

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 403 687**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/17** (2006.01)

**G01N 29/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2010 E 10716521 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2013 EP 2419710**

54 Título: **Sistema de ensayo por ultrasonidos**

30 Prioridad:

**15.04.2009 DE 102009017106**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.05.2013**

73 Titular/es:

**OBERHOFF, DIETMAR (50.0%)  
Ginsterweg 1  
42799 Leichlingen, DE y  
FLOHR, GUIDO (50.0%)**

72 Inventor/es:

**OBERHOFF, DIETMAR y  
FLOHR, GUIDO**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 403 687 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**

Sistema de ensayo por ultrasonidos

5 La invención se refiere a un sistema de ensayo por ultrasonidos con al menos una unidad de emisión y al menos una unidad de recepción, un dispositivo de emisión para un sistema de ensayo por ultrasonidos para someter a ensayo un objeto de ensayo con al menos una unidad de emisión, un sistema de recepción para un sistema de ensayo por ultrasonidos para someter a ensayo un objeto de ensayo con un láser para iluminar al menos dos áreas de medición de la superficie del objeto de ensayo y con al menos unidades de recepción para la medición óptica de la oscilación de la superficie del objeto de ensayo así como un procedimiento para hacer funcionar un sistema de ensayo por ultrasonidos.

10 En el contexto del control de calidad de productos de acero y otros metales los métodos de ensayo por ultrasonidos y la tecnología de medición no destructivos dejan abierto un importante potencial de mejora de la calidad. En el ensayo por ultrasonidos se genera una onda de ultrasonidos en el cuerpo de ensayo y a partir del tiempo de ida y vuelta de la señal de sonido y eventualmente de las señales interferentes que aparecen en particular ecos de los defectos se pueden determinar espesor de pared y eventualmente defectos en el material o en la superficie del cuerpo de ensayo. Un ensayo online fiable de defectos internos y superficiales o la edición de espesores de pared durante el proceso de producción deriva en una gran ventaja económica. La información obtenida tempranamente sobre el estado del producto no sólo garantiza la calidad del producto terminado sino que permiten además de las medidas de orientación de la producción pudiéndose aumentar mucho la productividad y la calidad del postprocesamiento y elevar la seguridad del personal del proceso de producción.

15 20 En el caso de productos calientes o que se mueven a gran velocidad el ensayo convencional con cabezales de ensayo de ultrasonidos piezoeléctricos no resulta posible. Los procedimientos alternativos, por ejemplo, ultrasonidos por láser o transductor acústico-electromagnético (técnica de ensayo EMAT) o son muy caros o no tienen suficiente sensibilidad a las ondas ultrasonoras libres.

25 En el ensayo de materiales fríos, por ejemplo, el ensayo de chapa en bruto se realiza este ensayo tradicionalmente con muchos cabezales de ensayo piezoeléctricos con conexión a través de capa de agua. El coste en aparatos o de la electrónica es muy alto. Debido a, por ejemplo, manchas de aceite o grasa en la superficie u otro tipo de suciedad o superficies irregulares la conexión se puede romper o modificarse, lo que deriva muy a menudo en indicaciones de fallos que no existen,

Los parámetros típicos de las chapas en bruto laminadas son:

30 Material: aceros al carbono de alta resistencia y poco aleados  
 Espesor de la chapa: 5 mm - 60 mm, en particular incluso hasta 100 mm o 150 mm  
 Ancho de la chapa: 1000 mm - 3000 mm  
 Longitud de la chapa: 5000 mm - 36000 mm  
 Temperatura de la chapa: aproximadamente 5°C - 110°C  
 35 Combamto de la chapa: aproximadamente 15 mm/lm - 50 mm/lm  
 Velocidad de ensayo: máxima 1 m/s  
 Propiedad superficial: en las condiciones de producción pueden aparecer muchos daños superficiales diferentes, por ejemplo, zonas rugosas, irregularidades de corrugado fino, manchas de aceite y grasa, zonas de óxido etc. pueden derivar en indicaciones erróneas, en particular, es hasta aproximadamente el 95% para el  
 40 ensayo por ultrasonidos con la tecnología de ensayo piezoeléctrico.

Para el ensayo de materiales por ultrasonidos o la medición de espesores de pared por ultrasonidos de materiales metálicos se han utilizado recientemente para determinados problemas sistemas de emisión de ultrasonidos y de recepción ópticos por láser.

45 Por ultrasonidos mediante láser se entiende un procedimiento de medición o ensayo por ultrasonidos sin contacto caracterizado porque debido a la excitación por ultrasonidos mediante un pulso de láser corto mediante a la par que una comprobación óptica, por lo general, interferométrica, de la desviación de los ultrasonidos. Si un pulso láser de normalmente algunos pocos nanosegundos de duración incide sobre la superficie de material una parte de su energía se absorbe, el resto se transmite o se refleja. La energía absorbida se transforma en una gran parte en calor, una fracción menor sin embargo se libera como una onda de ultrasonidos.

50 Se distingue entre dos mecanismos de excitación diferentes: la excitación termoelástica y la excitación por transmisión del impulso. La excitación por ultrasonidos termoelástica se puede explicar completamente por la absorción local el calentamiento y la elongación térmica. Define la fuente de ultrasonidos en el caso de una intensidad del pulso láser baja. Si se aumenta la intensidad se produce un reventón de las capas que se adhieren, la evaporación del material y la formación de plasma. Este es el mecanismo de excitación de mayor importancia práctica quedando limitado el efecto de la superficie, en el caso de acero, a una capa del orden de los micrómetros.  
 55 Las oscilaciones de ultrasonidos generadas por pulsos de láser se caracterizan por una estructura espacial y temporal complejas. En la excitación por transmisión de impulso se generan predominantemente pulsos longitudinales de un ancho de banda alto que se propagan perpendicularmente a la superficie y que se reflejan en la

5 pieza de forma conocida como una secuencia de ecos de pulsos. Las oscilaciones superficiales en la dirección normal se pueden medir entonces interferométricamente utilizando el efecto Doppler, como modulación en frecuencia o en fase. En otras palabras, las oscilaciones superficiales en la dirección normal derivan, debido al efecto Doppler, en una modulación de fase o frecuencia de la luz y se pueden transformar interferométricamente en una señal modulada en amplitud que se puede medir con un fotodetector.

10 Para verificar la desviación de ultrasonidos que normalmente está en el intervalo desde pocos Ångström hasta el orden de los nanómetros resulta adecuada una pluralidad de tipos de interferómetros diferentes. Sin embargo los efectos Speckle asociados inevitablemente con la radiación láser en superficies tecnológicas de tope reducen mucho la elección. Para superficies que se muevan rápidamente hasta ahora estaban disponibles interferómetros de tiempo de ida y vuelta al así como interferómetros Fabry-Pérot. El interferómetro de tiempo de ida y vuelta es muy grande y en la práctica se puede utilizar difícilmente.

Este tipo de conversión de ultrasonidos ofrece las siguientes ventajas fundamentales con respecto a los muy extendidos convertidores de ultrasonidos piezoeléctricos:

- 15 - el ensayo o la medición de espesores de pared se puede realizar sin contacto
- no hace falta un medio de conexión
- el material que se mueva a gran velocidad se puede someter a ensayo
- se puede estudiar material caliente
- 20 - puesto que el sonido en la superficie del material aparece por sí mismo o la oscilación de la superficie se detecta los problemas de conexión que aparecen al utilizar convertidores de ultrasonidos piezoeléctrico convencionales se evitan.

Las desventajas fundamentales con respecto a los muy extendidos convertidores de ultrasonidos piezoeléctricos son:

- La tasa de repetición de emisión es baja y está, por ejemplo, por debajo de 100 Hz,
- la sensibilidad de los sistemas es menor que para convertidores de ultrasonidos piezoeléctricos
- 25 - el precio de un sistema de ensayo de un canal es muy alto.

30 El rendimiento de la conversión de la energía óptica en ultrasonidos es muy malo. Por eso la potencia, por ejemplo, 360 mJ por cada pulso de emisión, del láser de emisión para los sistemas conocidos tiene que ser muy grande o la tasa de repetición de pulsos es baja, por ejemplo, menor que 100 Hz, puesto que la potencia del láser existente se divide entre los pulsos de emisión generados. Al utilizar sistemas de ultrasonidos láser-láser se reciben por ello señales con una proporción señal-ruido mala para tasas de repetición bajas.

El documento EP 1679513 A2 describe un procedimiento y un sistema para medir un parámetro físico de una capa de un objeto de ensayo en el que dos pulsos de energía electromagnética se dirigen hacia la superficie del artículo y los impulsos de ultrasonidos así generados se evalúan para la medición del parámetro.

35 El objetivo de la invención es desarrollar una nueva tecnología de ensayo y medición que por un lado evite los problemas que aparecen para los procedimientos conocidos y por otro lado que se pueda producir de forma relativamente económica.

Este objetivo se consigue mediante un sistema de ensayo de ultrasonidos con las características de la reivindicación 1. Formas de realización ventajosas se recogen en las reivindicaciones dependientes y la descripción que sigue.

40 De acuerdo con la invención se ha reconocido que la unidad de emisión en un sistema de ensayo por ultrasonidos genera un arco eléctrico que genera en la superficie y/o en el objeto de ensayo una oscilación por ultrasonidos y que la unidad de recepción mide ópticamente la oscilación de la superficie del objeto de ensayo.

45 Para la generación de ultrasonidos se genera un arco eléctrico, es decir plasma producido por una descarga eléctrica. El arco eléctrico salta entre la unidad de emisión y la superficie del objeto de ensayo y se transmite entre ellos. El plasma del arco eléctrico que aparece con la descarga impacta en la superficie y genera el impulso de presión necesario para la medición con ultrasonidos sobre la superficie.

50 La unidad de emisión presenta para esto al menos una bobina de chispa y una electrónica de control para hacer saltar la chispa de la bobina de chispa en instantes de tiempo predeterminados. La electrónica necesaria para esto, en particular, la bobina de chispa, el condensador de chispa y la electrónica de control se pueden producir muy económicamente y se pueden diseñar además de muchas maneras. El rendimiento de la conversión de la energía eléctrica en ultrasonidos es mucho mejor que la conversión de energía óptica en ultrasonidos. Por eso se puede utilizar una pluralidad de unidades de emisión, en particular de más de 100 unidades de emisión, para conseguir unos anchos de ensayo suficientemente grandes.

El pulso electromagnético que se genera en la emisión no afecta negativamente al sistema óptico de la unidad de recepción y por eso se puede combinar bien con el arco eléctrico. La luz del arco eléctrico se puede apantallar

preferentemente mediante un apantallamiento adecuado entre la zona de incidencia del arco eléctrico y el área de medición de la unidad de recepción óptica para reducir el efecto en la medición.

5 Para la recepción de ultrasonidos se puede utilizar, en particular, un sistema de recepción de ultrasonidos láser disponible en el mercado que está caracterizado por estar previsto un láser de iluminación cuya luz ilumina la superficie en un área de medición recibiendo la unidad de recepción la luz que incide de en la unidad de recepción viniendo del área de medición. En particular puede preverse una pluralidad de unidades de recepción, en particular, más de 100 unidades de recepción. Así se pueden conseguir también grandes anchos de ensayo estando ajustado preferentemente el número de unidades de recepción al número de unidades de emisión.

10 El sistema de ensayo por ultrasonidos se caracteriza por un láser de iluminación y áreas de medición estando asociada respectivamente a una unidad de recepción un área de medición de modo que la unidad de recepción recibe luz que incide en la unidad de recepción y que viene del área de medición guiando un sistema de guía de luz la luz del láser en una primera posición del sistema de guía de luz hasta una primera área de medición y en una segunda posición del sistema de guía de luz hasta una segunda área de medición. Así se pueden utilizar dos o más, en particular, aproximadamente 100 áreas de medición, con una disposición que consta de un láser de iluminación y una unidad de recepción.

15 Si se van a utilizar muchos canales de recepción, por ejemplo, para el ensayo de chapas en bruto, un sistema de guía de luz puede dividir la luz del láser haciendo que incida en un área de medición y en otra área de medición, en particular, en muchas áreas de medición diferentes. A este respecto un sistema de recepción por ultrasonidos con láser puede estar conectado a través de un multiplexador óptico o conmutador matricial con fibras de guía de luz con muchas ópticas de recepción.

Más preferentemente la unidad de recepción presenta un interferómetro o un sistema de guía de luz que redirige la luz que incide en la unidad de recepción hasta un interferómetro.

20 Si se utiliza un sistema de emisión de mayor rendimiento, por ejemplo, un arco eléctrico, la potencia primaria del sistema emisor puede resultar notablemente más baja, se puede aumentar la tasa de repetición de pulsos y los costes del sistema se pueden reducir notablemente. Al montar muchos sistemas de emisión económicos en paralelo y el uso secuencial de un sistema de recepción por ultrasonidos láser se puede conseguir así, en suma, una tasa de muestreo mucho mayor para muchas pistas de ensayo paralelas y un coste relativo por cada canal de ensayo bajo.

30 Los sistemas de recepción por ultrasonidos con óptica láser funcionan con láseres de iluminación, mayormente láseres Nd: YAG, con un funcionamiento continuo para una potencia comparativamente baja de aproximadamente 500 mW - 2W.

35 El sistema de recepción puede ser caro, para un único canal de ensayo, es decir, para una unidad de recepción que sólo considere un área de medición única comparado con la tecnología de ultrasonidos convencional. Al utilizar un multiplexadores ópticos se puede usar un sistema de recepción por ultrasonidos con óptica láser para N puntos de recepción o unidades de recepción. Así, la construcción de un sistema de ultrasonidos económico resulta posible puesto que el precio por cada canal de recepción o cada unidad de recepción resulta muy bajo.

La evaluación del número de canales de recepción por cada sistema de recepción por ultrasonidos con óptica láser para el ensayo de chapa en bruto produce lo siguiente:

40 Trayecto de incidencia de sonido: máximo:  $2 * 100$  mm  
Velocidad del sonido: 5920 m/s  
Ventana de señal a detectar: 33,8  $\mu$ s

45 De esto resulta una tasa de repetición de señal máxima posible de aproximadamente 30 kHz cuando las ventanas de señal individuales se hacen corresponder temporalmente de la forma correcta. Si uno asume una tasa de repetición de pulsos de 100 Hz por cada pista de ensayo, es decir con una resolución de 10 mm para una velocidad de transporte de 1 m/s resultan como máximo 300 pistas de ensayo paralelas si se desprecia el tiempo de conmutación del multiplexor óptico. Para este conjunto de valores de variables entonces con el control correspondiente de los emisores o la selección de la entrada del multiplexador óptica correspondiente se puede procesar con un sistema de recepción por ultrasonidos con óptica láser 300 pistas de ensayo con una tasa de repetición de pulsos de 100 Hz para cada una.

50 Comparación: los sistemas de ensayo piezoeléctricos convencionales funcionan, por ejemplo, con 288 (GE Inspection Technologies) o 216 (NDT Systems & Services) pistas de recepción con un ancho de pista de 12,5 mm o 16 mm cada una.

La sensibilidad de un sistema de recepción con interferómetro de Fabry-Pérot antes mencionado para ultrasonidos por láser se puede describir como sigue:

$$SNR = K \cdot S \cdot U \sqrt{\frac{P_{det} \cdot \eta}{\lambda \cdot B}}$$

- SNR = relación señal-ruido  
 S = sensibilidad del interferómetro ( $< 1$ )  
 U = desviación superficial de ultrasonidos (dependiente del emisor)  
 5 Pdet: = potencia luminosa en el detector (dependiente del tamaño de la óptica acumulación de luz, intensidad del láser de iluminación, distancia de la superficie a la óptica de recepción)  
 η = eficiencia cuántica del detector  
 λ = longitud de onda óptica  
 B = ancho de banda de detección  
 10 K = constante

La SNR máxima queda limitada adicionalmente por el ruido del láser de iluminación-recepción. El ruido de la amplitud y el ruido de fase del láser de recepción son en este caso las fuentes de ruido fundamentales. Los interferómetros de Fabry-Pérot con resonador consiguen una SNRI de aproximadamente 26 dB. Los interferómetros de Fabry-Pérot con dos resonadores consiguen una SNR de 45 dB puesto que se puede eliminar el ruido de amplitud mediante una tecnología de medición diferencial.

Los sistemas con dos resonadores se pueden utilizar para la tecnología de ensayo para una sensibilidad a fallos media. Los sistemas con un resonador sólo son adecuados de verdad para medición de espesor de pared.

Además se conoce un sistema de recepción por ultrasonidos con láser que en lugar de un interferómetro óptico utiliza cristal foto-refractivo. El efecto fotorefractivo describe la modificación del índice de refracción inducido por la luz en cristales electro-ópticos que transmiten la luz. Este sistema de recepción es particularmente adecuado para su uso en condiciones de funcionamiento.

Con este tipo de interferómetro se pueden conseguir SNR de aproximadamente 70 dB. Con la utilización del detector diferencial se puede eliminar el ruido de amplitud. Además el ruido de fase puede eliminarse si las longitudes de los trayectos ópticos de la señal y de referencia son iguales.

Este interferómetro se puede construir de forma muy compacta y reacciona con menor sensibilidad a las sacudidas del entorno y no necesita estabilización activa.

Para poder hacer funcionar un sistema de recepción interferométrico en muchos puntos de recepción hace falta un conmutador óptico adecuado.

Los conmutadores ópticos funcionan siguiendo diferentes procedimientos. Un procedimiento electromecánico que funciona con unos espejos de tamaño microscópico, el "micro electromechanical mirrors" (MEM). En este procedimiento se giran los ejes de los espejos microscópicos.

Otro procedimiento funciona con espejos translúcidos. Los espejos pueden reflejar las señales de luz o como paneles no reflectantes pueden dejar pasar las señales de luz.

Otros procedimientos funcionan de forma puramente óptica sobre la base de conectores ópticos o de redes de conmutadores ópticos y otros basándose en la tecnología de cristal líquido o "bubble-jets". Para dicha segunda tecnología en un proceso de conmutación se rellenan cámaras, llamadas burbujas ("bubbles") con un líquido que tienen otro índice de refracción distinto al de las cámaras sin llenar.

Con estas tecnologías se pueden conseguir actualmente tiempos de conmutación en el intervalo de aproximadamente 10 ms - 20 ps.

El deseo de integrar un ensayo no destructivo en una etapa temprana de la producción ofrece un ahorro de costes de gran calado en energía y materiales y una mejora de la producción. El seguimiento de esta tendencia hasta sus últimas consecuencias lógicas en la producción de productos de acero implica el examen de la calidad del producto en la medida de lo posible durante el proceso de producción.

La tecnología de ensayo descrita permite el control de calidad automático y continuo de alta velocidad que en un entorno industrial básico.

Como parte del control de calidad, el ensayo no destructivo fiable para detección de defectos internos y superficiales ofrece antes del postprocesamiento ventajas notables:

la disponibilidad de información fiable sobre la calidad del producto en una etapa de la producción temprana no sólo contribuye a la calidad del producto final sino que constituye además una base para establecer parámetros de producción optimizados que puedan aumentar muy notablemente la productividad y la calidad del postprocesamiento.

Aplicaciones concebibles son:

- Medición de espesores de pared para muchas pistas de medición durante la producción, por ejemplo, durante la producción de tubos.
- Ensayo de detección de defectos por ultrasonidos y medición de espesores de pared de chapas en bruto y de material de difícil ensayo, en particular, que se mueva a gran velocidad o esté caliente, durante la producción, por ejemplo, durante la producción de tochos o piezas forjadas.
- Mejora de las condiciones de conexión para muchas tareas de ensayo y así la reducción de la indicación de fallos no reales, por ejemplo, en el ensayo de chapas en bruto.

En un ensayo sin contacto y prescindiendo del medio de conexión el coste mecánico, por ejemplo, para el ensayo de chapa en bruto se reduce notablemente y así resultan adicionalmente enormes potenciales de ahorro.

Mediante la tecnología de medición y ensayo mejorada se pueden realizar los procesos de producción con límites más estrechos, lo que derivará en una mejora de la calidad y el aumento de la tasa de producción. Por último es uno de los métodos más eficientes para reforzar la sostenibilidad de la producción industrial puesto que así se tiene que producir menos material y con ello se evitan emisiones y se ahorra materia prima y energía. El desarrollo es aprovechable para todos los productores de acero y los productores de metales no ferrosos.

Un dispositivo de emisión para un sistema de ensayo por ultrasonidos para someter a ensayo un objeto de ensayo con al menos una unidad de emisión está diseñado de tal manera que la unidad de emisión tiene previstos medios para generar un arco eléctrico generando el arco eléctrico en la superficie y/o en el objeto de ensayo una oscilación de ultrasonidos.

La generación de ultrasonidos mediante la transmisión del arco eléctrico hasta el objeto de ensayo es más efectiva porque la producción y también el funcionamiento del dispositivo de emisión es más económico que para la tecnología conocida del estado de la técnica de generación de ultrasonidos con láser o la generación de ultrasonidos piezoeléctrica. El fuerte impulso de plasma de la chispa se puede controlar con mucha precisión tanto el instante en el que se produce como su duración se pueden ajustar con exactitud. La precisión del instante de conmutación y la duración de la conmutación se pueden ajustar dentro de límites amplios.

Preferentemente la unidad de emisión presenta una bobina de chispa y una electrónica de control para hacer saltar la chispa de la bobina de chispa en instantes predeterminados. Esta realización de la unidad de emisión de forma ventajosa se puede pasar al lado de baja tensión de modo que el coste de la electrónica será bajo.

Asimismo la unidad de emisión también puede presentar un condensador de chispa y una electrónica de control para cargar y descargar el condensador de chispa en instantes predeterminados. En este caso aunque hay que conmutar alta tensión rápidamente, lo que necesita un coste mayor, la precisión de conmutación se ve aumentada más gracias a este diseño.

Un sistema de recepción de un sistema de ensayo por ultrasonidos para someter a ensayo un objeto de ensayo presenta un láser para iluminar al menos dos áreas de medición en la superficie del objeto de ensayo y al menos dos unidades de recepción para la medición óptica de la oscilación de la superficie del objeto de ensayo. Además está previsto un interferómetro y un sistema de guía de luz de recepción que en diferentes posiciones respectivamente guía la luz desde de diferentes áreas de medición hasta el interferómetro. El interferómetro y el sistema de guía luz de recepción constituyen en cada una de las posiciones una unidad de recepción.

En esta configuración del sistema de recepción se consigue una disposición multicanal asociándose a cada área de medición una parte del sistema de guía de luz de recepción. Esta parte se puede controlar selectivamente de modo que en esta posición del sistema de luz de recepción la luz captada se conduce hasta el interferómetro. El sistema de guía de luz puede constar de componentes ópticos arbitrarios, por ejemplo, conjuntos de espejos.

En un sistema de recepción están previstas al menos dos guías de luz que respectivamente registran un área de medición y un conmutador óptico que puede guiar la luz de cada una de las guías de luz hasta el interferómetro. En función de la posición del conmutador óptico la luz captada por una guía de luz de un área de medición determinada se dirige hasta el interferómetro. Con la conmutación del conmutador óptico se pueden registrar entonces una tras otra las distintas áreas de medición utilizándose en cada caso el mismo interferómetro. Gracias a este tipo de multiplexación se puede registrar una pluralidad de áreas de medición una tras otra.

Como se ha mencionado anteriormente para este conjunto de valores de variables se puede procesar mediante el control correspondiente del multiplexador óptico con un sistema de recepción por ultrasonidos con óptica láser, por ejemplo, 300 guías de ensayo con una tasa de repetición de pulsos de 100 Hz cada una.

En un sistema de recepción un sistema de guía de luz irradia la luz del láser en diferentes posiciones hacia diferentes áreas de medición. Similarmente al lado de detección del sistema de recepción la luz del láser se puede dirigir a través del sistema de guía de luz hasta el cuerpo de ensayo de modo que sólo se irradie el área de medición respectiva con la luz del láser de la que se está registrando la luz también a través del sistema de guía de luz de recepción. Así la potencia del láser se puede aplicar específicamente allá donde se utilice la luz. Así se puede

aplicar una potencia del láser en conjunto menor o que para una potencia del láser dada se aplique más eficazmente. El sistema de guía ante luz puede constar también en este caso de componentes ópticos arbitrarios, por ejemplo, conjuntos de espejos.

5 En un sistema de recepción está previstos al menos dos guías de luz que están asociadas respectivamente a un área de medición y un conmutador óptico guía la luz selectivamente hasta respectivamente una de las guías de luz. Este sistema de iluminación que funciona eficientemente puede dividir mediante procesos de conmutación rápidos la luz láser de tal manera que se puedan procesar las 300 pistas de ensayo mencionadas antes con una tasa de repetición de pulsos de 100 Hz para cada una.

10 Un sistema de emisión y un sistema de recepción se pueden aplicar conjuntamente en un sistema de ensayo por ultrasonidos del tipo descrito anteriormente. Mediante dos sistemas ópticos ajustados el uno al otro que, en particular, permiten mediante un conmutador óptico un sistema multicanal óptico, se pueden examinar mayores anchos de banda para unas velocidades de movimiento grandes.

15 El sistema de ensayo descrito antes se puede hacer funcionar con un procedimiento en el que las ondas de ultrasonidos se generen en un cuerpo de ensayo con un dispositivo de emisión con al menos dos unidades de emisión que funcionan en paralelo mediante arcos eléctricos en el que la señal de ultrasonidos se mide mediante un sistema de recepción con al menos dos unidades de recepción ópticas en el que respectivamente una unidad de emisión y una unidad de recepción se asocian la una a la otra y en el que la unidad de emisión y la unidad de recepción asociadas entre sí se activan con sincronización temporal y en el que se mide una retícula de puntos de medición en el cuerpo de ensayo mediante un control en serie del dispositivo de emisión y de la unidad de recepción.

20

Otras características y ventajas de este procedimiento se mencionan en las descripciones previa y subsiguiente.

A continuación se expondrá la invención más en detalle haciéndose referencia al dibujo adjunto.

Muestran:

25 la figura 1: un ejemplo de realización de un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la invención con un dispositivo de emisión y un sistema de recepción y

las figuras 2-4: representaciones gráficas de señales de medición

La figura 1 muestra un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la invención que tiene tanto un dispositivo de emisión como un sistema de recepción. Además con este sistema de ensayo por ultrasonidos se puede llevar a cabo un procedimiento.

30 La disposición de medición representada en la figura 1 presenta en primer lugar un controlador 2 que efectúa el control y la coordinación de los componentes descritos a continuación del sistema de ensayo por ultrasonidos.

35 En primer lugar se expondrá el funcionamiento de un dispositivo de emisión 4 para un sistema de ensayo por ultrasonidos para someter a ensayo un objeto de ensayo. El dispositivo de emisión 4 presenta una electrónica de emisión 6, una bobina de chispa 8 y un electrodo 10 que constituyen conjuntamente la unidad de emisión. La bobina de chispa 8 constituye junto con el electrodo 10 medios para generar un arco eléctrico 12, generando el arco eléctrico 12 en la superficie y/o en el objeto de ensayo 14 una oscilación de ultrasonidos.

40 El controlador 2 transmite a través de línea 16 una señal de control a la electrónica de emisión 6, lográndose una secuencia temporal precisa, en particular, en relación con el instante de saltar la chispa y la duración del arco eléctrico, para generar el arco eléctrico 12. La electrónica de emisión 6 corta la corriente continua en el lado primario de un transformador dispuesto en la bobina de chispa generándose en el lado secundario debido al campo magnético que se agota una tensión suficiente para generar el arco eléctrico 12.

En lugar de una disposición de bobina de chispa se puede prever también un condensador de chispa teniendo que ser suficiente por sí mismo sin embargo la tensión generada por la electrónica 6 de control para poder cargar el condensador tanto que pueda saltar el arco eléctrico.

45 En la figura 1 se indica con tres planos 18 esquemáticos que una pluralidad de unidades de emisión están dispuestas en paralelo unas junto a otras. No hay que entender el concepto de "plano" como que estén dispuestos geoméricamente en un plano sino que cada "plano" presenta una disposición separada y diferentes disposiciones están dispuestas en paralelo entre sí.

50 En cada plano 18 están previstos una electrónica de emisión 6, una bobina de chispa 8 y un electrodo 10 que controlan a través de una línea 16 el controlador 2. Así las unidades de emisión dispuestas en paralelo entre sí pueden generar arcos eléctrico 12 en serie para inducir impulsos de ultrasonidos en diferentes puntos de la superficie del cuerpo de ensayo 14.

El dispositivo de emisión puede constar de una o varias unidades de emisión en función de lo que se requiera al cuerpo de ensayo a medir.

5 La figura 1 muestra también un sistema de recepción para un sistema de ensayo por ultrasonidos. Un láser 20 genera un haz láser que se introduce mediante un conmutador óptico 22 en una guía de luz 24 o en una guía de ondas de luz (LWL). La guía de luz 24 transmite en un primer plano 18 mediante una óptica 26 y 28 adecuada la luz hasta un área de medición 30.

10 La luz reflejada por el área de medición 30 se extrae mediante un divisor de haz 32 del trayecto de la luz y mediante una óptica 34 adecuada se introduce en una guía de luz 36. Un conmutador óptico 38 conecta entonces la luz de la guía de luz 36 saliendo ésta de ella y llegando a un interferómetro 40. Un detector 42 genera una señal de salida que se transmite a una unidad de evaluación 44. En ella de la forma habitual tiene lugar una evaluación de la señal con una transformación corriente alterna-continua y un procesamiento de la señal en tiempo real cuyo resultado se transmite a un ordenador 46.

15 Si se produce una oscilación superficial, por ejemplo, debida a una onda de ultrasonido que se propaga por el cuerpo de ensayo se produce un desplazamiento Doppler de la luz reflejada, en particular, según la dirección normal. Estas oscilaciones de luz moduladas en fase o en frecuencia se transforman entonces interferométricamente en una señal modulada en amplitud que se puede medir con un fotodetector.

20 La estructura expuesta antes está prevista en una pluralidad de planos 16 en los que respectivamente está dispuesta una unidad de recepción antes descrita para poder registrar una pluralidad de áreas de medición 30. El controlador 2 controla entonces a través de una línea 48 ambos conmutadores ópticos 22 y 38 de modo que cada uno adopte diferentes posiciones. Así se introduce simultáneamente la luz del láser en la guía de luz 24 y la luz reflejada captada por la guía de luz 36 se guía hasta el interferómetro 40. Ambas guías de luz 22 y 38 están entonces simultáneamente "activas". Mediante una conmutación activa alternante de los trayectos de luz respectivos y así de las unidades de recepción dispuestas una junto a otra se consigue entonces una multiplexación del sistema de recepción.

25 La figura 1 muestra además también la interacción del dispositivo de emisión y el sistema de recepción del sistema de ensayo por ultrasonidos.

30 El controlador 2 asume la sincronización del dispositivo de emisión y del sistema de recepción. En un instante de tiempo predeterminado se controla en uno de los planos 18, la electrónica de emisión 6 para generar mediante la bobina de chispa 8 y el electrodo 10 un arco eléctrico 12 con un instante de comienzo y de finalización definidos. El arco eléctrico 12 induce un impulso de ultrasonidos en el cuerpo de prueba 14.

35 Preferentemente en el instante de la generación del arco eléctrico 12, en cualquier caso con una diferencia temporal definida con respecto a aquella, el sistema de recepción y en particular los conmutadores ópticos 22 y 38 se controlan de tal manera que el sistema de recepción del mismo plano 18 esté activo y que mida una oscilación superficial debida a la señal de ultrasonidos. Los componentes del sistema de recepción en el plano 18 respectivo se dejan conmutados (activos) hasta que transcurra un tiempo suficientemente largo para la medición del tiempo de ida y vuelta. Esta duración depende de los parámetros del material y del espesor del cuerpo de ensayo y es de un valor de, por ejemplo, aproximadamente de 30 a 50  $\mu\text{m}$ .

40 Así se pueden activar uno tras otro tanto el dispositivo de emisión como el sistema de recepción en distintos planos. Mediante la secuencia temporal de la activación de los planos se pueden registrar áreas de medición adyacentes. Para una retícula de áreas de medición se van registrando así una tras otra. Si se mueve el cuerpo de ensayo transversalmente a la disposición de los planos o se mueven los sistemas de emisión o recepción por el cuerpo a examinar y el ancho de la disposición de los planos se corresponde con la amplitud del movimiento del sistema de emisión y del sistema de recepción, es decir, prácticamente con el ancho del cuerpo de ensayo entonces se pueden comprobar sucesivamente cuerpos de ensayo en una retícula fina de áreas de medición.

45 La figura 1 muestra además que entre el arco eléctrico 12 y el área de medición 30 está previsto un elemento de apantallamiento 50 que apantalla la luz intensa que se produce al generarse el arco eléctrico 12 frente al área de medición 30. Además la relación de señal a ruido se puede mejorar mediante el uso de filtros de banda ópticos adecuados que preferentemente dejan pasar solo el intervalo de longitud de onda de la luz del láser. Por ejemplo un filtro óptico de este tipo puede estar dispuesto entre el divisor del haz 32 y la lente 34.

50 Las figuras 2 a 4 muestran ejemplos de señales que se registran en la medición del tiempo de ida y vuelta. En cada caso en la parte superior se representa la señal de salida del interferómetro mientras que la curva inferior muestra la curva de picos (por ejemplo la señal desmodulada en cuadratura o la evolución de la curva de medición superior tras aplicar un filtro o paso bajo). La inscripción del eje x del diagrama representa los puntos de un reconocimiento de la señal que se corresponden con una unidad de tiempo arbitraria. El eje y representa respectivamente la intensidad de la evolución de la curva en unidades arbitrarias.

55 La figura 2 muestra una señal idealizada, sin ruido y sin distorsionar. A intervalos de tiempo regulares se puede observar una oscilación cuya amplitud se va reduciendo entre apariciones. Estas oscilaciones se generan mediante



la señal de ultrasonidos que se ve reflejada múltiplemente en la superficie del cuerpo de ensayo opuesta a la superficie observada. Debido a este recorrido múltiple en el cuerpo de ensayo la amplitud de la señal va disminuyendo. La evolución de la señal representada en la figura no se ve afectada puesto que sólo aparecen señales de oscilación con regularidad.

- 5 A partir de las distancias entre los máximos en la curva inferior para una velocidad del sonido conocida en el cuerpo de ensayo se puede calcular el espesor del cuerpo de ensayo.

- 10 La figura 3 muestra una señal idealizada, sin ruido pero ahora distorsionada. A intervalos de tiempo regulares primero se puede observar una oscilación como en la figura 2 cuya amplitud entre apariciones va disminuyendo. Entre cada dos ciclos de oscilación se pueden observar respectivamente señales menores que indican un tiempo de ida y vuelta más corto de la señal de ultrasonidos en el cuerpo de prueba. Una señal adicional de este tipo puede deberse a una alteración dentro del cuerpo de ensayo que produce una reflexión de la onda de ultrasonidos en el área entre ambas superficies. Así esta señal adicional o su frecuencia y amplitud de cada aparición se puede tomar como una medida de la calidad del cuerpo de ensayo.

- 15 La figura 4 muestra finalmente la señal representada en la figura 3 con un ruido superpuesto de modo que estas curvas de medición representan un caso realista. Se puede observar que la determinación de los máximos se ve dificultada por el ruido. Por ello en la elección del interferómetro hay que tener en cuenta siempre la relación de señal a ruido a conseguir con el mismo.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de ensayo por ultrasonidos para someter a ensayo un objeto de ensayo con al menos una unidad de emisión (6, 8, 10) y una pluralidad de unidades de recepción (40):

- 5           - midiendo cada unidad de recepción (40) ópticamente la oscilación de la superficie del objeto de ensayo,  
- estando previsto un láser de iluminación (20) cuya luz ilumina la superficie en un área de medición (30),  
- recibiendo la unidad de recepción (40) luz que incide desde el área de medición (30) en la unidad de recepción (40),
- 10           - estando respectivamente asociada a una unidad de recepción (40) un área de medición (30) de modo que la unidad de recepción (40) recibe luz que incide en la unidad de recepción (40) desde el área de medición (30),  
- irradiando un sistema de guía de luz (22, 24) la luz del láser (20) en una primera posición del sistema de guía de luz (22, 24) hacia una primera área de medición (30) y en una segunda posición del sistema de guía de luz (22, 24) hacia una segunda área de medición (30) y  
- dividiendo un sistema de guía de luz (22, 24) la luz del láser (20) e irradiándola hacia una área de medición (30) y hacia otra área de medición (30),
- 15           **caracterizado porque**  
- está prevista una pluralidad de unidades de emisión (6, 8, 10) y  
- **porque** cada unidad de emisión (6, 8, 10) genera un arco eléctrico(12) generando el arco (12) eléctrico en la superficie y/o en el objeto de ensayo una oscilación de ultrasonidos.

2. Sistema de ensayo por ultrasonidos según la reivindicación 1,

- 20           **caracterizado porque**  
una unidad de emisión presenta una bobina de chispa (8) y una electrónica de control (6) para hacer saltar la chispa de la bobina de chispa (8) en instantes determinados.

3. Sistema de ensayo por ultrasonidos según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** la unidad de recepción presenta un interferómetro (40) o un sistema de guía de luz (22, 24) que transmite la luz que incide en la unidad de recepción a un interferómetro (40).

- 25

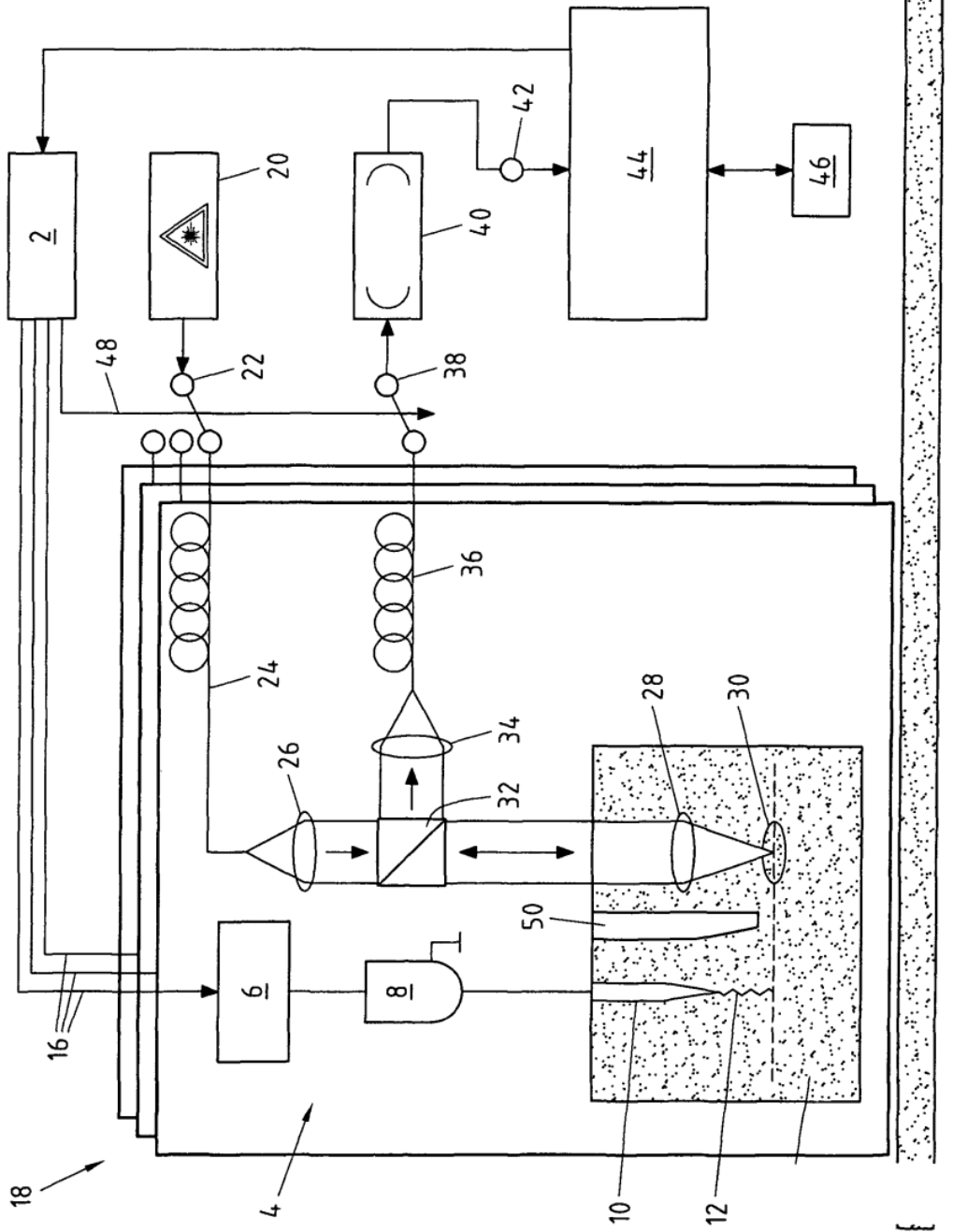


Fig.1

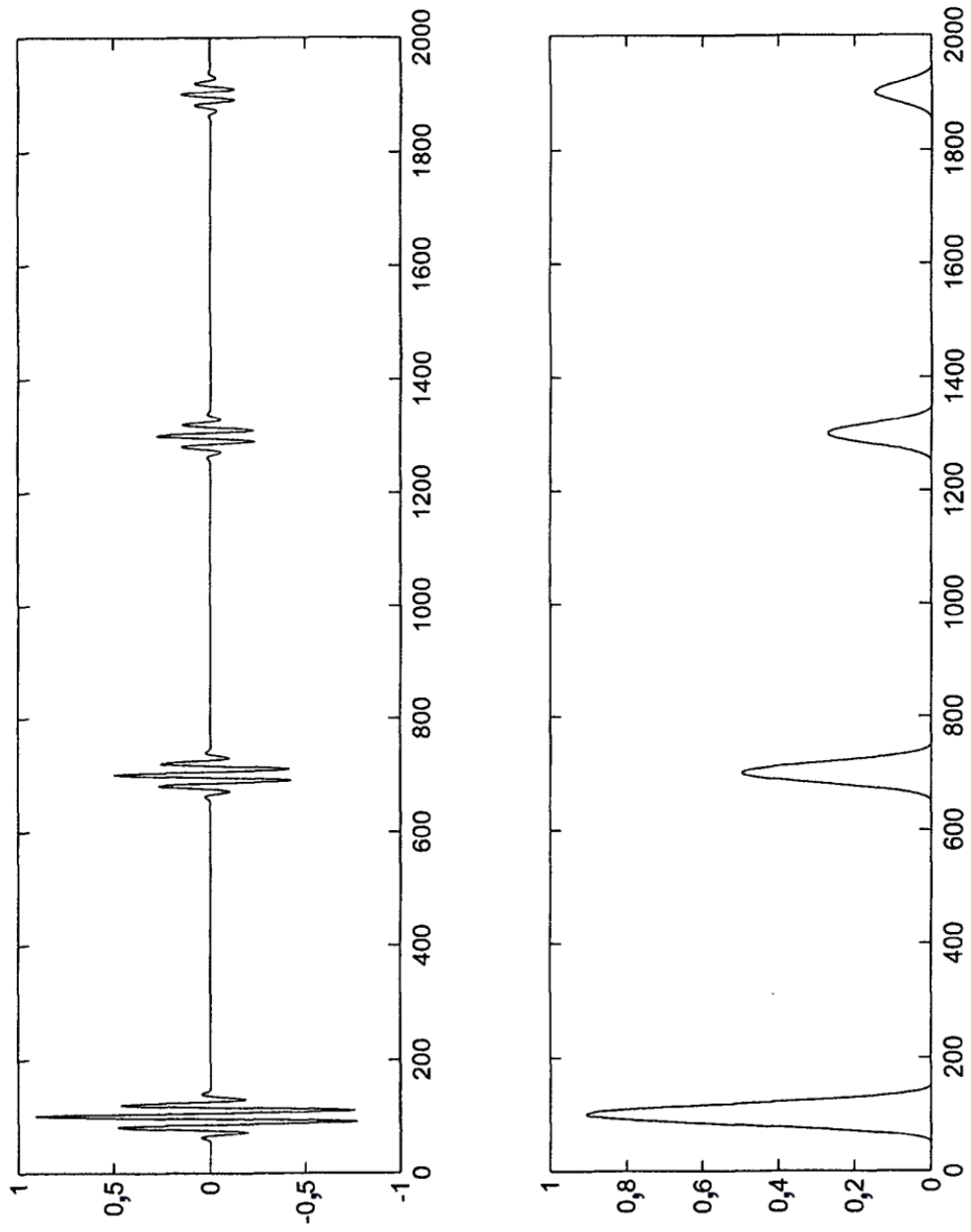


Fig.2

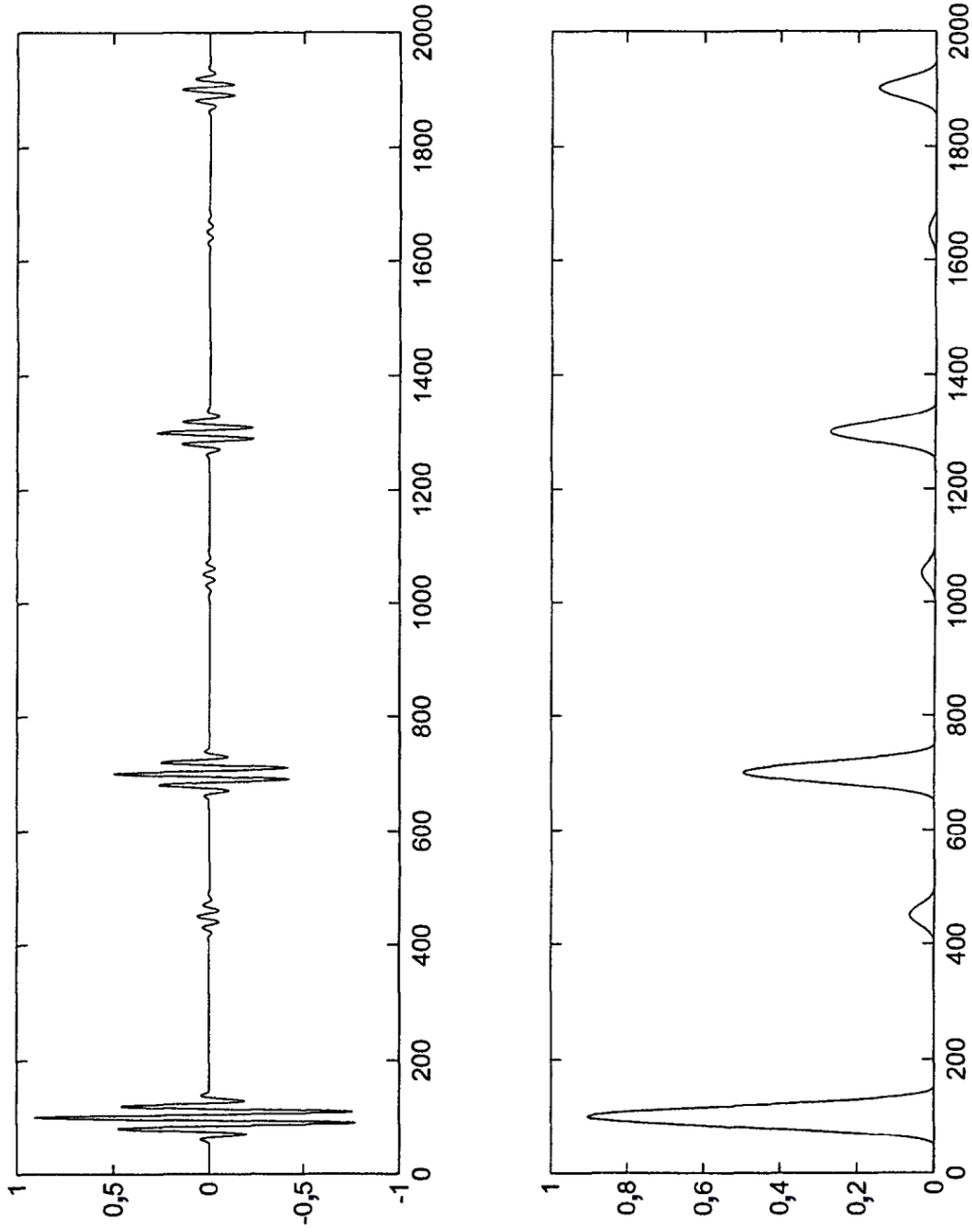


Fig.3

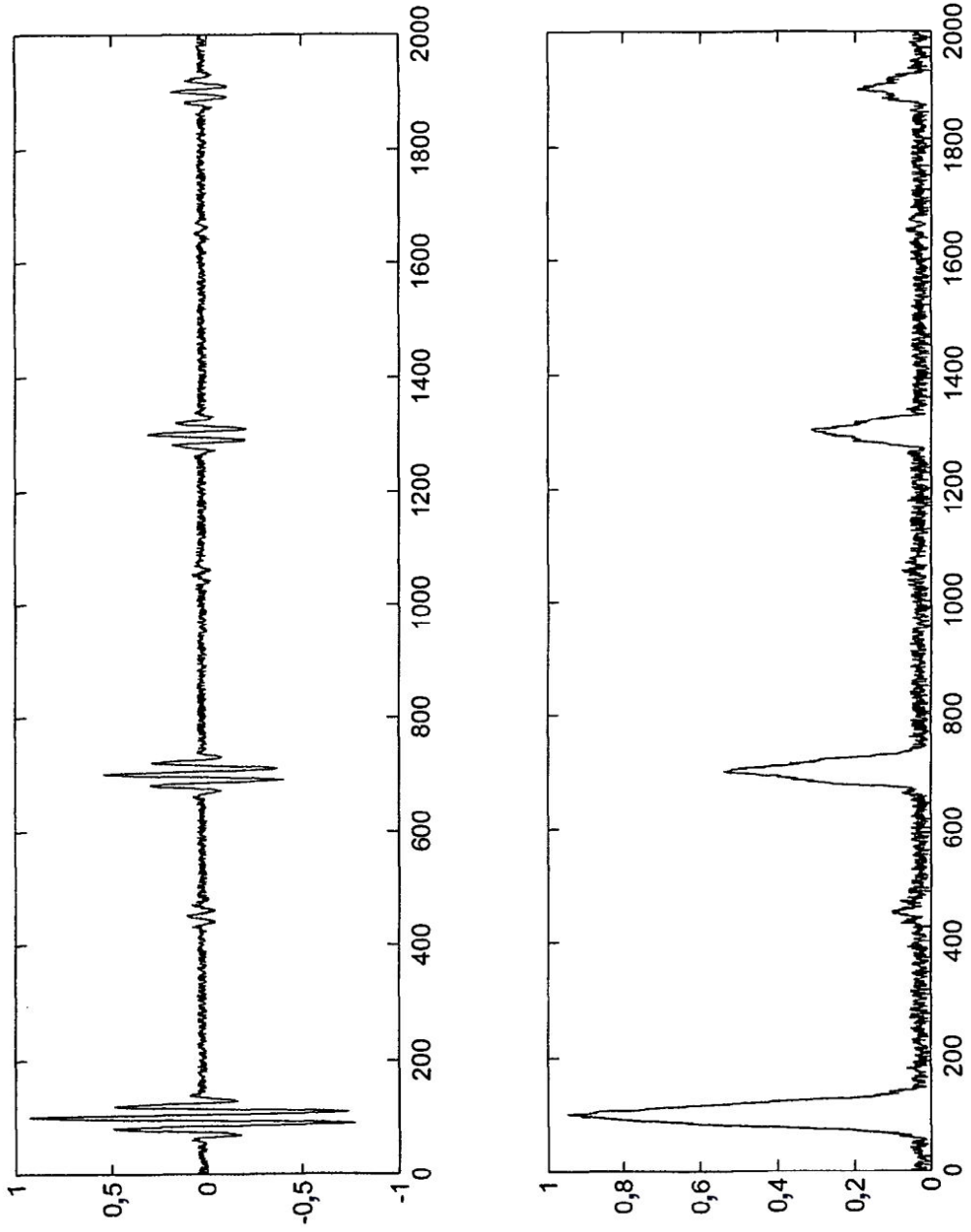


Fig.4