

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 492**

51 Int. Cl.:
G01L 5/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05771116 .0**
96 Fecha de presentación: **05.08.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1776571**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **25.04.2007**

54 Título: **PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE TENSIÓN PREVIA DE
PIEZAS DE UNIÓN MEDIANTE EXCITACIÓN POR ULTRASONIDO.**

30 Prioridad:
09.08.2004 DE 102004038638

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.11.2011

73 Titular/es:
**INTELLIFAST GMBH
AM NEUEN RHEINHAFEN 10
67346 SPEYER, DE**

72 Inventor/es:
**ADLHOCH, Gustav;
GRILL, Wolfgang y
KOCIORSKI, Reinhold**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 368 492 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).

DESCRIPCION

Procedimiento para la determinación de la fuerza de tensión previa de piezas de unión mediante excitación por ultrasonido

Aspecto técnico

5 La fuerza de tensión previa se comprueba en las piezas de unión mecánicas tales como por ejemplo tornillos o bulones, por medio de procedimientos de medición por ultrasonido. Para ello se mide el tiempo de recorrido de la señal de ondas ultrasónicas que se acoplan en la pieza de unión respectiva con una o varias frecuencias de trabajo independientes, a menudo predefinidas. En el curso del avance de las ciencias de conocimiento de materiales se han introducido en los últimos años una multitud de materiales compuestos y graduados así como de aleaciones especiales de las cuales se pueden fabricar piezas de unión tales como bulones o tornillos, cuyas propiedades del material plantean para un procedimiento de medición para la determinación de la fuerza de tensión previa unos requisitos de superior nivel.

Estado de la técnica

15 En los procedimientos de medición por ultrasonido conocidos hasta la fecha se mide el tiempo de recorrido de la señal de ondas ultrasónicas mediante una o varias frecuencias de trabajo independientes, a menudo predefinidas, para determinar por ejemplo la fuerza de tensión previa de un tornillo empleado como pieza de unión.

20 La aplicación de los procedimientos de medición por ultrasonido conocidos para los materiales compuestos y graduados que han sido introducidos en el curso de los últimos años, así como de las aleaciones especiales procedentes del progreso en la ciencia de conocimiento de materiales, falla a menudo porque al estar sometidos a una fuerza de tensión previa superior o en el caso de deformación de tornillos de cierta longitud, el espectro de las frecuencias ultrasónicas que atraviesan el material del elemento de unión dentro del campo de cargas deseado se altera considerablemente y a menudo se produce el fallo de bandas de frecuencia completas que dejan de estar disponibles para la medición. Esto da lugar a que estos procedimientos de medición que se basan en unas frecuencias predeterminadas fijas y/o en unos campos de frecuencias estrechos, suministren unos resultados inservibles al desaparecer uno o varios campos de frecuencias.

30 En los procedimientos conocidos de medición de la fuerza de tensión mediante el procedimiento del eco del ultrasonido se emplean por ejemplo procedimientos de frecuencia múltiples con dos frecuencias. El inconveniente de estos es que debido a las propiedades del material de un tornillo o de un bulón se producen dentro del campo del trayecto de recorrido del sonido unos reflejos en los límites de los granos o de otras estructuras de material, que pueden dar lugar a interferencias destructivas para las frecuencias de trabajo empleadas. Al efectuarse la alteración de los tornillos o bulones debido a la fuerza de tensión que actúa sobre ellos pueden modificarse además las propiedades del material de tal modo que las señales que todavía se pueden observar cuando no está presente ninguna fuerza de tensión, no se puedan observar o no se puedan observar suficientemente a las frecuencias de trabajo elegidas en el caso de una fuerza de tensión aplicada así como en el caso de una fuerza de tensión variable.

35 De este modo, al aumentar la fuerza de tensión en la pieza de unión aumenta la resolución durante la medición del tiempo de recorrido o incluso llega a ser imposible medir el tiempo de recorrido del eco ultrasónico que se ha acoplado.

40 En los procedimientos conocidos que están basados en la excitación con pausas cortas o flancos (señales de forma escalonada), se utiliza una señal de banda ancha correspondiente a la gran anchura de banda que aparece en el caso de señales de corta duración. Por esto se puede utilizar solo de modo poco ventajoso debido a la limitación de la tensión en cuanto a las amplitudes de señal o a la potencia de la señal al generarlas o debido a limitaciones en la detección de pequeñas señales después de la excitación en la misma línea. El motivo de ello está en que al aumentar la potencia de transmisión mediante la amplificación necesaria para ello esto entraña también un aumento de nivel de ruidos que es perjudicial para la detección con una relación señal-ruido óptima. Además, al ser más altas las tensiones de la señal se pueden utilizar solamente conmutadores o amplificadores de entrada menos ventajosos. Igualmente hay que tener en cuenta que para los amplificadores destinados a aumentar la potencia de transmisión es necesario contar con unos costes relativamente altos para poder facilitar con esos componentes unas tensiones elevadas o potencias elevadas.

50 Por el documento DE 42 24 035 A1 así como el DE 42 32 254 A1 se conoce un procedimiento de ensayo por ultrasonido. De acuerdo con este procedimiento, está previsto para la activación de un convertidor de ultrasonido dispuesto en un tramo de transmisión una señal de chirrido modulada en frecuencia $x(t)$, cuya frecuencia momentánea f no se modula de modo lineal en función del tiempo. La variación de la frecuencia momentánea f a lo largo del tiempo $f(t)$ de la señal de chirrido modulada en frecuencia $x(t)$ a la función de transmisión $H(f)$ está adaptada al trayecto de transmisión predeterminado.

55 Las variaciones en el tiempo de la frecuencia momentánea f de la señal de chirrido $x(t)$ modulada en frecuencia están correlacionadas de tal modo con el valor de la función de transmisión $H(f)$ del trayecto de transmisión correspondiente a esta frecuencia f , que para frecuencias f a las que le corresponda un valor bajo de la función de transmisión $H(f)$, la velocidad de la variación de la frecuencia es menor que en el caso de frecuencias f a las que

corresponda un valor alto de la función de transmisión $H(f)$. Para la activación del convertidor de ultrasonido está previsto de acuerdo con las soluciones según los documentos DE 42 24 035 A1 Y DE 42 32 254 A1 una señal de chirrido $x'(t)$ de forma rectangular. Se emplea un generador de señales para la activación del convertidor de sonido con una señal de chirrido $x(t)$ modulada en frecuencia, cuya frecuencia momentánea f no depende del tiempo según una función lineal, así como un filtro de compresión de impulsos que sirve para convertir la señal de chirrido $y(t)$ recibida por este o por otro convertidor de ultrasonido, en un impulso de recepción $z(t)$ de corta duración.

Exposición de la invención

Para poder mantener reducidas las ventajas de una excitación pulsante, es decir su carácter de banda ancha, así como la amplitud (tensión) durante la excitación eléctrica del componente de unión, se propone conforme a la invención excitar el componente de unión, tal como por ejemplo un tornillo o un bulón, en banda ancha extendida en el tiempo, pero adaptable en longitud para poder efectuar la observación de los ecos. Si bien es conocido el hecho de efectuar en banda ancha una excitación pulsante, sin embargo no se han reconocido hasta la fecha sus ventajas ya que con impulsos cortos o señales escalonadas no se puede aprovechar de forma óptima la potencia de salida (es decir la potencia del amplificador de salida), ya que el carácter de banda ancha se genera a lo largo de unos tramos de señal extremadamente cortos (impulsos de corta relación, escalones pequeños).

Mediante un generador digital programable de una función arbitraria (arbitrary function generator), que se puede manipular en cuanto a la forma de la señal, se elige una excitación limitada en el tiempo con una anchura de impulsos adecuada predeterminada, con una variación determinada que se puede variar a lo largo del tiempo (tal como por ejemplo ruidos de banda ancha). Se puede elegir por ejemplo un ruido de banda ancha que esté estructurado de tal modo que teniendo en cuenta la anchura de banda utilizable de los transductores empleados, estén contenidos en él todas las frecuencias con aproximadamente la misma amplitud. En este punto se remite a la publicación "An Ultrasonic Pseudorandom Signal-Correlation System (un sistema ultrasónico de correlación de señales pseudoaleatorias), Charles M. Elias en IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, vol. SU-27, No. 1, Enero 1980, páginas 1 a 6. Esto significa que con el impulso de excitación ultrasónico se excita un espectro de frecuencias ultrasónicas máximas excitables en las cuales se excitan tantas frecuencias como es posible debido a la anchura de impulsos y a la frecuencia límite superior elegida. Esto puede efectuarse también mediante impulsos de otra estructura que el ruido de banda ancha antes citado, tal como por ejemplo se conoce por "Radar Design Principles" signal processing and the environment, (principios de diseño de radar, procesamiento de señales y el entorno), Fred E. Nathanson, J. Patrick Reilly y Marvin N. Cohen, McGraw-Hill, Inc., New York, St. Louis, San Francisco, 1991, 1969, ISBN 0-07-046052-3, capítulo 8, página 351 y siguientes. Debido a la circunstancia de que se emplea una señal extendida en el tiempo resulta posible de forma ventajosa conseguir una aportación de potencia relativamente alta en el componente de unión, con una amplitud de señal relativamente reducida. Al aplicar el procedimiento compuesto conforme a la invención se emplean generalmente en la práctica tensiones entre 2V y 5V, mientras que en los procedimientos conocidos los valores de tensión están típicamente en 100V y se requiere una potencia 400 veces superior. Debido al carácter de banda ancha, el procedimiento propuesto conforme a la invención presenta además estabilidad frente a las variaciones de sus propiedades de material resultantes de la tensión previa del componente de unión, con vistas a una amortiguación o al fallo completo de determinados campos de frecuencia, ya que el espectro de frecuencias ultrasónicas excita el mayor número posible de gamas de frecuencia.

En el ejemplo antes citado, las señales ultrasónicas están elegidas de tal modo que las amplitudes o la potencia transcurra integrada en todas las gamas de frecuencia, compensada lo más posible a lo largo de la anchura del impulso. En el caso del ruido de banda ancha la posición de fase varía estadísticamente o se altera para otras señales de una forma continua predeterminada. Debido a la anchura de banda predeterminada o elegida, mediante la cual está limitado el tiempo de aumento y el tiempo de disminución del impulso, se genera así por ejemplo un impulso de banda ancha con señal de ruido, con una distribución de potencia pulsante sensiblemente de forma rectangular en el tiempo (referida a la gama del tiempo).

Dado que las señales acopladas al componente de unión tal como por ejemplo un tornillo o un bulón se generan con una posición de fase fija pero variable a lo largo de las gamas de frecuencia, las informaciones de fase están disponibles junto con las informaciones de amplitud en función de la frecuencia, de modo que estas se pueden aprovechar para la evaluación de las señales de eco detectadas. En este lugar se remite a la bibliografía "Radar Design Principles" signal processing and the environment, (principios de diseño de radar, procesamiento de señales y el entorno), Fred E. Nathanson, J. Patrick Reilly y Marvin N. Cohen, McGraw-Hill, Inc., New York, St. Louis, San Francisco, 1991, 1969, ISBN 0-07-046052-3, allí en el capítulo 12, páginas 533 a 582.

Las señales de eco se utilizan para la detección de la compresión de impulsos. A diferencia de los procedimientos análogos, la compresión de impulsos tiene lugar aquí después de la digitalización del procedimiento mediante un software adecuado basado en la informática.

La ventaja de realizar la excitación por ejemplo con una señal de ruido pseudoaleatoria o con señales con una posición de fase estadística para la medición de la fuerza de tensión previa en componentes de unión tales como por ejemplo tornillos, consiste en que debido a las dispersiones condicionadas en la fabricación de los tornillos y a variaciones imprevisibles de la frecuencia y de la marcha de fase durante el proceso de apriete, los tornillos

provocan unas variaciones de tiempo de recorrido no previsibles y unos reflejos de las señales ultrasónicas que dan lugar unas interferencias de construcción y reconstrucción nocivas imprevisibles que perturban la medición. En el caso de perturbaciones imprevisibles se emplea una señal de entrada con distribución estadística (Pseudo-Random Noise) o una señal de entrada pseudo estadística para reducir al mínimo tales interferencias resultantes. La ventaja que se consigue de este modo para la medición y para la seguridad es especialmente significativa en uniones atornilladas críticas relevantes para la seguridad, tal como por ejemplo en aeronáutica.

Además de esto resulta especialmente ventajosa como señal de entrada el chirrido lineal, ya que muchas de las perturbaciones e interferencias observadas en componentes de unión tales como por ejemplo tornillos, dan lugar con este procedimiento todavía a unos n resultados ventajosos.

10 **Dibujo**

Mediante el dibujo se describe con mayor detalle el procedimiento propuesto conforme a la invención.

La figura muestra:

Figura 1 una variante de realización de un sistema de medición por ultrasonido con un circulador, un conmutador, o un reflectómetro o una conexión eléctrica.

15 **Variantes de realización**

De la representación según la figura 1 se puede deducir de forma esquemática una variante de realización de un sistema de medición por ultrasonido para componentes de medición tales como por ejemplo tornillos. Un componente designado con el signo de referencia Z puede representarse bien como un circulador, como un conmutador, como un reflectómetro o como una conexión eléctrica.

Se entiende en lo sucesivo por "Pseudo-Random Noise" (prn) una señal que cumpla una o varias comprobaciones de distribución estadística. Aunque a la señal le parece faltar una muestra definida, sin embargo una señal de ruido pseudoaleatoria contiene una frecuencia de impulsos que se repiten, si bien solamente después de un tiempo considerable o de una secuencia de impulsos bastante larga.

El componente de unión 1 realizado como tornillo según la representación de la figura 1 comprende una cabeza de tornillo 2 así como un vástago 3. Debajo del vástago 3 transcurre una parte roscada 4. Sobre la cabeza del tornillo 2 se encuentra un transductor 5 para un impulso ultrasónico 7 que está realizado como impulso de chirrido. Los impulsos de chirrido son impulsos tales como por ejemplo impulsos de chirrido lineales que presentan frecuencias cuyo centro de gravedad aumenta o disminuye linealmente en función de la frecuencia, según la distancia desde el comienzo del impulso. Con el procedimiento de chirrido se puede conseguir durante la detección una compresión en el tiempo, alcanzándose así una anchura de impulsos mínima para el transductor. Igualmente cabe imaginar una generación de impulsos a base de espectros de señales de frecuencia limitada, mediante la superposición de un gran número de ondas parciales de forma senoidal o cosenoidal alrededor de la fase 0° ó 180° (π) en el caso de la función cosenoidal. En el caso más general, los componentes de la señal se pueden representar por una función e de la forma $e^{(j\omega t)}$. Cuanto mayor sea el número de frecuencias que participen en la excitación tanto más intenso es el máximo o la característica del máximo que se puede observar después de la compresión. La compresión tiene lugar después de la digitalización de la señal recibida, por medio del ordenador y programas de cálculo. Para ello se realiza primeramente una transformación de Fourier de la señal recibida. A continuación se desplaza la fase de los componentes espectrales de tal modo que en una representación mediante funciones cosenoidales se obtenga la posición de fase 0 para un momento fijado con relación a un momento de excitación, en ausencia de la fuerza de tensión previa. De este modo, al efectuar la transformación inversa, en este momento se produce un impulso comprimido de una amplitud máxima destacada. La posición de la señal máxima en cuanto a magnitud se determina mediante la adaptación de una semionda en el entorno de este máximo. El desplazamiento de los componentes espectrales y la forma de la función de adaptación se eligen iguales para todas las fuerzas de tensión previa para el respectivo componente de unión 1. Las diferencias de tiempo de recorrido que se utilizan para la determinación de la fuerza de tensión previa vienen dadas por la formación de la diferencia entre la medición del resultado de la medición sin fuerza de tensión previa. La relación entre la fuerza de tensión previa y las diferencias de tiempo de recorrido observadas para el respectivo componente de unión 1 o para un lote de este se determina de forma empírica mediante máquinas de tracción que permiten aplicar una fuerza de tensión exacta. Con la relación determinada de este modo se evalúa la respectiva medición individual y se visualiza la fuerza de tensión.

El transductor 5 según la figura 1 comprende un electrodo 5.1 al cual está conectada la línea de señales, así como una capa de protección 5.2 situada debajo. Debajo de la capa de protección 5.2 y la cara superior de la cabeza de tornillo 2 se encuentra una delgada película piezoeléctrica 5.3. Mediante la referencia 6 se puede ver el recorrido del impulso ultrasónico 7 acoplado al transductor 5 a través del elemento de unión 1 realizado en forma de tornillo. El transductor 5 del impulso ultrasónico 7 representa al mismo tiempo el punto de desacoplamiento de un eco del impulso ultrasónico 8. El tiempo que transcurre entre el acoplamiento de un impulso ultrasónico 7 en el transductor 5 al componente de unión 1 realizado en forma de tornillo y el desacoplamiento del eco del impulso ultrasónico 8, también en el transductor 5, viene indicado por t.

En la línea de transmisión de señales entre el componente de unión 1 realizado como tornillo está conectado el componente designado por Z, donde se puede tratar de un circulador, un conmutador, un reflectómetro o una conexión eléctrica. En Z está conectado un amplificador V y a continuación del cual va conectado un registrador de transitorios TR. Este está unido a un ordenador PC que a su vez activa el generador de funciones aleatorias AFG. El generador de funciones aleatorias AFG está a su vez unido con Z. Un generador de velocidades de repetición AFG controla el registrador de transitorios TR y el generador de funciones aleatorias AFG. Un generador de ritmo TG controla al generador de funciones aleatorias AFG, al registrador de transitorios TR y al generador de velocidades de repetición RG. El PC está unido por medio de líneas de datos con el generador de funciones aleatorias AFG y el registrador de transitorios TR.

El impulso ultrasónico 7 representado en la figura 1 se genera sirviéndose del generador de funciones arbitrarias ("arbitrary function generator") AFG. El ordenador PC se ocupa de los ajustes y de la determinación de datos y su transformación. El impulso ultrasónico 7 representa una excitación pulsante limitada en el tiempo con una anchura de impulsos que se puede ajustar adecuadamente y un ruido "blanco" determinado de banda ancha. En el ruido "blanco", el valor medio de la amplitud a lo largo del tiempo se mantiene constante visto en toda la banda de frecuencias.

En el impulso ultrasónico 7 están contenidas todas las frecuencias con aproximadamente la misma amplitud, teniendo en cuenta la anchura de banda útil de los transductores 5 empleados. Las posiciones de fase en cambio están elegidas de tal modo que las amplitudes o la potencia transcurran lo más compensadas posible en todas las gamas de frecuencia a lo largo de la anchura de impulsos. Por medio de la anchura de banda predeterminada o elegida, que en última instancia limita el tiempo de aumento y el tiempo de caída del impulso de banda ancha, se genera una distribución de potencia pulsada con una señal en forma de ruido, con un transcurso aproximadamente rectangular en el tiempo.

Dado que los impulsos ultrasónicos 7 que se han de acoplar en el componente de unión 1 se generan con una fase determinada que varía a lo largo de los campos de frecuencia pero fija, todas las informaciones de fase (junto con las amplitudes de señal) están disponibles en función de las frecuencias del espectro de frecuencias ultrasónicas para poder ser utilizados para la evaluación de los impulsos de eco ultrasónico 8 digitalizados, detectados.

Al detectar el eco del impulso de ultrasonido 8 una vez efectuada la excitación pulsante con un impulso ultrasónico 7 en la forma antes descrita, se transmiten las señales a través de un registrador de transitorios TR digitalizados con resolución de tiempo y se hacen accesibles a un ordenador que esté conectado, tal como por ejemplo un PC o un Laptop. Para el registrador de transitorios TR se puede emplear de forma ventajosa un registrador de transitorios TR que trabaje en modo digital. En la zona limitada en el tiempo y por lo tanto seleccionable, del eco 8 del impulso ultrasónico que se trata de observar se comprimen las señales dotadas de un ruido considerable o intenso mediante procedimientos de Fourier tal como por ejemplo una transformación de Fourier rápida (FFT), aprovechando las posiciones de fase conocidas después de la detección y de la digitalización.

Durante la detección tiene lugar la transformación mediante un procedimiento de Fourier tal como por ejemplo el FFT. La compresión tiene lugar después de la digitalización de la señal recibida, por medio del ordenador y de programas de cálculo. Para ello se somete la señal recibida primeramente a una transformación de Fourier. A continuación se desplaza la fase de los componentes espectrales de tal modo que al efectuar una representación por medio de funciones cosenoidales se obtenga la posición de fase 0 para una fuerza de tensión previa determinada con relación al momento de excitación, en ausencia de la fuerza de tensión previa. Por este motivo se produce después de la transformación inversa en este momento un impulso comprimido con una amplitud máxima destacada. La posición de la señal máxima en cuanto a magnitud se determina mediante la adaptación de una semionda en el entorno de este máximo. El desplazamiento de los componentes espectrales y la forma de la función de adaptación se eligen iguales para el respectivo componente de unión 1 para todas las fuerzas de tensión previa. Las diferencias de tiempo de recorrido que se utilizan para la determinación de la fuerza de tensión previa vienen dadas por la formación de la diferencia entre los resultados de la medición de la fuerza de tensión. La relación entre la fuerza de tensión previa y las diferencias de tiempo recorrido observadas del respectivo componente de unión 1 o de un lote o de una carga de este se determina empíricamente mediante máquinas de ensayo de tracción que permiten la aplicación exacta de una fuerza de tensión. Con la relación así determinada se evalúa la respectiva medición individual y se visualiza la fuerza de tensión.

El procedimiento conforme a la invención propuesto aprovecha todos los componentes de frecuencia de las señales que se puedan transportar y detectar sirviéndose de los transductores 5 utilizados, a lo largo del trayecto ultrasónico, es decir el trayecto de recorrido 6 del impulso ultrasónico 7, a la amplitud máxima posible en cada caso en todas las gamas de frecuencia utilizadas.

A diferencia de los procedimientos de medición por ultrasonidos ya conocidos destinados a medir la reflexión, en los que se emplean señales persistentes a lo largo del tiempo, se pueden recortar y sacar fuera de los datos de medición, es decir seleccionar dentro de la gama de tiempo, las magnitudes de diferentes ecos de impulsos ultrasónicos 8, por ejemplo transversales, longitudinal primero, segundo, enésimo eco antes de la ulterior transformación, es decir antes de la compresión, gracias a la excitación utilizada limitada en el tiempo (pulsante) conforme al procedimiento propuesto por la invención. En los procedimientos de medición ultrasónica conocidos

destinados a medir la reflexión en los cuales se emplean señales persistentes en el tiempo, se trata de unas señales de una frecuencia baja con espectrómetros electrónicos que comprenden la medición de la fase y en consecuencia requieren un tiempo de medición manifiestamente largo.

5 En el caso de tiempos cortos t de recorrido de la señal ultrasónica tal como surgen por ejemplo en el caso de componentes de unión 1 realizados como tornillos de poca longitud y/o en el caso de transductores 5 que trabajen especialmente en banda ancha, se puede distribuir la anchura de banda utilizable entre varias excitaciones consecutivas en forma de impulsos. La distribución de la anchura de banda a utilizar entre varias excitaciones en forma de impulsos consecutivos puede efectuarse estadísticamente de forma lineal o de algún otro modo, por ejemplo por medio de ponderaciones de determinadas gamas de anchura de banda. Se elige en cada momento una posición de fase determinada respecto al impulso ultrasónico 7, por ejemplo respecto a su centro del impulso, en los distintos procedimientos de resolución mediante un procedimiento de Fourier tal como el FFT o según otro procedimiento de resolución clásico que todavía pueda resolverse en el intervalo de frecuencias y se asigna a este. La posición de fase asignada en cada caso al impulso ultrasónico 7 se conoce por lo tanto también durante la ulterior transformación y en particular durante la evaluación dentro del marco de la compresión de las señales.

15 Por ejemplo en el caso de tres excitaciones consecutivas y que después se repiten, se puede utilizar en cada caso el primero, el segundo y el tercer tercio de la anchura de banda total, dependiendo de la capacidad de los transductores 5 empleados. Al efectuar la evaluación de las señales, es decir durante la compresión de las señales, se pueden sumar las magnitudes de los mencionados tres tercios. De este modo se puede generar a partir de los datos una señal comprimida con una duración corta óptima y gran amplitud de la señal. En principio cabe también una distribución estadística entre un número cualquiera de impulsos ultrasónicos 7, o cualquier otra distribución de todos los intervalos de frecuencia utilizados y/o que se puedan resolver correspondientes a la fase establecida para los impulsos ultrasónicos 7, y en caso de necesidad se puede aprovechar de forma ventajosa.

25 En lugar de distribuir linealmente en el tiempo los centros de gravedad de los componentes de frecuencia que intervienen igual que sucede con el chirrido lineal, se pueden distribuir estos también de modo estadístico. Esto sucede en las señales procedentes de la excitación térmica y también puede efectuarse de forma determinada mediante señales correspondientemente sintetizadas, incluso mediante el generador de señales aleatorias AFG se pueden generar tales señales determinísticas semejantes a ruidos, también designadas como ruido pseudoaleatorio (pm).

30 Un caso especial de ruido pseudoaleatorio (pm) es una señal en forma de ruido en la que las amplitudes de los componentes espectrales se mantienen lo más constantes posible, pero donde la fase fluctúa estadísticamente determinada durante la sintetización. Una señal eléctrica de este tipo se designa aquí como impulso eléctrico 7 con unas posiciones de fase predeterminadas pseudoestadísticas

Lista de referencias

- 1 Componente de unión (tornillo, bulón)
- 2 Cabeza de tornillo
- 3 Vástago de tornillo
- 5 4 Parte roscada
- 5 Transductor
- 5.1 Electrodo
- 5.2 Capa de protección
- 5.3 Película delgada piezoeléctrica
- 10 6 Trayecto de recorrido del impulso ultrasónico
- 7 Bobina ultrasónica
- t tiempo entre el acoplamiento del impulso ultrasónico y el desacoplamiento del eco del impulso ultrasónico
- 8 Eco del impulso ultrasónico
- Z Circulador, conmutador, reflectómetro o conexión eléctrica
- 15 **AFG (arbitrary function generator) generador de funciones arbitrarias**
- PC Ordenador**
- V Amplificador
- TR Registrador de transitorios
- TG Generador de ritmo
- 20 RG Generador de tasa de repetición
- TG Generador de ritmo (reloj)

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la fuerza de tensión en componentes de unión (1) mediante acoplamiento ultrasónico por medio de un generador arbitrario programable (AFG), con los siguientes pasos del proceso:

- 5 a) En el generador de función arbitraria (AFG) programable se genera un impulso eléctrico (7) con una posición de fase predeterminada pseudoestadística de los componentes de frecuencia utilizados y/o especificados, con una amplitud esencialmente constante y una anchura de impulsos predeterminable,
- b) la anchura de impulsos elegida está adaptada de tal modo a las distancias de los ecos de los impulsos ultrasónicos (8) que no se produce ningún solape de los diferentes reflejos individuales,
- 10 c) el eco del impulso ultrasónico (8) recibido se selecciona en el tiempo con relación a por lo menos uno de los reflejos y se somete a un procedimiento de transformación establecido para el respectivo componente de unión (1), de tal modo que para un momento definido relacionado con el impulso ultrasónico (7) se desplazan todos los elementos de frecuencia de los componentes de frecuencia en el tiempo o en cuanto a la fase, de tal modo que
- 15 d) se obtenga para este momento y en ausencia de la fuerza de tensión previa, siempre la posición de fase 0° o siempre la posición de fase 180° (π) cuando se representan los componentes de frecuencia por medio de funciones cosenoidales.

2. Procedimiento para determinar la fuerza de tensión en componentes de unión (1) mediante el acoplamiento de ultrasonido por medio de un generador de función arbitraria programable (AFG) con los siguientes pasos del proceso:

- 20 a) en el generador de función arbitraria (AFG) se genera un impulso eléctrico (7) en forma de un chirrido lineal de los componentes de frecuencia utilizados y/o especificados, con una amplitud esencialmente constante y una anchura de impulsos predeterminable,
- b) la anchura de impulsos elegida está adaptada de tal modo a las distancias de los ecos de los impulsos ultrasónicos (8) que no se produce ningún solape de los diferentes reflejos individuales,
- 25 c) el eco del impulso ultrasónico (8) recibido se selecciona en el tiempo con relación a por lo menos uno de los reflejos y se somete a un procedimiento de transformación establecido para el respectivo componente de unión (1), de tal modo que para un momento definido relacionado con el impulso ultrasónico (7) se desplazan todos los elementos de frecuencia de los componentes de frecuencia en el tiempo o en cuanto a la fase, de tal modo que
- 30 d) se obtenga para este momento y en ausencia de la fuerza de tensión previa, siempre la posición de fase 0° o siempre la posición de fase 180° (π) cuando se representan los componentes de frecuencia por medio de funciones cosenoidales.

3. Procedimiento para determinar la fuerza de tensión en componentes de unión (1) mediante el acoplamiento de ultrasonido por medio de un generador de función arbitraria programable (AFG) con los siguientes pasos del proceso:

- 35 a) en el generador de función arbitraria programable (AFG) se genera un impulso eléctrico (7) como ruido pseudoaleatorio de los componentes de frecuencia utilizados y/o especificados, con una amplitud esencialmente constante y una anchura de impulsos predeterminable,
- b) la anchura de impulsos elegida está adaptada de tal modo a las distancias de los ecos de los impulsos ultrasónicos (8) que no se produce ningún solape de los distintos diferentes reflejos,
- 40 c) el eco del impulso ultrasónico (8) recibido se selecciona en el tiempo con relación a por lo menos uno de los reflejos y se somete a un procedimiento de transformación establecido para el respectivo componente de unión (1), de tal modo que para un momento definido relacionado con el impulso ultrasónico (7) se desplazan todos los elementos de frecuencia de los componentes de frecuencia en el tiempo o en cuanto a la fase, de tal modo que
- 45 d) se obtenga para este momento y en ausencia de la fuerza de tensión previa, siempre la posición de fase 0° o siempre la posición de fase 180° (π) cuando se representan los componentes de frecuencia por medio de funciones cosenoidales.

4. Procedimiento según la reivindicación 2,

caracterizado porque

a lo largo de toda la anchura de impulsos utilizado, la posición en el tiempo del centro de gravedad de los elementos de frecuencia es una función continua con relación a la frecuencia.

5. Procedimiento según las reivindicaciones 1, 2 o 3,

5 **caracterizado porque**

según el paso c) del procedimiento, se eligen como momento momento definido relacionado con el impulso ultrasónico (7) el centro del impulso, o el inicio del impulso o el final del impulso.

6. Procedimiento según las reivindicaciones 1, 2 o 3,

caracterizado porque

10 según el paso a) del proceso los contenidos de la frecuencia se distribuyen entre una pluralidad de impulsos ultrasónicos (7) consecutivos.

7. Procedimiento según la reivindicación 6,

caracterizado porque

los contenidos de frecuencia se reparten entre 2 a 100 impulsos ultrasónicos (7).

15 8. Procedimiento según las reivindicaciones 6 o 7,

caracterizado porque

las mediciones realizadas a lo largo de distintas gamas de frecuencias parciales se reúnen en el espectro de frecuencias del impulso ultrasónico (7), a partir de los cuales se efectúa la sintetización de una señal de corta duración resultante de todas las contribuciones individuales.

20 9. Procedimiento según las reivindicaciones 1, 2 o 3,

caracterizado porque

el impulso ultrasónico (7) presenta un espectro de frecuencia ultrasónica máximo excitable mediante el cual se excita un espectro de anchura de banda máxima excitable.

10. Procedimiento según las reivindicaciones 1, 2 o 3,

25 **caracterizado porque**

para generar el impulso ultrasónico (7) se emplea un generador de función arbitraria (AFG) o chirridos DDS (Dynamic Digital Synthese) VCO's (Voltage Controlled Oscillator) que se pueden conectar y desconectar al mismo tiempo, y para la detección del eco del impulso ultrasónico (8) se emplea un registrador de transitorios (TR) que lo digitaliza.

30 11. Procedimiento según la reivindicación 10,

caracterizado porque

el generador de la función arbitraria (AFG) y el registrador de transitorios (TR) están controlados por el mismo generador de ritmo (TG).

12. Procedimiento según la reivindicación 11,

35 **caracterizado porque**

del generador de ritmo (TG) se deriva una tasa de repetición para las respectivas mediciones individuales.

13. Procedimiento según la reivindicación 9,

caracterizado porque

40 en una serie de impulsos ultrasónicos (7) consecutivos y que se repiten se utiliza en cada caso una anchura de banda diferente que se excluya mutuamente y se complementa, correspondiente a la inversa del número de impulsos.

14. Procedimiento según las reivindicaciones 1, 2 o 3,

caracterizado porque

mediante la excitación extendida en el tiempo se mantiene mínima la tensión de excitación y de este modo se alarga la vida útil del transductor (5).

5 15. Dispositivo para realizar el procedimiento según una o varias de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por

contener un procesador o un micro procesador así como un generador de función arbitraria programable (AFG) y un registrador de transitorios digitalizante (TR) con conexión al procesador o al microprocesador así como un generador de tasa de repetición (RG).

10 16. Dispositivo según la reivindicación 15,

caracterizado porque

el generador de la función arbitraria (AFG) y el registrador de transitorios (TR) funcionan con un mismo generador de ritmo (TG).

17. Dispositivo según la reivindicación 15,

15 **caracterizado porque**

el generador de la función arbitraria (AFG) el registrador de transitorios (TR) y el generador de frecuencia de repetición (RG) funcionan con un generador de ritmo (TG) común.

18. Dispositivo según las reivindicaciones 15, 16 o 17,

caracterizado porque

20 a continuación del generador de la función arbitraria (AFG) está dispuesto un amplificador de potencia.

19. Dispositivo según las reivindicaciones 15, 16 o 17,

caracterizado porque

antes del grabador de transitorios (TR) está dispuesto un amplificador previo o un amplificador previo programable respecto a la amplificación, con conexión al ordenador.

25 20. Dispositivo según las reivindicaciones 15, 16 o 17,

caracterizado porque

el procesador o el microprocesador está contenido en un ordenador personal (PC) o en un Laptop.

Fig. 1

