde la superficie del material metálico. Además, la intensidad requerida del medio de grabado expulsado puede adaptarse adaptando la primera distancia. El eyector y la unidad de eliminación de grietas pueden estar dispuestos y configurados para moverse al unísono y, de esta manera, cuando se mueve el eyector adaptando la primera distancia entre la superficie del material metálico y el eyector, la unidad de eliminación de grietas se mueve. Aún más, si surge un problema durante la operación, el eyector y/o la unidad de eliminación de grietas pueden alejarse rápidamente del material metálico. Por consiguiente, la unidad de detección de grietas puede alejarse del material metálico.

Según al menos una realización ejemplar, el método comprende además la etapa de mantener constante la primera distancia durante la operación de la unidad de eliminación de grietas.

Esto puede conseguirse, por ejemplo, mediante algún medio de ajuste de posición que opere en respuesta a la distancia medida entre la unidad de detección de grietas y la superficie del material metálico.

Según al menos una realización ejemplar, el método comprende la etapa de mantener constante la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas durante el proceso de eliminación de grietas.

- 5 Es decir, una distancia horizontal entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas es constante. De esta manera, se facilita la eliminación de la grieta, y específicamente la sincronización de la eliminación de la grieta, ya que la distancia conocida entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas es constante.

10 Según al menos una realización ejemplar, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas están dispuestas muy cerca una de la otra, y/o están configuradas para moverse de manera similar con relación al material metálico.

La unidad de detección de grietas puede estar, por ejemplo, acoplada o conectada rígidamente a la unidad de eliminación de grietas, posiblemente compartiendo una plataforma común.

Según al menos una realización ejemplar, la unidad de eliminación de grietas está dispuesta de manera móvil junto con la unidad de detección de grietas.

- 15 Según al menos una realización ejemplar, el método comprende además la etapa de proporcionar la unidad de detección de grietas parcialmente fuera del borde del material metálico para detectar una grieta y su profundidad de grieta en el borde.

20 De esta manera, pueden detectarse grietas y su respectiva profundidad de grieta en el borde del material metálico. Para dicha realización, también la unidad de eliminación de grietas está dispuesta cerca del borde para eliminar cualquier grieta detectada (por ejemplo, superponiéndose parcialmente al borde). Típicamente, la bobina transmisora de la unidad de detección de grietas se proporciona al menos parcialmente fuera del borde del material metálico. Según al menos una realización ejemplar, la unidad de detección de grietas, por ejemplo, la bobina transmisora, se proporciona al menos parcialmente en el interior del borde. De esta manera, se proporciona una unidad de detección de grietas, tal como, por ejemplo, la bobina transmisora, para superponerse al borde para detectar una grieta y su profundidad de grieta en el borde.

- 25 Según al menos una realización ejemplar, el método comprende la etapa de determinar la posición del borde con relación a una posición de referencia, y ajustar la posición de la unidad de detección de grietas y de la unidad de eliminación de grietas para mantener constantes la distancia relativa entre el borde y la unidad de detección de grietas, y la distancia entre el borde y la unidad de eliminación de grietas durante el proceso de eliminación de grietas.

30 De esta manera, se mejora el proceso de eliminación de grietas en los bordes del material metálico. La posición de referencia puede ser cualquier posición en el interior de la unidad de detección de grietas (o unidad de eliminación de grietas) o cualquier plataforma en la que esté dispuesta. Por ejemplo, la posición de referencia es la bobina receptora, o un centro magnético (o eje central horizontal) de la bobina receptora.

35 Según al menos una realización ejemplar, el eyector es un quemador y el medio de grabado expulsado es una llama, comprendiendo además el método la etapa de ajustar la intensidad de la llama controlando un suministro de gas al quemador.

40 De esta manera, se proporciona un medio simple pero eficaz para eliminar la grieta. Típicamente, la llama grabará o derretirá el material alrededor de la grieta, causando un canal en el material metálico. Sin embargo, debería entenderse que el eyector puede configurarse de manera diferente, por ejemplo, para expulsar una llama de chorro o un chorro de oxígeno. De esta manera, la intensidad del medio de grabado puede entenderse como intensidad, potencia o extensión con relación al eyector del medio de grabado. Para una llama, la intensidad puede estar relacionada, por ejemplo, con el tamaño de la llama.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona una disposición para eliminar una grieta en un material metálico durante el proceso de fabricación de metal en caliente. La disposición comprende:

- una unidad de detección de grietas que comprende una bobina transmisora y al menos una bobina receptora,
- 45 - una unidad de eliminación de grietas dispuesta a una distancia conocida desde la unidad de detección de grietas, comprendiendo la unidad de eliminación de grietas al menos un eyector configurado para expulsar un medio de grabado y para variar la intensidad del medio de grabado expulsado,
- una unidad de control configurada para alimentar una corriente a la bobina transmisora según un esquema conocido para generar un campo magnético en el material metálico, detectar el campo magnético por medio de la bobina receptora para generar una señal y procesar la señal generada para establecer la presencia de una grieta y su profundidad de grieta, en el que, tras la detección de una grieta durante el proceso de fabricación de metal, la unidad de control está configurada para enviar una señal de detección de grieta y de profundidad de grieta a la unidad de eliminación de grietas para activar el eyector para eliminar la grieta y establecer la intensidad del medio de grabado expulsado en base a al menos la
- 50 profundidad de la grieta.

5 Los efectos y las características del segundo aspecto de la invención son, en gran medida, análogos a los descritos anteriormente con relación al primer aspecto de la invención. Las realizaciones indicadas con relación al primer aspecto de la invención son, en gran medida, compatibles con el segundo aspecto de la invención, algunas de las cuales se ejemplifican a continuación. El esquema conocido para generar un campo magnético en el material metálico mediante el cual la unidad de control está configurada para operar la bobina transmisora, se consigue, por ejemplo, controlando una corriente variable en el tiempo.

10 Según al menos una realización ejemplar, la unidad de control está configurada para calcular el tiempo de la activación del eyector en base a un tiempo transcurrido desde la detección de grietas por la unidad de detección de grietas, determinado por la velocidad del material metálico y la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas.

15 Tal como se ha indicado con relación al primer aspecto de la invención, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas están dispuestas típicamente a lo largo de la misma línea operativa (o eje longitudinal), y están configuradas para, durante la operación, encontrarse con el material metálico de una manera correspondiente. De esta manera, conociendo la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas, por ejemplo, entre la bobina transmisora o la bobina receptora y el eyector, y la velocidad del material metálico, el tiempo de la eliminación de grietas por la unidad de eliminación de grietas puede establecerse con relación a la detección de grietas por la unidad de detección de grietas.

20 Según al menos una realización ejemplar, la unidad de control está configurada para determinar una primera distancia entre el eyector y la superficie del material metálico, y establecer la intensidad del medio de grabado expulsado en base a al menos uno de entre la profundidad de la grieta y dicha primera distancia.

La primera distancia puede basarse en una distancia medida por la unidad de detección de grietas, tal como se ha descrito con referencia al primer aspecto de la invención.

25 Según al menos una realización ejemplar, la disposición comprende además una disposición de ajuste de posición configurada para ajustar la posición de la unidad de detección de grietas y/o la unidad de eliminación de grietas con relación al material metálico.

30 La disposición de ajuste de posición puede estar configurada para ajustar la posición, tanto vertical como horizontalmente, con relación al material metálico o a la superficie del mismo. Por ejemplo, la disposición de ajuste de posición puede comprender al menos un accionador accionado por motor para adaptar la distancia entre la superficie del material metálico y el eyector de la unidad de eliminación de grietas. La disposición de ajuste de posición puede estar configurada para ajustar la posición, tanto vertical como horizontalmente, con relación al material metálico para mantener constante la posición con relación al material metálico.

Según al menos una realización ejemplar, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas comparten una plataforma común.

35 De esta manera, se facilita la operación de eliminación de grietas. Mediante el uso de una plataforma, la distancia entre la unidad de detección de grietas, y cualquier componente de la misma, y la unidad de eliminación de grietas, y cualquier componente de la misma, se mantendrá conocida y constante. Además, mediante la plataforma, la unidad de eliminación de grietas está dispuesta de manera móvil junto con la unidad de detección de grietas.

40 Según al menos una realización ejemplar, la unidad de detección de grietas está configurada para disponerse de manera que la bobina transmisora esté dispuesta parcialmente fuera de un borde del material metálico, para permitir la detección de una grieta y su profundidad de grieta en el borde.

45 Tal como se ha descrito con relación al primer aspecto de la invención, la bobina transmisora puede estar configurada para disponerse al menos parcialmente fuera y al menos parcialmente en el interior del borde del material metálico, de manera que, durante la operación, la bobina transmisora se superponga al borde para permitir la detección de una grieta y su profundidad de grieta en el borde. Tal como se ha indicado también con relación al primer aspecto de la presente invención, la unidad de eliminación de grietas puede configurarse y disponerse de manera correspondiente para eliminar las grietas en el borde del material metálico, por ejemplo, configurándose para disponerse para superponerse al borde durante la operación.

Según al menos una realización ejemplar, la unidad de control está configurada para determinar la posición del borde con relación a una posición de referencia.

50 La posición de referencia puede ser la misma posición de referencia que se ha descrito anteriormente.

La unidad de control puede estar configurada para ajustar la posición de la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas para mantener constantes la distancia relativa entre el borde y la unidad de detección de grietas, y la distancia entre el borde y la unidad de eliminación de grietas.

Según al menos una realización ejemplar, dicha bobina receptora es una primera bobina receptora, y la disposición

comprende además una segunda bobina receptora dispuesta y configurada para detectar el campo magnético causado por la bobina transmisora, en el que la unidad de control, o una disposición informática de la unidad de control, está configurada además para recibir una señal creada por el campo magnético detectado por la segunda bobina receptora. La unidad de control puede estar configurada además para determinar la posición del borde y la distancia desde la superficie del material metálico, con relación a las bobinas receptoras primera y segunda, respectivamente. Más detalladamente, la primera bobina receptora está configurada para disponerse relativamente cerca del borde, por ejemplo, superponiéndose al menos parcialmente al borde, por esto un valor de señal integrado desde la primera bobina receptora durante un intervalo de tiempo dependerá tanto de la distancia vertical entre la primera bobina receptora y la superficie del material metálico como de la distancia horizontal entre la primera bobina receptora (por ejemplo, un centro magnético o el eje central horizontal) y el borde. Por otra parte, la segunda bobina receptora está configurada para disponerse a una distancia desde la primera bobina receptora, típicamente lejos del borde, de esta manera un valor de señal integrado desde la segunda bobina receptora durante el mismo intervalo de tiempo dependerá solo de la distancia vertical entre la segunda bobina receptora y la superficie del material metálico.

De esta manera, puede determinarse la disposición de bobinas (es decir, la bobina transmisora y las bobinas receptoras primera y segunda) y su distancia con relación al borde y la superficie del material metálico. Dicha información de posición puede usarse, por ejemplo, en combinación con la disposición de ajuste de posición configurada para reubicar horizontal y verticalmente la disposición de bobinas, para, por ejemplo, mantener una distancia constante entre la disposición de bobinas y el borde, y entre la disposición de bobinas y la superficie del material metálico, respectivamente.

Según al menos una realización ejemplar, el eyector es un quemador configurado para expulsar una llama, como medio de grabado, y una alimentación de suministro de gas variable al quemador para variar la intensidad de la llama.

Los efectos y las realizaciones del eyector indicados con relación al primer aspecto de la invención son aplicables también al segundo aspecto de la invención. La operación del eyector es controlada típicamente por la unidad de control.

A continuación, se describirán más detalladamente las realizaciones de la unidad de detección de grietas. Por ejemplo, la unidad de detección de grietas puede estar configurada como en el documento EP2574911A1 según el método y la disposición siguientes. La unidad de detección de grietas comprende una bobina transmisora y una bobina receptora. El método comprende:

- alimentar una corriente con una primera magnitud a la bobina transmisora para generar un campo magnético en el material metálico,

- controlar la corriente de manera que obtenga una segunda magnitud cuando se estima que el campo magnético ha penetrado más profundo que una profundidad de grieta más profunda que se desea medir en el material metálico,

- detectar el campo magnético mediante la bobina receptora, cuyo campo magnético detectado genera de esta manera una señal en la bobina receptora,

- determinar un primer valor característico de la señal en un primer intervalo de tiempo, empezando el primer intervalo en un tiempo:

- en el que se ha estimado que ha cesado cualquier perturbación debida al control de la corriente para obtener la segunda magnitud, y

- opcionalmente, a una corriente inducida en el material metálico debido al control de la corriente para obtener la segunda magnitud ha penetrado más profundamente en el material metálico que una profundidad correspondiente a las irregularidades superficiales del material metálico y a las profundidades de grieta que no se desean medir,

- terminando el primer intervalo de tiempo cuando la corriente inducida en el material metálico debido al control de la corriente para obtener la segunda magnitud ha penetrado a una profundidad en el material metálico correspondiente a una profundidad de grieta más profunda que se desea medir,

- determinar un segundo valor característico de la señal en un segundo intervalo de tiempo después del primer intervalo de tiempo, y

- determinar una posible presencia de una grieta y su profundidad de grieta en base al primer valor característico y el segundo valor característico.

Determinando el primer valor característico y el segundo valor característico según los intervalos de tiempo especificados anteriormente, puede determinarse independientemente una profundidad de grieta sin disponer de otros parámetros de proceso que afecten al valor de profundidad de grieta determinado. Por lo tanto, pueden proporcionarse mediciones de profundidad de grieta fiables.

En una realización, en la etapa de alimentación, la corriente es esencialmente constante. En una realización, la estimación del campo magnético que ha penetrado más profundo que la profundidad de grieta más profunda que se desea medir en el material metálico se basa en cuándo empieza la alimentación de la corriente a la bobina transmisora, la profundidad de grieta más profunda que se desea medir y la permeabilidad relativa y resistividad eléctrica del material metálico. En una

- realización, el inicio del primer intervalo de tiempo se estima en base a un tiempo en el que empieza el control de la corriente para obtener su segunda magnitud y a una relación entre la permeabilidad relativa y la resistividad eléctrica del material metálico. En una realización, el final del primer intervalo de tiempo se estima en base al tiempo en el que la corriente obtiene su segunda magnitud, la profundidad de grieta más profunda que se desea medir y la permeabilidad relativa y la resistividad eléctrica del material metálico. En una realización, la etapa de determinar el primer valor característico comprende integrar la señal durante el primer intervalo de tiempo. En una realización, la etapa de determinar el segundo valor característico comprende integrar la señal durante el segundo intervalo de tiempo. En una realización, la etapa de determinar una posible presencia de una grieta y su profundidad de grieta implica determinar una relación entre el primer valor característico y el segundo valor característico.
- 5
- 10 Una realización comprende determinar un tercer valor característico de la señal en un tercer intervalo de tiempo, empezando el tercer intervalo de tiempo simultáneamente con el primer intervalo de tiempo y terminando en un tiempo que se determina en base al inicio del primer intervalo de tiempo y el final del primer intervalo de tiempo, en el que la etapa de determinación comprende determinar una longitud de grieta de una posible grieta en base al primer valor característico, el segundo valor característico y el tercer valor característico. Al determinar un tercer valor característico tal como se ha especificado anteriormente, puede determinarse la profundidad de grieta de una grieta que tiene una extensión más corta que la extensión de la bobina receptora en un plano paralelo a la superficie del material metálico a inspeccionar. Además, el tercer valor característico proporciona también suficiente información junto con el primer valor característico y el segundo valor característico para poder determinar la longitud de la grieta. En una realización, la etapa de determinar el tercer valor característico comprende integrar la señal durante el tercer intervalo de tiempo.
- 15
- 20 La unidad de detección de grietas puede estar configurada como en el documento EP2574911A1 según la siguiente disposición. La disposición comprende: una bobina transmisora dispuesta y configurada para generar un campo magnético en el material metálico; una bobina receptora dispuesta y configurada para detectar el campo magnético; un generador de señal configurado para alimentar una corriente que tiene una primera magnitud a la bobina transmisora para generar el campo magnético en el material metálico; una unidad de control configurada para controlar el generador de señal de manera que la corriente obtenga una segunda magnitud cuando se estima que el campo magnético ha penetrado más profundo que una profundidad de grieta más profunda que se desea medir en el material metálico; y una disposición informática configurada para recibir una señal creada por el campo magnético detectado por la bobina receptora, y para determinar un primer valor característico de la señal en un primer intervalo de tiempo, empezando el primer intervalo de tiempo en un tiempo:
- 25
- 30 - en el que se ha estimado que ha cesado cualquier perturbación debida al control de la corriente para obtener la segunda magnitud, y
- opcionalmente, una corriente inducida en el material metálico debida al control de la corriente para obtener la segunda magnitud ha penetrado más profundamente en el material metálico que una profundidad correspondiente a las irregularidades superficiales del material metálico y las profundidades de grieta que no se desean medir,
- 35 terminando el primer intervalo de tiempo después de que la corriente inducida en el material metálico debido al control de la corriente para obtener la segunda magnitud ha penetrado a una profundidad en el material metálico correspondiente a una profundidad de grieta más profunda que se desea medir, estando la disposición informática configurada además para determinar un segundo valor característico de la señal en un segundo intervalo de tiempo después del primer intervalo de tiempo, y para determinar una posible presencia de una grieta y su profundidad de grieta en base al primer valor característico y el segundo valor característico.
- 40
- En una realización, la disposición informática está configurada para determinar un tercer valor característico de la señal en un tercer intervalo de tiempo, empezando el tercer intervalo de tiempo simultáneamente con el primer intervalo de tiempo y terminando en un tiempo que se determina en base al inicio del primer intervalo de tiempo y el final del primer intervalo de tiempo, y para determinar una longitud de grieta de una posible grieta en base al primer valor característico, el segundo valor característico y el tercer valor característico.
- 45
- Los detalles específicos del método y la disposición del documento EP2574911A1 se proporcionan en la descripción detallada del mismo, y se hace referencia específicamente a la teoría y a las estimaciones de diversos intervalos de tiempo o periodos de tiempo, por ejemplo,  $t_1-t_{10}$ ,  $t_{12}-t_{11}$ ,  $t_{14}-t_{13}$ ,  $t_{11}-t_1$ ,  $t_{11}-t_{17}$  y los puntos de tiempo correspondientes, así como los valores CV1, CV2, CV3 característicos primero, segundo y tercero y su relación para determinar, por ejemplo, la profundidad CD de grieta y la longitud de grieta, que pueden utilizarse en combinación con la divulgación presentada en el presente documento, usando los mismos componentes.
- 50
- De esta manera, según al menos una realización ejemplar, la etapa de determinar la presencia de una grieta y la profundidad de la grieta puede comprender comparar las mediciones inductivas con datos de referencia. Por ejemplo, la señal o las señales de medición de la unidad de detección de grietas se procesan en la unidad de control o disposición informática para su comparación con los valores de referencia del mismo material metálico sin grietas, con el fin de determinar si hay presente o no una grieta en esa parte del material metálico.
- 55
- Además, la unidad de control o la disposición informática pueden usarse, por ejemplo, para determinar la primera distancia mediante la distancia medida de la unidad de detección de grietas. Esto puede realizarse en una unidad de integración de

5 la disposición informática, en la que un voltaje inducido en la bobina receptora se integra, por ejemplo, desde el tiempo en el que la señal de control ordena que la corriente a la bobina transmisora obtenga la segunda magnitud (por ejemplo, interrumpiendo la corriente a través de la bobina transmisora) y hasta un tiempo fijo desde entonces (típicamente hasta un tiempo en el que cesa cualquier perturbación debida al control de la corriente para obtener la segunda magnitud). Este valor integrado puede usarse para calcular la distancia entre la bobina receptora y la superficie del material metálico, en gran medida, independientemente de las influencias del material.

10 La disposición de la presente divulgación puede usarse, de manera adicional o alternativa, para detectar y eliminar una grieta en un borde del material metálico. Dicha unidad de detección de grietas comprende una bobina transmisora y al menos una bobina receptora. Según dichas realizaciones, el método para determinar la grieta en el borde de un material metálico puede realizarse tal como se describe a continuación:

- alimentar una corriente con una primera magnitud a la bobina transmisora para generar un campo magnético en el material metálico,
- controlar la corriente de manera que obtenga una segunda magnitud cuando se estima que el campo magnético ha penetrado más profundo que la profundidad de grieta más profunda que se desea medir en el material metálico,
- 15 - detectar el campo magnético por medio de la bobina receptora, cuyo campo magnético detectado genera de esta manera una señal en la bobina receptora,
- determinar un primer valor de señal de la señal en un primer tiempo en el que se ha estimado que ha cesado cualquier perturbación debida al control de la corriente para obtener la segunda magnitud, y
- determinar un segundo valor de señal de la señal en un segundo tiempo después del primer tiempo, y
- 20 - determinar un tercer valor de señal de la señal en un tercer tiempo después del segundo tiempo, y
- determinar una posible presencia de una grieta y su profundidad de grieta en base a los valores de señal primero, segundo y tercero mediante la determinación de una relación característica entre al menos dos de las siguientes combinaciones de valores de señal: el primer valor de señal y el segundo valor de señal; el segundo valor de señal y el tercer valor de señal; y el primer valor de señal y el tercer valor de señal, en el que la relación característica entre las al menos dos combinaciones de valores de señal es independiente de la posición del borde y del radio de la curvatura del borde. Al determinar la relación característica entre las al menos dos combinaciones de valores de señal según el tiempo especificado anteriormente, puede determinarse una profundidad de grieta independientemente de la posición del borde y del radio de la curvatura del borde, sin tener otros parámetros de proceso que afecten al valor de profundidad de grieta determinado. De esta manera, debería entenderse que la relación característica entre las al menos dos combinaciones de valores de señal es independiente de la posición del borde y del radio de la curvatura del borde. Por lo tanto, pueden proporcionarse mediciones fiables de la profundidad de la grieta en el borde del material metálico.

30 En la siguiente descripción detallada se describen más detalles de dicho método de medición con referencia a las Figs. 2a, 2b, 3a y 3b.

35 En general, todos los términos usados en las reivindicaciones deben interpretarse según su significado ordinario en el campo técnico, a menos que se defina explícitamente lo contrario en el presente documento. Todas las referencias a "un/una/el elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc." deben interpretarse abiertamente como que se refieren al menos a una instancia del elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc., a menos que se indique explícitamente lo contrario. Las etapas de cualquier método divulgado en el presente documento no tienen que realizarse en el orden exacto divulgado, a menos que se indique explícitamente.

40 Breve descripción de los dibujos

Estos y otros aspectos del presente concepto inventivo se describirán ahora más detalladamente, con referencia a los dibujos adjuntos que muestran una realización ejemplar del concepto inventivo, en los que:

La Fig. 1 es una vista esquemática de un ejemplo de una disposición para eliminar una grieta en un material metálico durante el proceso de fabricación de metal;

45 Las Figs. 2a y 2b son vistas esquemáticas de otro ejemplo de una disposición para eliminar una grieta en un material metálico durante el proceso de fabricación de metal;

Las Figs. 3a y 3b muestran diagramas de los tiempos primero, segundo y tercero para determinar las relaciones características de una señal detectada por la unidad de detección de grietas en la disposición de las Figs. 2a y 2b; y

50 La Fig. 4 es un diagrama de flujo de un método para eliminar una grieta en un material metálico durante el proceso de fabricación de metal.

Descripción detallada de realizaciones ejemplares

En la siguiente descripción, con propósitos explicativos y no limitativos, se exponen detalles específicos, tales como componentes, interfaces, técnicas particulares, con el fin de proporcionar una comprensión exhaustiva de la presente invención. Sin embargo, será evidente para las personas expertas en la técnica que la presente invención puede llevarse a la práctica en otras realizaciones que se apartan de estos detalles específicos. En otros casos, se omiten las descripciones detalladas de dispositivos, circuitos y métodos bien conocidos para no oscurecer la descripción de la presente invención con detalles innecesarios.

Las disposiciones presentadas en el presente documento están adaptadas para detectar grietas en un objeto de material metálico mediante la determinación de la profundidad de grieta de una grieta, y para eliminar sucesivamente la grieta durante un proceso de fabricación de metal. En algunas realizaciones, la disposición puede determinar también la longitud de la grieta. La disposición está adaptada para ser usada bajo condiciones extremas en un proceso de fabricación de metal (en caliente), tal como un proceso de fundición o un proceso de laminación. En particular, la disposición puede usarse para la eliminación de una grieta a la profundidad de grieta medida en superficies metálicas rugosas.

Cualquier material metálico que tenga una conductividad que sea lo suficientemente alta como para permitir que se induzca una corriente en el material metálico puede ser sometido a los métodos y a las disposiciones presentados en el presente documento. Dicho material es, por ejemplo, acero o acero caliente.

La Fig. 1 muestra una vista en perspectiva de una disposición 1 para eliminar una grieta en un material M metálico durante un proceso de fabricación de metal en caliente, tal como una fundición, y una vista esquemática complementaria de la unidad de control y de la manipulación de señales para operar la disposición 1. La disposición 1 comprende una unidad 30 de detección de grietas que comprende una disposición 31 de bobinas (solo se muestra esquemáticamente en la Fig. 1 y se describe más detalladamente con referencia a las Figs. 2a y 2b) de una bobina 32 transmisora y una bobina 34 receptora, para determinar la presencia de grietas y su profundidad de grieta respectiva utilizando mediciones inductivas, y una unidad 40 de eliminación de grietas dispuesta a una distancia KD conocida desde la unidad 30 de detección de grietas. La unidad 40 de eliminación de grietas comprende al menos un eyector 42 configurado para expulsar un medio 44 de grabado. En la realización ejemplar de la Fig. 1, la unidad 30 de detección de grietas y la unidad 40 de eliminación de grietas están dispuestas en una plataforma 50 común. La disposición 1 comprende además una unidad 60 de control configurada para controlar la operación de la disposición 1, y una disposición 70 de ajuste de posición configurada para ajustar la posición de la unidad 30 de detección de grietas y la unidad 40 de eliminación de grietas variando la posición de la plataforma 50 con relación al material M metálico, y específicamente con relación a la superficie 19 del material M metálico. Puede hacerse referencia al material M metálico como objeto metálico.

El número de eyectores mostrados en la disposición 1 en la Fig. 1 es ejemplar. Debe tenerse en cuenta que puede haber más eyectores en la unidad 40 de eliminación de grietas, y que cada eyector puede estar dispuesto y configurado para cubrir un área o una anchura determinada del material M metálico. Típicamente, cada eyector está vinculado a una disposición de bobina correspondiente de la unidad 30 de detección de grietas para determinar la presencia de grietas y su profundidad de grieta, de manera que cada disposición de bobina y eyector asociados formen un grupo de colaboración, es decir, un grupo que colabora en la detección de una grieta y su profundidad de grieta y en la eliminación de la grieta mediante el medio 44 de grabado expulsado en una actividad sucesiva y sincronizada. Por ejemplo, la disposición 1 comprende una disposición 35 de bobina en el extremo izquierdo de la unidad 30 de detección de grietas y una disposición 31 de bobina en el extremo derecho de la unidad 30 de detección de grietas.

La disposición 70 de ajuste de posición comprende un primer brazo 72 móvil verticalmente o primer accionador 72, y una primera base 74 que comprende, por ejemplo, un motor para operar el primer accionador 72 en el lado derecho de la disposición 1. La disposición 70 de ajuste de posición de la Fig. 1 comprende además un segundo brazo 76 móvil verticalmente o un segundo accionador 76, y una segunda base 78 que comprende, por ejemplo, un motor para operar el segundo accionador 76 en el lado izquierdo de la disposición 1. De esta manera, al menos la distancia vertical entre la superficie 19 del material M metálico y la plataforma 50, y la unidad 30 de detección de grietas y la unidad 40 de eliminación de grietas puede ajustarse de una manera eficiente y correspondiente. Según al menos una realización ejemplar, al menos una de entre la primera base 74 y la segunda base 78 puede moverse en el plano horizontal con el fin de ajustar la posición de la plataforma 50, y de la unidad 30 de detección de grietas y de la unidad 40 de eliminación de grietas horizontalmente con relación a la superficie 19 del material M metálico. Para aclarar, la superficie 19 del material M metálico se extiende en un plano horizontal, y una dirección vertical o una distancia vertical es perpendicular a dicho plano horizontal.

La operación de la disposición 1 se describirá a continuación más detalladamente con referencia a la unidad 60 de control. La unidad 60 de control comprende varias subunidades, que en la Fig. 1 están representadas por una primera unidad 62, una segunda unidad 64 y una unidad 66 de integración. La primera unidad 62 está configurada para alimentar una corriente a la bobina 32 transmisora según un esquema conocido para generar un campo magnético en el material M metálico. La bobina 34 receptora está dispuesta y configurada para detectar el campo magnético para generar una señal, y la primera unidad 62 está configurada para recibir dicha señal y procesar la señal generada para establecer la presencia de una grieta C y su profundidad CD de grieta (cabe señalar que la profundidad CD de grieta en la Fig. 1 está muy exagerada para una mayor visibilidad). Tras la detección de la grieta C durante la fundición, la primera unidad 62 está configurada para enviar una señal D de detección de grieta que incluye la profundidad CD de grieta a la segunda unidad 64 de la unidad 60 de control.

La unidad 66 de integración está configurada para integrar en el tiempo una señal desde las disposiciones 31, 35 de bobina

del extremo SR derecho y el extremo SL izquierdo de la unidad 30 de detección de grietas, respectivamente. Dichas señales ISR, ISL integradas pueden usarse para determinar la distancia entre la unidad 30 de detección de grietas y la superficie 19 del material M metálico, tal como la distancia DiR entre el lado derecho de la unidad 30 de detección de grietas y la superficie 19 del material M metálico, y la distancia DiL del lado izquierdo de la unidad 30 de detección de grietas y la superficie 19 del material M metálico, en la segunda unidad 64. De esta manera, la operación de la disposición 70 de ajuste de posición puede ser controlada mediante la señal CtrlR de control para la distancia DiR y la señal CtrlL de control para la distancia DiL, por ejemplo, con la configuración de mantener constantes las dos distancias DiR, DiL.

Cabe señalar que la medición de la distancia entre la unidad 30 de detección de grietas y la superficie 19 del material M metálico puede realizarse integrando solo una señal desde una única ubicación (y, de esta manera, no en ambos lados derecho e izquierdo de la unidad 19 de detección de grietas), sin embargo, midiendo en ambos lados derecho e izquierdo de la unidad 30 de detección de grietas, se consigue una precisión mejorada de la distancia medida. La distancia medida puede usarse para determinar una primera distancia FD entre el eyector 40 y la superficie 19 del material M metálico, en base a las posiciones interrelacionadas conocidas de la unidad 30 de detección de grietas y del eyector 42 (o un orificio del eyector 42). Obviamente, la primera distancia FD puede variarse mediante la disposición 70 de ajuste de posición, tal como se ha descrito anteriormente.

La segunda unidad 64 está configurada para activar la unidad 40 de eliminación de grietas y el eyector 42 para eliminar la grieta C detectada. Además, debido a que la unidad 40 de eliminación de grietas y el eyector 42 están configurados para variar la intensidad del medio 44 de grabado, la segunda unidad 64 puede establecer la intensidad del medio 44 de grabado expulsado en base a al menos la profundidad CD de la grieta, pero típicamente también la primera distancia FD. Es decir, al menos la profundidad CD de grieta se usa como entrada a la segunda unidad 64, y se usa para establecer la intensidad del medio 44 de grabado expulsado en respuesta a la profundidad CD de grieta. En la Fig. 1, el eyector 42 está representado por un quemador 42 configurado para expulsar una llama 44, como medio de grabado. El quemador 42 es operado por una disposición 80 de suministro de gas, y la segunda unidad 64 puede enviar de esta manera una señal CtrlG de control a la disposición 80 de suministro de gas para proporcionar una alimentación de suministro de gas al quemador 42 correspondiente a la intensidad de la llama 44 requerida para eliminar la grieta C, es decir, al menos en base a la profundidad CD de grieta, pero típicamente también la primera distancia FD.

Tal como puede verse en la Fig. 1, el material M metálico se mueve con una velocidad  $v$  a lo largo de la flecha 2 de movimiento, de manera que la grieta C se encontrará primero con la unidad 30 de detección de grietas y la disposición de bobinas 31 en la misma, y posteriormente se encontrará con la unidad 40 de eliminación de grietas. De esta manera, primero puede determinarse la presencia de una grieta C y su profundidad CD de grieta, y posteriormente la grieta C puede ser eliminada por la unidad 40 de eliminación de grietas de manera sincronizada y continua. Tal como se observa en la Fig. 1, la segunda unidad 64 recibe la velocidad  $v$  del material M metálico y, de esta manera, puede calcular el tiempo de la activación del eyector 42 en base a un tiempo transcurrido desde la detección de la grieta por la unidad 30 de detección de grietas, determinado por la velocidad  $v$  del material M metálico y la distancia KD entre la unidad 30 de detección de grietas y la unidad 40 de eliminación de grietas. De esta manera, la grieta C se eliminará localmente del material M metálico.

La invención se describirá a continuación con relación a la determinación de una grieta y su profundidad de grieta en un borde E del material M metálico, y la eliminación de grieta asociada. Debido a que la eliminación de una grieta en el borde E del material metálico implica la generación de un campo magnético en el material M metálico en el borde E, la detección del campo magnético y la determinación de las relaciones características de las señales relativas al campo magnético detectado en determinados tiempos predeterminados, para de esta manera poder determinar una profundidad de grieta, primero se describirá a continuación la determinación de dicha grieta y, posteriormente, se describirá la eliminación de la grieta.

Las Figs. 2a y 2b muestran vistas esquemáticas de un ejemplo de una disposición 1' para detectar y eliminar grietas en una superficie 19 en un borde E de un material M metálico, por ejemplo, el mismo material metálico que en la Fig. 1. La Fig. 2a es una vista superior y la Fig. 2b es una vista lateral. La disposición 1' de las Figs. 2a y 2b es, en principio, la misma que la disposición 1 de la Fig. 1, por lo que a continuación se describen principalmente las diferencias entre las disposiciones. Por ejemplo, la unidad 60 de control y sus unidades 62, 66, 64 primera, segunda e integral se incorporan comúnmente en el componente 17 en las Figs. 2a y 2b, pero en adelante se hará referencia a las mismas tal como se visualiza en la Fig. 1. De esta manera, puede considerarse que el componente 17 es una unidad 17 de control general o una unidad 17 informática y de control general. La disposición 1' comprende una unidad 16 de detección de grietas que comprende una bobina 3 transmisora y una primera bobina 5 receptora que tienen la misma funcionalidad que la bobina 32 transmisora y la bobina 34 receptora descritas con referencia a la Fig. 1. Además, la unidad 16 de detección de grietas comprende una segunda bobina 6 receptora dispuesta lejos de la primera bobina 5 receptora. En el presente documento, se hace referencia de manera común a la bobina 3 transmisora, las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda como disposición 18 de bobinas. Aún más, la disposición 1' comprende una plataforma 20 a la que está conectada la disposición 18 de bobinas y es móvil junto con la misma. La plataforma 20 está acoplada a una disposición 21 de ajuste de posición similar a la disposición 70 de ajuste de posición de la Fig. 1 que comprende, por ejemplo, un accionador 21A y una base 21B, configurados para ajustar la posición de la disposición 18 de bobinas, tanto verticalmente V como horizontalmente H, tal como se indica en la Fig. 2b. Cabe señalar que la plataforma 20 no es necesaria para poder reposicionar la disposición 18 de bobinas, sino que cada una de entre la bobina 3 transmisora, la primera bobina 5 receptora y la segunda bobina 6 receptora puede estar acoplada directamente a la disposición 21 de ajuste de posición.

A continuación, se describirán más detalladamente los ejemplos de la operación de la disposición 1' con referencia a las Figs. 2a, 2b, 3a y 3b. El material M metálico, por ejemplo, una losa caliente o una lámina metálica caliente, que debe inspeccionarse para detectar grietas C y debe someterse a eliminación de grietas, se coloca en las proximidades de la bobina 3 transmisora y de las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda. Más específicamente, la disposición 1' está dispuesta de manera que la bobina 3 transmisora esté dispuesta al menos parcialmente fuera del borde E, indicado por la distancia DO, y al menos parcialmente en el interior del borde E, indicado por la distancia DI. La relación de DO/DI está comprendida preferiblemente entre 0,1 y 0,4. En las Figs. 2a y 2b, la primera bobina 5 receptora está dispuesta para superponerse parcialmente al borde E, de manera que su centro MC magnético esté dispuesto en el interior del borde E. En las Figs. 2a y 2b, la segunda bobina 6 receptora está dispuesta completamente en el interior del borde E, y sobre el material M metálico. Típicamente, el eje magnético respectivo de la bobina 3 transmisora, y de las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda, son perpendiculares a la superficie 19 del material M metálico. Preferiblemente, cada una de entre la bobina 3 transmisora, y las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda es una bobina plana con una pequeña propagación a lo largo de su eje magnético en comparación con perpendicularmente a su eje magnético. Es decir, una pequeña propagación a lo largo de la dirección vertical en comparación con la propagación en el plano horizontal.

Típicamente, el material M metálico se mueve 2 con relación a la disposición 18 de bobinas con una cierta velocidad v durante la inspección de grietas para, de esta manera, permitir la inspección a lo largo de la superficie 19 del material M metálico y para permitir la eliminación sucesiva de la grieta C, en las Figs. 2a y 2b específicamente en el borde E del material M metálico. Tal como se ha descrito anteriormente, la bobina 3 transmisora puede estar dispuesta al menos parcialmente fuera del borde E, y al menos parcialmente dentro del borde E del material M metálico para superponerse al borde E.

La unidad de control (por ejemplo, mostrada en la Fig. 1 como la primera unidad 62, incorporada en el componente 17 de las Figs. 2a y 2b) está configurada para proporcionar una señal de control a un generador de señal (no mostrado) para controlar de esta manera la señal de salida, por ejemplo, una corriente, del generador de señal proporcionada a la bobina 3 transmisora. El generador de señales puede comprender, por ejemplo, un transistor que puede ser controlado por la unidad de control para estar en un estado abierto y, de esta manera, proporcionar una corriente a la bobina transmisora, o en un estado cerrado en el que no proporciona una corriente a la bobina transmisora.

En una realización, la unidad de control está configurada para controlar el generador de señales de manera que el generador de señales genere una corriente que sea esencialmente constante y que tenga una primera magnitud I1 en un primer intervalo de tiempo t00-t0, tal como se muestra en la Fig. 3a.

El proceso de detección de una grieta C en el borde E puede realizarse de la siguiente manera, con referencia principalmente a las Figs. 3a y 3b: una corriente con la primera magnitud I1 se alimenta a la bobina 3 transmisora. De esta manera, se crea un campo magnético en el material M metálico en el borde E. Durante la inspección de grietas, la superficie 19 del material M metálico se dispone lo suficientemente cerca de la bobina 3 transmisora (por ejemplo, 10-25 mm, o 10-15 mm o 15-25 mm) de manera que el campo magnético alrededor de la bobina 3 transmisora pueda penetrar en el material M metálico, causando de esta manera el campo magnético en el material M metálico. En un punto en el tiempo t0 cuando se estima que el campo magnético ha penetrado más profundamente en el material M metálico que la profundidad de grieta más profunda que se desea medir en el material M metálico, la corriente alimentada por el generador de señales es controlada por la unidad de control de manera que la corriente esencialmente constante obtenga una segunda magnitud I2. La segunda magnitud I2 puede ser, por ejemplo, esencialmente cero o cero (es decir, estableciendo el transistor en su estado cerrado). El cambio de la alimentación de corriente de la primera amplitud I1 a la segunda amplitud I2 causa la generación de una corriente inducida en el material M metálico.

La corriente alimentada por el generador de señales tiene preferiblemente la forma de un tren 22a de pulsos, tal como se muestra en el diagrama superior en la Fig. 3a. Las mediciones del campo magnético se toman típicamente entre pulsos subsiguientes, tal como se explicará más detalladamente a continuación.

La estimación de cuándo el campo magnético ha penetrado más profundamente en el material M metálico que la profundidad de grieta más profunda que se desea medir en el material M metálico puede basarse en una estimación teórica, estando el tiempo estimado programado en un software en la unidad de control de manera que pueda controlar la salida de corriente mediante el generador de señal, de manera correspondiente.

La estimación puede basarse en cuándo empieza la alimentación de la corriente a la bobina 3 transmisora, la profundidad de grieta más profunda que se desea medir, la permeabilidad  $\mu$  relativa y la resistividad eléctrica  $\rho$  del material M metálico.

Dicha estimación puede proporcionarse, por ejemplo, mediante la siguiente relación:

$$t_0 - t_{00} > 1,5 \cdot \mu \cdot (CD_{\max})^2 / \rho,$$

en la que t0 es el tiempo en milisegundos cuando la corriente obtiene su segunda magnitud I2, tal como se muestra en las Figs. 3a y 3b, t00 es el tiempo cuando la corriente obtiene su primera magnitud I1, CDmax es la máxima profundidad de grieta que se desea medir en milímetros,  $\mu$  es la permeabilidad relativa del material M metálico, y  $\rho$  es la resistividad eléctrica del material M metálico en nano ohmios metro, nΩm.

La energía en la bobina 3 transmisora puede descargarse rápidamente por medio de una primera resistencia (no mostrada)

dispuesta en paralelo a la bobina 3 transmisora. Por consiguiente, la energía en las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda puede descargarse por medio de una segunda y una tercera resistencias, respectivamente. Por lo tanto, la primera resistencia está dispuesta y configurada para descargar la energía desde la bobina 3 transmisora cuando la corriente ha alcanzado su segunda magnitud I2.

5 Cuando la corriente ha alcanzado su segunda magnitud I2, el campo magnético creado por la corriente inducida es detectado por al menos la primera bobina 5 receptora. El campo magnético detectado por la primera bobina 5 receptora induce una señal S(t), por ejemplo, un voltaje, en la primera bobina 5 receptora que puede ser amplificada por un amplificador. Según la realización ejemplar de las Figs. 2a y 2b, el campo magnético creado por la corriente inducida es detectado también por la segunda bobina 6 receptora. El campo magnético detectado por la segunda bobina 6 receptora induce también una señal, Sr(t), por ejemplo, un voltaje, en la segunda bobina 6 receptora que puede ser amplificada por un amplificador.

10 El o los amplificadores proporcionan la señal amplificada desde al menos la primera bobina 5 receptora a una disposición informática (por ejemplo, incorporada en la primera unidad 62 de la unidad 60 de control, mostrada en las Figs. 2a y 2b como el componente 17). En una realización, la disposición informática está configurada para determinar un primer valor St1 de señal, un segundo valor St2 de señal y un tercer valor St3 de señal, respectivamente, de la señal. En una realización, el componente 17 está configurado para proporcionar señales de control a la primera unidad 62 para que la primera unidad 62 pueda determinar el primer valor St1 de señal en un primer tiempo t1, el segundo valor St2 de señal en un segundo tiempo t2 y el tercer valor St3 de señal en un tercer tiempo t3, tal como se muestra en las Figs. 3a y 3b.

15 Antes de, o simultáneamente con, la detección del campo magnético por la primera bobina 5 receptora, y opcionalmente la detección del campo magnético por la segunda bobina 6 receptora, la energía creada en la primera bobina 5 receptora por el campo magnético se descarga por medio de la segunda resistencia, y la energía creada en la segunda bobina 6 receptora por el campo magnético se descarga por medio de la tercera resistencia. Por lo tanto, las resistencias segunda y tercera están dispuestas y configuradas para descargar la energía desde las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda, respectivamente, cuando la corriente ha alcanzado su segunda magnitud I2. En una realización, la segunda resistencia está dispuesta en una conexión en paralelo con la primera bobina 5 receptora, y/o la tercera resistencia está dispuesta en una conexión en paralelo con la segunda bobina 6 receptora.

20 Mediante una selección apropiada de la resistencia de la primera resistencia, la segunda resistencia y la tercera resistencia, una conmutación rápida entre la primera magnitud I1 y la segunda magnitud I2 de la corriente, puede conseguirse una descarga rápida de la energía en la bobina 3 transmisora y las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda, permitiendo de esta manera un corto intervalo de tiempo t1-t0 antes del inicio de las mediciones del campo magnético por medio de las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda.

25 El primer tiempo t1 es en una realización en un tiempo (desde t0) en el que se ha estimado que cualquier perturbación debida al control de la corriente para obtener la segunda magnitud I2 ha cesado, y opcionalmente que la corriente inducida en el material M metálico debido al control de la corriente para obtener la segunda magnitud I2 ha penetrado más profundamente en el material M metálico que una profundidad correspondiente a las irregularidades superficiales del material M metálico y las profundidades de grieta poco profundas que no se desean medir. La estimación del tiempo en el que la corriente ha penetrado a una profundidad más profunda que las irregularidades superficiales del material M metálico y las profundidades de grieta poco profundas que no se desean medir puede proporcionarse mediante la siguiente relación en el caso en el que no se desean medir las profundidades de grieta y las irregularidades superficiales que tienen una profundidad menor o igual a 1 mm:

$$t1 \approx 800 * \mu / \rho,$$

30 en la que t1 es el tiempo en microsegundos,  $\mu$  es la permeabilidad relativa del material M metálico y  $\rho$  es la resistividad eléctrica en n $\Omega$ m. Pueden derivarse ecuaciones similares dependiendo de la profundidad de grieta mínima que se desea medir. Por ejemplo, al medir en un material de alta resistividad eléctrica, tal como acero caliente (por ejemplo, acero a 1000°C), el tiempo de decaimiento debería ser menor de aproximadamente 1 microsegundo y, de esta manera, el tiempo t1 se selecciona de manera que sea de 1 microsegundo, o entre 0,5 - 1 microsegundo (después de t0). Para un material de baja resistividad, puede usarse un ajuste significativamente más largo del primer tiempo t1, por ejemplo, según la ecuación simplificada:

$$t1 = 30 / (\rho^{1/2})$$

35 en la que  $\rho$  es la resistividad eléctrica del material M metálico en nano ohmios metro, n $\Omega$ m y t1 es en microsegundos.

40 El tercer tiempo t3 es en una realización en un tiempo (después de t0) en el que se ha estimado que cualquier influencia de un cambio en el radio R de la curvatura del borde E ha cesado. Por ejemplo, el tercer tiempo t3 puede ser, para realizar una medición en un material de alta resistividad eléctrica, tal como acero caliente (por ejemplo, acero a 1000°C), de aproximadamente 12 microsegundos (por ejemplo, con un radio R del borde E de 2 mm). Para otro material, el tercer tiempo t3 puede establecerse en:

$$t3 = 12 * (1000 / \rho)^{1/2}$$

en la que  $\rho$  es la resistividad eléctrica del material M metálico en nano ohmios metro,  $n\Omega m$  y  $t_3$  es en microsegundos.

T El segundo tiempo  $t_2$  se elige en algún tiempo entre el primer tiempo  $t_1$  y el tercer tiempo  $t_3$ . Por ejemplo, el segundo tiempo  $t_2$  puede elegirse en un tiempo (después de  $t_0$ ):

$$t_2 = (((t_1)^{1/2} + (t_3)^{1/2}) / 2)^2$$

5 Cada uno de los tiempos primero, segundo y tercero descritos en el presente documento están programados típicamente en el software del componente 17, que puede proporcionar señales de control a la disposición informática, por ejemplo, la primera unidad 62, para determinar el primer valor  $St_1$  de señal, el segundo valor  $St_2$  de señal y el tercer valor  $St_3$  de señal.

10 Para los tiempos  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  primero, segundo y tercero, el primer valor  $St_1$  de señal, el segundo valor  $St_2$  de señal y el tercer valor  $St_3$  de señal respectivos son determinados por la disposición informática, por ejemplo, por la primera unidad 62. El primer valor  $St_1$  de señal es típicamente un único valor de señal de la señal tomado en el primer tiempo  $t_1$ , pero puede ser también un valor medio de la señal en un primer intervalo de tiempo que se extiende desde -30% de  $t_1$  hasta +30% de  $t_1$ , o una integración de la señal en el primer intervalo de tiempo. De manera correspondiente, el segundo valor  $St_2$  de señal es típicamente un único valor de señal de la señal tomado en el segundo tiempo  $t_2$ , pero puede ser también un valor medio de la señal en un segundo intervalo de tiempo que se extiende desde -30% de  $t_2$  hasta +30% de  $t_2$ , o una integración de la señal en el segundo intervalo de tiempo. Finalmente, el tercer valor  $St_3$  de señal es típicamente un único valor de señal de la señal tomado en el tercer tiempo  $t_3$ , pero puede ser también un valor medio de la señal en un tercer intervalo de tiempo que se extiende desde -30% de  $t_3$  hasta +30% de  $t_3$ , o una integración de la señal en el tercer intervalo de tiempo.

20 Los valores  $St_1$ ,  $St_2$ ,  $St_3$  de señal primero, segundo y tercero pueden ser sometidos a un procesamiento de señal adicional y pueden proporcionarse en forma de una señal analógica como un voltaje por medio de un circuito de muestreo y retención configurado en el componente 17 o, de manera alternativa, como una señal digital por medio de un convertidor A/D configurado en el componente 17.

25 Los valores  $St_1$ ,  $St_2$ ,  $St_3$  de señal primero, segundo y tercero pueden ser sometidos a un procesamiento de señal adicional en un cuarto tiempo  $t_4$  que es posterior al tercer tiempo  $t_3$  pero anterior al tiempo  $t_{20}$  en el que la medición se repite y el generador de señal genera un nuevo pulso de corriente, en el que la primera unidad 62 puede restablecerse en un quinto tiempo  $t_5$  después del cuarto tiempo  $t_4$ , para una medición posterior, es decir, una determinación de valores de señal de un pulso de corriente posterior. Esto se muestra en el diagrama inferior de la Fig. 3b. De esta manera, el generador de señales puede alimentar un pulso de corriente en un tiempo  $t_{20}$  a la bobina 3 transmisora, en el que se repite la medición.

30 Posteriormente, se determina si hay o no una grieta mediante la determinación de la profundidad de la grieta en base a los valores  $St_1$ ,  $St_2$ ,  $St_3$  de señal primero, segundo y tercero. La determinación de la profundidad de grieta puede realizarse en el componente 17 mediante la determinación de una relación característica entre al menos dos de las siguientes combinaciones de valores de señal: el primer valor  $St_1$  de señal y el segundo valor  $St_2$  de señal; el segundo valor  $St_2$  de señal y el tercer valor  $St_3$  de señal; y el primer valor  $St_1$  de señal y el tercer valor  $St_3$  de señal. La combinación de relaciones características, por ejemplo,  $St_1/St_2$  y  $St_1/St_3$ , o  $St_2/St_3$  y  $St_1/St_3$  o  $St_1/St_2$ , son independientes de la posición del borde y del radio de la curvatura del borde, lo cual se explicará más adelante. Cabe señalar que la resistividad del material es sustancialmente constante durante la detección de la grieta, y las irregularidades de la superficie del material metálico no afectan a la medición en lo que concierne a las características del primer tiempo  $t_1$ .

40 Con referencia a la Fig. 3b, la determinación de una grieta y su profundidad CD de grieta se realiza comparando las relaciones características con las relaciones características correspondientes de las señales de referencia. En la Fig. 3b, se ha establecido una primera señal  $Sa(t)$  de referencia (teóricamente o mediante la medición tal como se ha descrito anteriormente, en la que hay una grieta C presente en el borde E del material M metálico. La posición del borde E en comparación con una posición de referencia, en el presente documento el centro MC magnético de la primera bobina 5 receptora, y el radio R de la curvatura del borde E pueden determinarse de manera correspondiente mediante un parámetro de posición de borde y un parámetro de radio, respectivamente. De esta manera, y según al menos una realización ejemplar, el parámetro de posición de borde representa, o corresponde a, la posición del borde con relación a una posición de referencia, y el parámetro de radio representa, o corresponde a, el radio de la curvatura del borde. El parámetro de posición de borde y el parámetro de radio son para la primera señal  $Sa(t)$  de referencia que representa una condición normal, correspondiente a un primer valor de referencia de borde del parámetro de posición de borde y un primer valor de referencia del parámetro de radio. Además, en la Fig. 3b se establecen y presentan las siguientes señales de referencia: una segunda señal  $Sb(t)$  de referencia para el mismo material metálico que no tiene grietas, y con el mismo parámetro de radio y parámetro de posición de borde (es decir, el primer valor de referencia de radio y el primer valor de referencia de borde, respectivamente); una tercera señal  $Sc(t)$  de referencia para el mismo material metálico que no tiene grietas, y con el mismo parámetro de radio (es decir, el primer valor de referencia de radio) pero un cambio predeterminado del parámetro de posición de borde con relación al primer valor de referencia de borde; y una cuarta señal  $Sd(t)$  de referencia para el mismo material metálico que no tiene grietas, y con el primer valor de referencia de borde como parámetro de posición de borde, y un cambio predeterminado del parámetro de radio con relación al primer valor de referencia de radio. De esta manera, todas las señales de referencia se basan teóricamente en cálculos, o en la medición tal como se ha presentado anteriormente, pero durante para más tiempos además de  $t_1$ ,  $t_2$  y  $t_3$  con el fin de conseguir curvas continuas.

De esta manera, la independencia de la posición del borde puede realizarse mediante las siguientes relaciones características de los valores  $S_{t1}$ ,  $S_{t2}$ ,  $S_{t3}$  de señal primero, segundo y tercero, por ejemplo, realizando el procedimiento y los cálculos siguientes.

5 En primer lugar, se establecen las siguientes relaciones características de las señales  $S_b(t)$ ,  $S_c(t)$  de referencia segunda y tercera para los tiempos  $t_1$ - $t_3$  primero, segundo y tercero:

$$S_b(t_1)/S_b(t_2) = S_c(t_1)/S_c(t_2), \text{ y}$$

$$S_b(t_2)/S_b(t_3) = S_c(t_2)/S_c(t_3).$$

En base a las relaciones características anteriores, de esta manera, la posición del borde no perturbará la medición.

10  $S_b(t_1)/S_b(t_2)$  y  $S_c(t_1)/S_c(t_2)$  pueden multiplicarse posteriormente por un factor  $N_{12}$  constante con el fin de hacer que dicho producto sea igual a uno (1) cuando no hay grietas presentes en el material metálico. y con el primer valor de referencia de radio para el parámetro de radio. Por consiguiente,  $S_b(t_2)/S_b(t_3)$  y  $S_c(t_2)/S_c(t_3)$  pueden multiplicarse por un factor  $N_{23}$  constante con el fin de hacer que dicho producto sea igual a uno (1) cuando no hay grietas presentes en el material metálico, y con el primer valor de referencia de radio para el parámetro de radio. De esta manera, pueden establecerse las siguientes relaciones:

15 
$$N_{12} \cdot S_b(t_1) / S_b(t_2) - 1 = N_{12} \cdot S_c(t_1) / S_c(t_2) - 1 = 0;$$

$$N_{23} \cdot S_b(t_2) / S_b(t_3) - 1 = N_{23} \cdot S_c(t_2) / S_c(t_3) - 1 = 0.$$

De esta manera, durante una medición  $S(t)$ , tal como se ha descrito anteriormente, se establecen las siguientes ecuaciones:

18 
$$R_{12} = N_{12} \cdot S(t_1) / S(t_2) - 1$$

20 
$$R_{23} = N_{23} \cdot S(t_2) / S(t_3) - 1$$

De esta manera, las desviaciones con relación a cero (0) de  $R_{12}$  y  $R_{23}$  indican un cambio del radio de la curvatura del borde y/o la presencia y profundidad de una grieta, independientemente de la posición del borde.

$N_{12}$  y  $N_{23}$  pueden determinarse mediante mediciones en un material metálico de referencia con las mismas propiedades eléctricas y magnéticas o similares que el material metálico sometido a la medición.

25 Tal como queda más claro a partir de la Fig. 3b, existe una considerable diferencia en la primera señal  $S_a(t)$  de referencia y la cuarta señal  $S_d(t)$  de referencia entre el primer tiempo  $t_1$  y el segundo tiempo  $t_2$ , al menos en comparación con una diferencia entre las mismas señales  $S_a(t)$ ,  $S_d(t)$  de referencia entre el segundo tiempo  $t_2$  y el tercer tiempo  $t_3$ . De esta manera,  $R_{12}$  resultará en una diferencia relativamente mayor con relación a  $R_{23}$  para  $S_a(t)$  en comparación con  $R_{12}$  con relación a  $R_{23}$  para  $S_d(t)$ . En base a este hecho, puede determinarse un número  $CR$  característico que es independiente de la posición del borde y del radio de la curvatura del borde:

30 
$$CR = R_{12} - \text{Const1} \cdot R_{23}$$

35  $\text{Const1}$  puede determinarse, por ejemplo, en base a mediciones en un material de referencia, tal como se ha descrito anteriormente, incluyendo un cambio predeterminado del parámetro de radio con relación al primer valor de referencia de radio, y en el que  $CR=0$  para dichos cambios de radio, o puede determinarse en el material metálico sometido a una medición de grietas, pero en una parte sin grietas presentes, y un valor de  $\text{Const1}$  que proporciona variaciones de medición mínimas durante la medición. Es decir, el valor de  $\text{Const1}$  se selecciona para que proporcione variaciones mínimas de  $CR$  cuando el radio  $R$  del borde varía. Por ejemplo, si el segundo tiempo  $t_2$  está determinado por la ecuación  $t_2 = (((t_1)^{1/2} + (t_3)^{1/2}) / 2)^2$  anterior,  $\text{Const1}$  es igual o aproximadamente igual a uno (1).

40 Por ejemplo, al realizar el método tal como se ha descrito anteriormente, las etapas  $S_{10}$ - $S_{60}$ , y reconociendo que  $CR = 0$  para  $S_d(t)$  (es decir,  $\text{Const1} = R_{12}/R_{23}$ ),  $\text{Const1}=0,91$ , y que  $S_b(t_1)=1$ , podría construirse la siguiente tabla resultante en base a la Fig. 3b:

Tabla 1

	<u>t1</u>	<u>t2</u>	<u>t3</u>	<u>N12 (=t2/t1)</u>	<u>N23</u>	<u>R12</u>	<u>R23</u>	<u>CR</u>
$S_b(t)$	1	0,5	0,25	0,5	0,5	0	0	0
$S_c(t)$	1,5	0,75	0,375	0,5	0,5	0	0	0,0000
$S_d(t)$	1,2	0,55	0,25	0,5	0,5	0,090909	0,1	-0,0001
$S_a(t)$	1,15	0,5	0,23	0,5	0,5	0,15	0,086957	<b>0,0709</b>

De esta manera, una desviación de CR con relación a cero (0) indica la presencia de una grieta (reconociendo que el valor -0,0001 es aproximadamente cero).

La profundidad de la grieta, CD, puede determinarse posteriormente mediante la siguiente relación:

$$CD = \text{Const2} \cdot CR + \text{Const3}$$

5 en la que Const2 y Const3 pueden determinarse, por ejemplo, mediante mediciones en un material de referencia, tal como se ha descrito anteriormente, que incluye grietas con diferentes profundidades de grieta, o pueden determinarse teóricamente. Por ejemplo, para el acero caliente (acero a 1000°C), y tiempos t1-t3 tal como se ha descrito anteriormente, Const2 será aproximadamente 100 y Const3 aproximadamente 1 mm.

10 Según al menos una realización ejemplar, las bobinas 5, 6 receptoras primera y segunda se usan para determinar la posición del borde E, horizontalmente (es decir, a lo largo de, o en paralelo a, la superficie 19 del material metálico) con relación a la disposición 1', y la distancia vertical entre la superficie 19 del material M metálico y la disposición 1', tal como se describe a continuación. Las dos señales S(t), Sr(t) dependientes del tiempo (amplificadas) tal como se ha descrito anteriormente, es decir, S(t) para la primera bobina 5 receptora y Sr(t) para la segunda bobina 6 receptora, se alimentan al componente 17. Aquí, ambas señales S(t) y Sr(t) se integran por separado desde el tiempo t0 hasta el tiempo t1 de una manera correspondiente a las distancias del lado derecho e izquierdo, DiR y DiL, para la Fig. 1 y la unidad 66 de integración.

15 Los dos valores integrados de S(t1-t0) y Sr(t1-t0) (es decir,  $\int_{t_0}^{t_1} S(t) dt$  y  $\int_{t_0}^{t_1} S_r(t) dt$ ), y la relación de los mismos, se usan para determinar la posición horizontal del borde E con relación a la disposición 1' y la distancia vertical entre la superficie 19 del material M metálico y la disposición 1'. Más detalladamente, debido a que la primera bobina 5 receptora está dispuesta relativamente cerca del borde E, el valor integrado de S(t1-t0) dependerá tanto de la distancia vertical entre la primera bobina 5 receptora y la superficie 19 del material metálico como de la distancia horizontal entre la primera bobina 5 receptora (por ejemplo, el centro MC magnético) y el borde E, mientras que el valor integrado de Sr(t1-t0) dependerá solo de la distancia vertical entre la segunda bobina 6 receptora y la superficie 19 del material metálico (ya que la segunda bobina 6 receptora está dispuesta lejos del borde E). De esta manera, la posición, o distancia horizontal PHor, del borde E y la distancia vertical PVer a la superficie 19 del material M metálico, con relación a la disposición 1', o la disposición 18 de bobinas, puede determinarse mediante la relación Sr(t1-t0)/S(t1-t0). Por ejemplo, mediante una medición en un material de referencia a medida que se varían PHor y PVer (por ejemplo, en múltiples pasos de 1 mm), puede determinarse la relación:

$$\frac{\int_{t_0}^{t_1} S_r(t) dt}{\int_{t_0}^{t_1} S(t) dt}$$

y pueden determinarse las relaciones de PHor y PVer en base, por ejemplo, al centro magnético de la bobina transmisora.

30 Para la medición indicada anteriormente, la primera bobina 5 receptora se dispone, por ejemplo, con una distancia horizontal desde el borde E hasta el centro MC magnético de aproximadamente la mitad de la distancia vertical entre la superficie 19 del material metálico y la primera bobina 5 receptora. La segunda bobina 6 receptora se dispone, por ejemplo, con una distancia horizontal desde el borde E hasta un centro magnético de la segunda bobina 6 receptora que es mayor que la distancia vertical entre la superficie 19 del material metálico y la segunda bobina 6 receptora.

35 De esta manera, la disposición 21 de ajuste de posición puede mover la plataforma 20 en respuesta a la medición de PHor y PVer, y puede estar configurada para mantener PHor y PVer constantes durante la medición. Para grandes variaciones en PHor y PVer (por ejemplo, +/- 3-5 mm), es posible que no se cumpla la independencia de la medición con relación a la posición del borde y al radio de la curvatura del borde. De esta manera, según al menos una realización ejemplar, la independencia de la medición con relación a la posición del borde y al radio de la curvatura del borde es válida para variaciones de PHor y PVer < +/- 3 mm.

40 Debería entenderse que para las realizaciones que tienen solo la primera bobina 5 receptora, todavía es posible establecer un parámetro de posición de borde en base a la posición del borde con relación a una posición de referencia, es decir, una distancia horizontal desde el borde E y, por ejemplo, el centro MC magnético de la primera bobina 5 receptora y establecer un parámetro de radio en base al radio R de la curvatura del borde E. Las relaciones características descritas anteriormente están adaptadas para ser independientes del parámetro de posición de borde y del parámetro de radio. Sin embargo, para los valores absolutos de PHor y PVer, se necesitan las bobinas 5, 6 receptoras tanto primera como segunda.

45 Una grieta en un borde de un material metálico debería interpretarse como una grieta presente en las proximidades del borde, por ejemplo, una grieta que se cruza con un eje diagonal geométrico de 45° que se origina desde el borde hacia el interior del material metálico, o una grieta que se extiende desde la superficie horizontal del material metálico hasta la superficie lateral, vertical, del material metálico. Según una realización ejemplar, la profundidad CD de grieta puede ser la distancia desde la superficie del material metálico hasta un punto donde la grieta se cruza con el eje diagonal geométrico de 45°. La medición de una grieta en el borde E se realiza en el presente documento proporcionando la bobina 3 transmisora al menos parcialmente fuera del borde E del material M metálico, y preferiblemente superpuesta de manera que la relación DO/DI esté comprendida entre 0,1-0,4. Además, cabe señalar que no es necesario que la curvatura del borde sea redonda, sino que puede ser también afilada. En dichos casos, puede usarse un radio hidráulico o un radio equivalente en lugar del radio presentado en el presente documento.

La eliminación de la grieta C en el borde E se describirá a continuación más detalladamente con referencia a las Figs. 2a y 2b.

5 La disposición 1' de las Figs. 2a y 2b comprende una unidad 25 de eliminación de grietas dispuesta a una distancia KD conocida desde la unidad 16 de detección de grietas. La unidad 25 de eliminación de grietas comprende al menos un eyector 26 configurado para expulsar un medio 27 de grabado de manera correspondiente a la disposición 1 de la Fig. 1. En la realización ejemplar de las Figs. 2a y 2b, la unidad 16 de detección de grietas y la unidad 25 de eliminación de grietas están dispuestas en la plataforma 20 común, y se supone que una unidad 60 de control como la de la Fig. 1 está incorporada en el componente 17, con la misma funcionalidad, por razones de inteligibilidad. Además, el eyector 26 puede ser un quemador configurado para expulsar una llama como medio 27 de grabado, similar a la disposición 1 de la Fig. 1, y de esta manera acoplado a un medio 28 de suministro de gas correspondiente, cuya descripción no se repite de nuevo en el presente documento. Tal como se observa en la Fig. 2a, la unidad 25 de eliminación de grietas está dispuesta parcialmente fuera de un borde E del material M metálico para permitir la eliminación de la grieta. Los medios 29 de conexión y cableado adecuados se indican esquemáticamente en la Fig. 2a, pero no en la Fig. 2b.

15 A continuación, se describirá un método para eliminar una grieta C en un material M metálico mediante la disposición 1 de la Fig. 1 o la disposición 1' de las Figs. 2a y 2b con referencia al diagrama de flujo de la Fig. 4.

20 En la etapa S10, una unidad de detección de grietas determina la presencia de una grieta C y su profundidad CD de grieta durante un proceso de fabricación de metal utilizando una medición inductiva. En una etapa S7 opcional, la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas se disponen a lo largo de la misma línea operativa del material metálico. Además, la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas puede mantenerse constante durante el proceso de eliminación de grietas.

25 Por ejemplo, la unidad de detección de grietas puede estar dispuesta y configurada para determinar una grieta en el borde E del material M metálico, tal como se ha descrito con referencia a las Figs. 2a y 2b, o lejos del borde E del material M metálico, tal como se ha descrito con referencia a la Fig. 1. De esta manera, en una etapa S5 opcional, la unidad de detección de grietas se proporciona o dispone parcialmente fuera del borde del material metálico para detectar una grieta y su profundidad de grieta en el borde. Tal como se muestra en las Figs. 2a y 2b, la unidad de eliminación de grietas se dispone de manera correspondiente en el borde para eliminar cualquier grieta detectada en esta región. Para dicha detección de grietas y eliminación de grietas en el borde del material metálico, la posición del borde con relación a una posición de referencia de la disposición 1' puede determinarse en una etapa 28, y la posición de la unidad de detección de grietas y de la unidad de eliminación de grietas puede ajustarse en una etapa 29 para mantener constantes la distancia relativa entre el borde y la unidad de detección de grietas y la distancia entre el borde y la unidad de eliminación de grietas durante el proceso de eliminación de grietas.

30 En una etapa S20, se envía una señal D de detección de grieta y una profundidad CD de grieta a una unidad de eliminación de grietas dispuesta a una distancia conocida desde la unidad de detección de grietas. La unidad de eliminación de grietas comprende un eyector configurado para expulsar un medio de grabado y para variar la intensidad del medio de grabado expulsado. El eyector puede ser un quemador y el medio de grabado expulsado puede ser una llama, tal como se ha descrito con referencia a la Fig. 1. Típicamente, la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas se mantiene constante durante el proceso de eliminación de grietas.

35 En una etapa S30, la grieta detectada se elimina activando el eyector en base a la señal de detección de grieta con una intensidad del medio de grabado expulsado basada al menos en la profundidad de la grieta.

40 La intensidad del medio de grabado expulsado puede determinarse además por una primera distancia entre el eyector y la superficie del material metálico. De esta manera, en una etapa S25 opcional, se determina la primera distancia entre la superficie del material metálico y el eyector de la unidad de eliminación de grietas. La etapa S30 de eliminar la grieta detectada durante el proceso de fabricación de metal puede comprender, de esta manera, establecer la intensidad del medio de grabado expulsado en base a al menos la profundidad de la grieta y la primera distancia. La primera distancia se muestra, por ejemplo, en la Fig. 1.

45 En una etapa 27 opcional, se adapta la primera distancia entre la superficie del material metálico y el eyector de la unidad de eliminación de grietas.

50 El concepto inventivo se ha descrito anteriormente principalmente con referencia a unas pocas realizaciones. Sin embargo, tal como apreciará fácilmente una persona experta en la técnica, otras realizaciones además de las descritas anteriormente son igualmente posibles dentro del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. El orden de las etapas del método descritas en la presente divulgación no está limitado al descrito en la Fig. 4. Una o varias de las etapas podrían cambiar de lugar o podrían ocurrir en un orden diferente sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. Sin embargo, según al menos una realización ejemplar, las etapas del método se realizan en el orden consecutivo descrito en la Fig. 4.

55 Además, la persona experta en la práctica del concepto inventivo reivindicado puede comprender y efectuar variaciones en las realizaciones descritas, a partir de un estudio de los dibujos, la divulgación y las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la expresión "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido "un" o "una" no excluye una pluralidad. El mero hecho de que determinadas medidas se mencionen en reivindicaciones dependientes

mutuamente diferentes no indica que no pueda usarse una combinación de esas medidas con fines ventajosos.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para eliminar una grieta (C) en un material (M) metálico durante un proceso de fabricación de metal en caliente, comprendiendo el método:
- 5 - determinar (S10) la presencia de una grieta y su profundidad de grieta durante el proceso de fabricación de metal mediante una unidad de detección de grietas utilizando una medición inductiva,
- enviar (S20) una señal (D) de detección de grieta y una profundidad (CD) de grieta a una unidad de eliminación de grietas dispuesta a una distancia conocida desde la unidad de detección de grietas, comprendiendo la unidad de eliminación de grietas un eyector configurado para expulsar un medio de grabado, caracterizado porque el eyector está configurado además para variar la intensidad del medio de grabado expulsado y el método comprende, además
- 10 - eliminar (S30) la grieta detectada activando el eyector en base a la señal de detección de grieta con una intensidad del medio de grabado expulsado basada al menos en la profundidad de la grieta.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la activación del eyector para eliminar la grieta detectada se basa en un tiempo transcurrido desde la detección de la grieta por la unidad de detección de grietas, determinado por la velocidad del material metálico y la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas.
- 15 3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, que comprende además la etapa (S25) de determinar una primera distancia entre el eyector y la superficie del material metálico, y en el que la etapa de eliminar la grieta detectada durante el proceso de fabricación de metal comprende establecer la intensidad del medio de grabado expulsado en base al menos a la profundidad de la grieta y dicha primera distancia.
- 20 4. Método según la reivindicación 3, que comprende además adaptar (27) la primera distancia entre la superficie del material metálico y el eyector de la unidad de eliminación de grietas.
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende mantener constante la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas durante el proceso de eliminación de grietas.
- 25 6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de proporcionar (S5) la unidad de detección de grietas parcialmente fuera del borde (E) del material (M) metálico para detectar una grieta y su profundidad de grieta en el borde.
- 30 7. Método según la reivindicación 6, que comprende además la etapa de determinar (28) la posición del borde con relación a una posición de referencia, y ajustar (29) la posición de la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas para mantener constantes la distancia relativa entre el borde y la unidad de detección de grietas y la distancia entre el borde y la unidad de eliminación de grietas durante el proceso de eliminación de grietas.
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el eyector es un quemador y el medio de grabado expulsado es una llama, comprendiendo además el método la etapa de ajustar la intensidad de la llama controlando un suministro de alimentación de gas al quemador.
- 35 9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende la etapa de disponer (S7) la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas a lo largo de la misma línea operativa del material metálico.
10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el material (M) metálico es una losa caliente descargada desde una máquina de fundición continua.
11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el proceso de fabricación de metal en caliente indica una temperatura del material metálico de al menos 500°C, o al menos 750°C.
- 40 12. Dispositivo (1, 1') para eliminar una grieta (C) en un material (M) metálico durante un proceso de fabricación de metal en caliente, comprendiendo el dispositivo:
- una unidad (30, 16) de detección de grietas que comprende una bobina (32, 3) transmisora y al menos una bobina (34, 5) receptora,
- 45 - una unidad (40, 25) de eliminación de grietas dispuesta a una distancia (KD) conocida desde la unidad de detección de grietas, comprendiendo la unidad de eliminación de grietas al menos un eyector (42, 26) configurado para expulsar un medio (44, 27) de grabado y caracterizado porque el eyector está configurado además para variar la intensidad del medio de grabado expulsado, y la disposición comprende, además
- 50 - una unidad (60, 17) de control configurada para alimentar una corriente a la bobina transmisora según un esquema conocido para generar un campo magnético en el material metálico, detectar el campo magnético mediante la bobina receptora para generar una señal, y procesar la señal generada para establecer la presencia de una grieta y su profundidad (CD) de grieta, en el que, tras la detección de una grieta durante el proceso de fabricación de metal, la

unidad de control está configurada para enviar una señal (D) de detección de grieta y una profundidad (CD) de grieta a la unidad de eliminación de grietas para activar el eyector para eliminar la grieta, y establecer la intensidad del medio de grabado expulsado en base a al menos la profundidad de la grieta.

5 13. Disposición según la reivindicación 12, en la que la unidad de control está configurada para calcular el tiempo de activación del eyector en base a un tiempo transcurrido desde la detección de una grieta por la unidad de detección de grietas, determinado por la velocidad del material metálico y la distancia entre la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas.

10 14. Disposición según una cualquiera de las reivindicaciones 12-13, en la que la unidad de control está configurada para determinar una primera distancia (FD) entre el eyector y la superficie del material metálico, y para establecer la intensidad del medio de grabado expulsado en base a al menos la profundidad de la grieta y dicha primera distancia.

15 15. Disposición según una cualquiera de las reivindicaciones 12-14, que comprende además una disposición (70, 21) de ajuste de posición configurada para ajustar la posición de la unidad de detección de grietas y/o la unidad de eliminación de grietas con relación al material metálico.

15 16. Disposición según una cualquiera de las reivindicaciones 12-15, en la que la unidad de detección de grietas y la unidad de eliminación de grietas comparten una plataforma (50, 20) común.

17. Disposición según una cualquiera de las reivindicaciones 12-15, en la que la unidad de detección de grietas está configurada para disponerse de manera que la bobina transmisora esté dispuesta parcialmente fuera de un borde (E) del material (M) metálico, para permitir la detección de una grieta y su profundidad de grieta en el borde.

20 18. Disposición según la reivindicación 17, en la que la unidad de control está configurada para determinar la posición del borde con relación a una posición de referencia.

19. Disposición según una cualquiera de las reivindicaciones 12-18, en la que el eyector es un quemador configurado para expulsar una llama como medio de grabado, y una alimentación de suministro de gas variable al quemador para variar la intensidad de la llama.



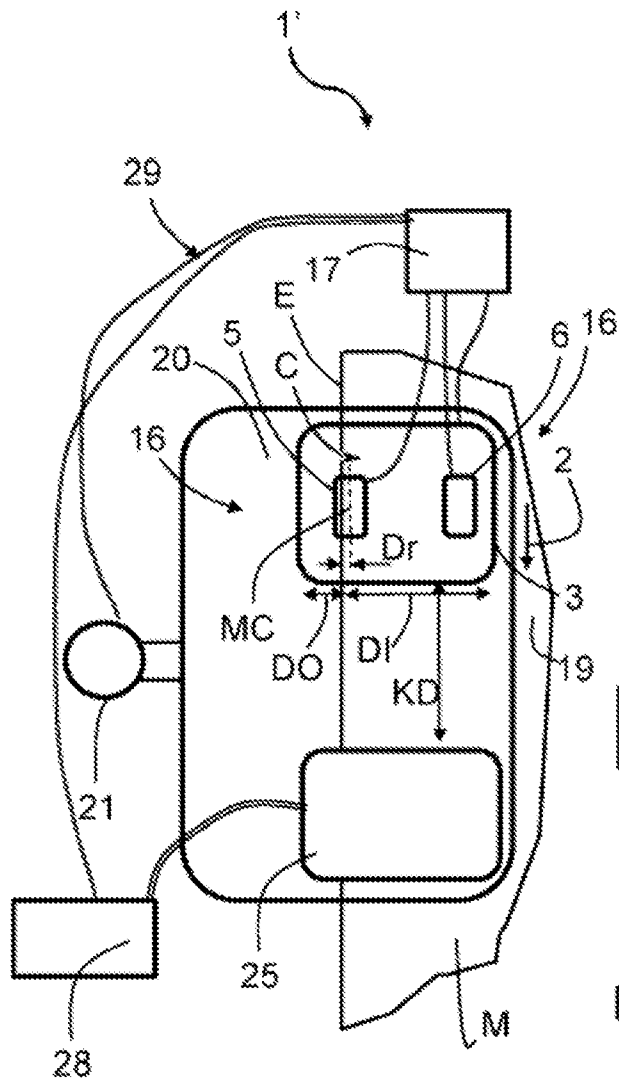


Fig. 2a

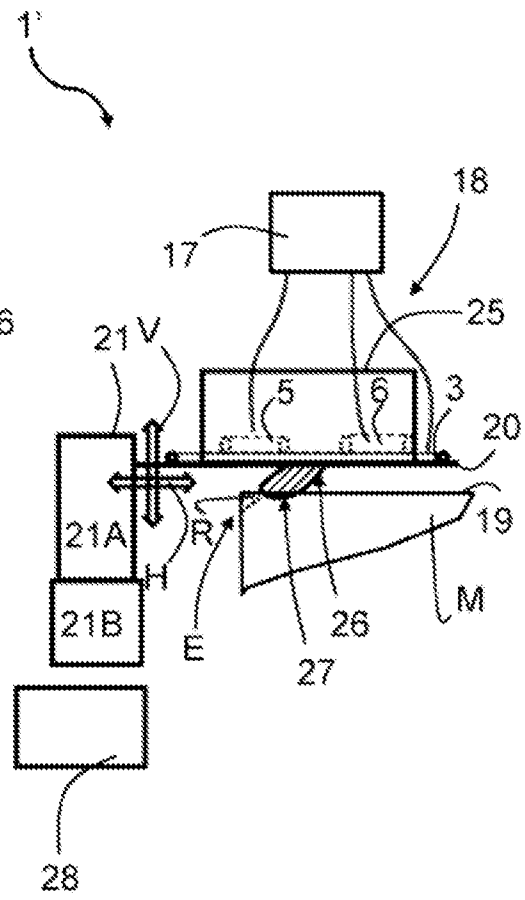


Fig. 2b

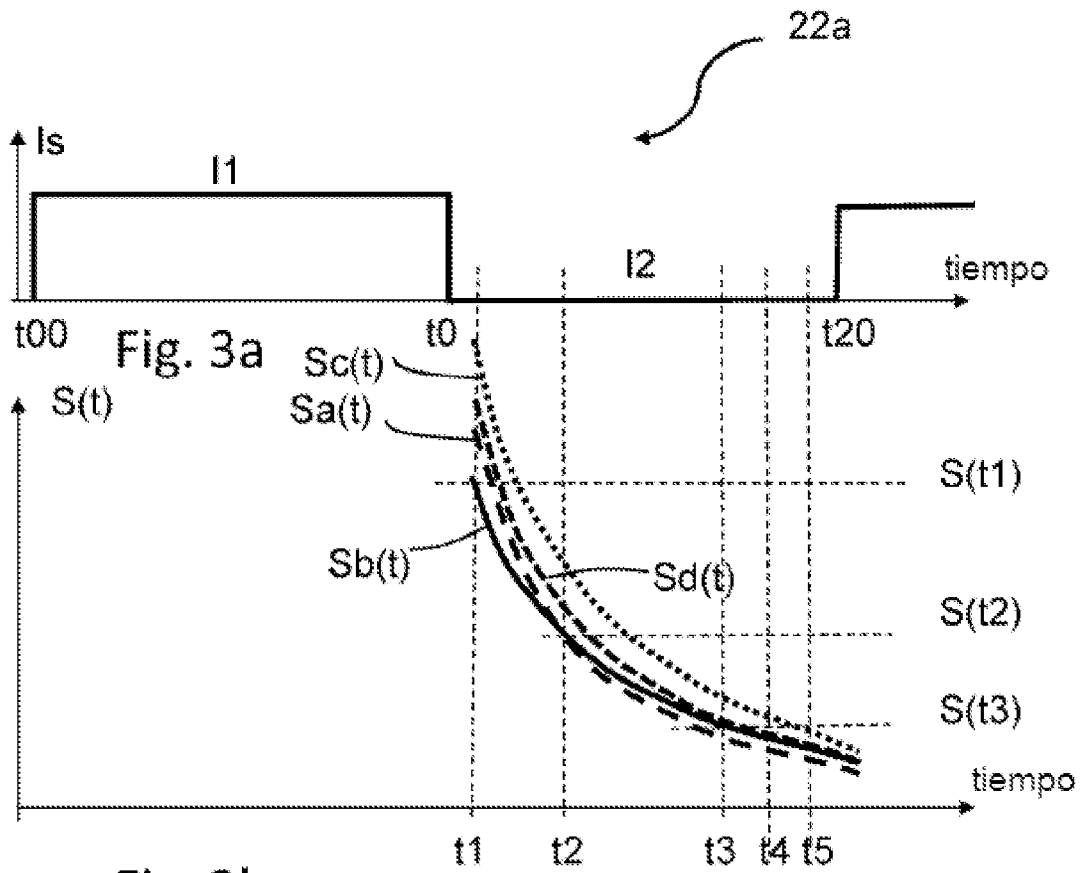


Fig. 3b

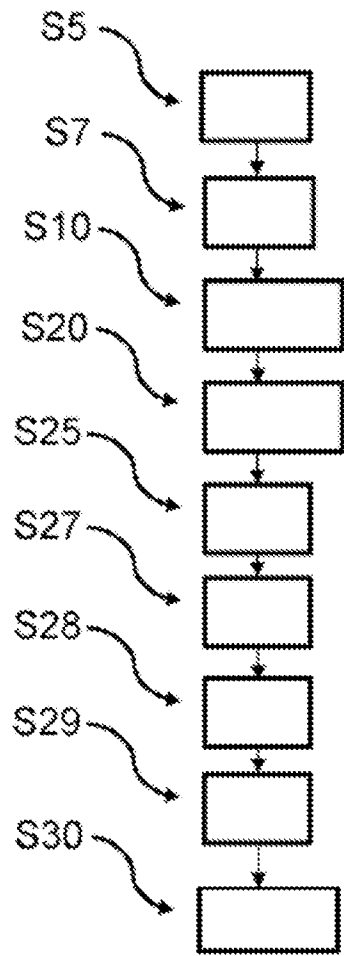


Fig. 4