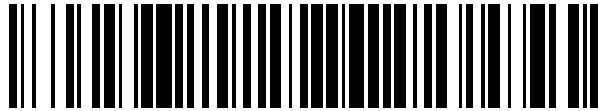


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 535**

51 Int. Cl.:

G01H 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.11.2009 E 09752114 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013 EP 2359106**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el análisis de vibraciones así como base de datos de patrones para ello y utilización de una base de datos de patrones**

30 Prioridad:

07.11.2008 DE 202008014792 U

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

03.09.2013

73 Titular/es:

**SEUTHE, ULRICH (100.0%)
Karl-Siepmann-Strasse 51
58300 Wetter, DE**

72 Inventor/es:

SEUTHE, ULRICH

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ-VEGA FEIJOO, María Covadonga

ES 2 421 535 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para el análisis de vibraciones así como base de datos de patrones para ello y utilización de una base de datos de patrones

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para el análisis del espectro de vibraciones que se origina por el arranque de viruta durante la utilización de una parte constructiva, en el ensayo de una parte constructiva y/o durante el tratamiento de una pieza de trabajo. La invención se refiere además a una base de datos de patrones para ello y a su utilización.

Antecedentes de la invención

10 En el estado de la técnica se conocen muchos procedimientos para la observación del tratamiento mecánico de piezas de trabajo.

Así, por el documento DE 10 2005 034 768 A1 se conoce un procedimiento para la supervisión del estado de funcionamiento de una máquina herramienta para diagnosticar estados críticos ya antes de que ocurra una avería y por consiguiente evitar los costes y esfuerzos causados por defectos y fallos inesperados. En el procedimiento conocido se supervisan componentes giratorios de una máquina herramienta, como por ejemplo rotores de husillos de herramienta o de motor, bombas o ventiladores, por medio de un sensor de vibraciones. Para ello se detectan vibraciones de baja frecuencia por el sensor de vibraciones, para reconocer desequilibrios y/o vibraciones de herramienta y así por ejemplo reconocer una herramienta mal equilibrada, sujeta de manera incorrecta o desgastada. A este respecto la evaluación se produce gráficamente basándose en valores individuales de amplitudes de señal a frecuencias predeterminadas. Sin embargo, una evaluación de este tipo de vibraciones individuales de baja frecuencia, como también se conoce por el documento DE 102 44 426 D4 y por el documento DE 103 40 697 A1, sólo es adecuada relativamente para la valoración de un proceso de arranque de viruta con respecto a la calidad del tratamiento de la pieza de trabajo.

Para la optimización de un proceso de arranque de viruta se conoce por el documento DE 698 04 982 T2 detectar vibraciones de baja frecuencia durante el tratamiento de la pieza de trabajo e indicar, en función de información sobre la herramienta, valores indicativos para el régimen de giro de la herramienta, con los que pueden eliminarse o disminuirse vibraciones indeseadas, que se conocen como traqueteos.

El documento DE 44 05 660 A1 se ocupa igualmente de reducir o impedir un traqueteo de este tipo, que se capta a través de un sensor de vibraciones, y para ello se hace uso de un mecanismo de regulación.

30 A partir del documento D 94 03 901 se conoce una disposición de sensores de vibraciones para la obtención de señales a partir del proceso de tratamiento por arranque de viruta. En este sentido un sensor acústico estructural está fijado a un brazo palpador que está en contacto con la pieza de trabajo, de modo que se transmiten señales acústicas o vibraciones de traqueteo generadas a partir del proceso de tratamiento desde la pieza de trabajo al sensor. Es cierto que en este contexto el documento D 94 03 901 habla de señales acústicas a alta frecuencia. No obstante, el término "a alta frecuencia" se utiliza en relación con el documento DE 38 29 825 A1, que suministra un intervalo de frecuencia entre 20 kHz y 2 MHz a una formación de valores medios. Incluso este intervalo de frecuencia puede apenas transmitirse y reconocerse a través del acoplamiento de brazo palpador del documento D 94 03 901.

Por el documento DE 44 36 445 A1 se conoce un procedimiento para valorar procesos de arranque de viruta en el que se detectan señales acústicas estructurales/vibraciones de una herramienta por un lado bajo carga y por otro lado con el mismo régimen de giro sin carga y, para valorar la herramienta, se realiza para cada régimen de giro una comparación unidimensional del correspondiente número de vibraciones del funcionamiento sin carga y bajo carga.

Por el documento WO 88/07911 y por el documento WO 89/12528 se conoce en cada caso una herramienta de corte con un sensor acústico integrado que proporciona una señal de tensión unidimensional que es proporcional a la frecuencia de vibración.

45 En el documento DE 38 29 825 C2, en el caso de un tratamiento con arranque de viruta de una pieza de trabajo, se detecta el nivel de señal de un sensor acústico en función de la frecuencia y se promedia sobre intervalos de tiempo. Una comparación de los valores promedio con valores umbral o teóricos lleva a conclusiones sobre la calidad de la herramienta o del tratamiento.

50 Todos los procedimientos conocidos tienen la desventaja de que la herramienta y el proceso de arranque de viruta sólo pueden valorarse insuficientemente.

Además, los procedimientos conocidos se limitan al tratamiento por arranque de viruta.

En el estado de la técnica no se conoce ningún procedimiento fiable basado en la acústica para la observación de otros procesos de tratamiento como por ejemplo soldadura (soldadura por láser, soldadura de arco eléctrico, etc.), conformado, ensamblado y/o separación.

Así, actualmente se usan sistemas ópticos para la supervisión de una operación de láser que miden la luz reflejada por el punto de incidencia y, a partir del espectro o la intensidad intentan deducir cómo el material asimila la operación de láser real. Con ello no siempre pueden conseguirse resultados satisfactorios, ya que hay que unir varios materiales entre sí y no puede comprobarse la operación de la penetración de la soldadura a través de emisión láser reflejada en la superficie, es decir si la energía láser provoca también la fusión necesaria y penetración térmica de todas las partes constructivas.

Además, en el estado de la técnica no se conoce ningún procedimiento fiable basado en la acústica para la observación de partes constructivas en funcionamiento, como por ejemplo de una rueda de acero de un vagón ferroviario durante el funcionamiento del ferrocarril, o de un componente de un motor durante el funcionamiento. Es indispensable evitar fallos de las partes constructivas en particular en aplicaciones relevantes para la seguridad como por ejemplo en el transporte de personas mediante por ejemplo ferrocarriles, aviones y automóviles o en instalaciones con potencial de riesgos como por ejemplo centrales generadoras y sólo es posible con gran esfuerzo de costes mediante ensayos regulares fuera de funcionamiento.

Resumen de la invención

Partiendo de esto, la invención se basa en el objetivo de desarrollar un procedimiento y un dispositivo para el análisis de vibraciones, en particular análisis acústico, con los que se posibilite una observación precisa y/o calificación de una parte constructiva, pieza de trabajo, herramienta y/o proceso de tratamiento.

Este objetivo se soluciona de manera correspondiente a las características de la reivindicación 1 y 13.

Por consiguiente se desarrolla un procedimiento para el análisis de vibraciones en el que se detectan y evalúan vibraciones de una parte constructiva o pieza de trabajo o herramienta, en el que se detecta un espectro de vibraciones en distintos tiempos o de manera continua y se somete a una evaluación multidimensional.

A este respecto, las vibraciones pueden originarse durante la utilización de una parte constructiva como por ejemplo de una rueda de acero o de un eje de un ferrocarril en funcionamiento, en el ensayo de una parte constructiva en el estado montado o desmontado dado el caso bajo excitación de vibraciones desde fuera mediante golpeo o acoplamiento acústico o bajo movimiento etc., y/o durante el tratamiento de una pieza de trabajo por arranque de viruta, soldadura, conformado, ensamblado y/o separación. La utilización de un análisis de vibraciones para cada una de estas aplicaciones individuales y para otras aplicaciones técnicamente comparables tiene en cada caso una relevancia inventiva independiente.

La detección según la invención del espectro de vibraciones en distintos tiempos y preferiblemente de manera continua o de manera casi continua con una tasa de muestreo conveniente permite una evaluación de datos multidimensional que es la base para una calificación precisa de una parte constructiva, pieza de trabajo, herramienta y/o un tratamiento.

La evaluación de datos multidimensional puede ilustrarse para una forma de realización preferida con tres dimensiones a modo de ejemplo mediante un paisaje que entonces puede extenderse por ejemplo en el espacio determinado por un eje de frecuencia, uno de tiempo y uno de amplitud. El paisaje visualiza las emisiones acústicas en la evolución temporal y presenta a este respecto características típicas que en cada caso forman casi una huella dactilar. Estas características típicas pueden hallarse con métodos adecuados. De igual manera pueden hallarse desviaciones de estas características típicas. También pueden hallarse características típicas para determinados errores o tipos de errores en los datos multidimensionales. En base a los datos multidimensionales, que en la forma de realización preferida forman un paisaje en el espacio frecuencia-tiempo-amplitud, en total puede hallarse en tiempo real con gran fiabilidad la calidad de un tratamiento mecánico de una pieza de trabajo en particular aún durante el tratamiento. También puede hallarse e identificarse el grado de desgaste de la herramienta o un error de herramienta como por ejemplo una rotura de broca mediante las características típicas correspondientes. Finalmente, en un ensayo de parte constructiva puede hallarse la desviación de características típicas esperadas y la coincidencia con características de errores puede diagnosticar un determinado error o tipo de error. A este respecto, el ensayo de parte constructiva puede realizarse incluso en el funcionamiento de la parte constructiva; por ejemplo en el funcionamiento de un tren, en el eje o la rueda, puede tomarse un espectro de vibraciones y en particular un espectro de emisión acústica y comprobarse para detectar características típicas para por ejemplo hallar un desgaste, un grado de desgaste, un error como por ejemplo una rotura o una grieta o sin embargo un comportamiento normal o en general una desviación del comportamiento estándar.

Preferiblemente la evaluación se realiza de manera automatizada basándose en un reconocimiento de patrones. Para el reconocimiento de patrones multidimensional y en particular tridimensional pueden utilizarse algoritmos adecuados que pueden implementarse, basándose en un ordenador, de manera rápida y fiable y con parámetros de reconocimiento ajustables y que acceden a datos de espectro de vibraciones almacenados o que procesan los datos de espectro de vibraciones en tiempo real.

De manera conveniente está prevista una base de datos de patrones con patrones adecuados para una determinada aplicación. A este respecto los patrones pueden estar almacenados en forma de secciones de paisaje de patrones dado el caso con intervalos de tolerancia y/o definidos por funciones. Por un lado, esto posibilita la utilización de

patrones predeterminados para una determinada aplicación o clase de aplicación, por ejemplo patrones para una determinada etapa de tratamiento por taladrado. Además, durante una fase de aprendizaje, pueden recopilarse datos y almacenarse como patrones y dado el caso con valores de tolerancia. Así, por ejemplo en el taladrado y cambio de pieza de trabajo y cambio de herramienta, puede captarse el espectro de emisión acústica y del mismo pueden extraerse patrones basándose en los cuales puede realizarse la valoración de tratamientos subsiguientes. Con ello es posible, de manera sencilla y dado el caso automatizada, una capacidad de adaptación individual de los patrones por ejemplo a un determinado proceso o una determinada máquina de tratamiento o una determinada parte constructiva o una determinada situación de ensayo para una parte constructiva. A este respecto los patrones pueden cubrir intervalos de valores para definir desviaciones tolerables y/o simplificar la capacidad de reconocimiento.

Para una valoración automatizada está previsto preferiblemente formar una envolvente del espectro de vibraciones detectado o de secciones del mismo y compararla con una envolvente de comparación. A este respecto la envolvente se forma por ejemplo a través de una función de alisamiento, a partir del promediado en el espacio de puntos de datos contiguos o utilizando procedimientos convenientes para alisar datos multidimensionales. Puede recurrirse a la desviación entre la envolvente y la envolvente de comparación como escala para una calificación de una parte constructiva, pieza de trabajo, herramienta y/o proceso, por ejemplo de la calidad de un proceso de arranque de viruta. Además la utilización de una envolvente permite identificar de manera automatizada secciones de proceso como por ejemplo un contacto de pieza de trabajo o un determinado tratamiento. Además, el reconocimiento de patrones se simplifica mediante la utilización de una envolvente y la tasa de reconocimiento se mejora.

Preferiblemente, el espectro de vibraciones se detecta y evalúa a alta frecuencia y/o con banda ancha.

Una banda ancha es conveniente ya que pueden aparecer características típicas en intervalos del espectro de emisión acústica que en cuanto a la frecuencia están muy distanciados entre sí. Así, una formación de grieta presenta una "huella dactilar" a alta frecuencia, mientras que una rotura de broca deja tras de sí características comparativamente de menor frecuencia en el espectro de emisión acústica y un error de máquina como por ejemplo un giro en redondo erróneo de un torno deja tras de sí características típicas en el intervalo de baja frecuencia del espectro de vibraciones. Preferiblemente se detecta todo el espectro de frecuencia de las vibraciones, para lo que dado el caso pueden estar previstos distintos sensores que cubren distintos intervalos de frecuencia. En la forma de realización preferida se utiliza solamente un sensor, concretamente un sensor acústico, sin embargo en otras formas de realización también pueden utilizarse adicional o alternativamente otros sensores de vibraciones.

De manera ventajosa, la detección a alta frecuencia posibilita una calificación también de operaciones microscópicas sobre o en la parte constructiva o pieza de trabajo o herramienta.

Así, por ejemplo en el arranque de viruta de un cuerpo sólido se arrancan fuera de su posición partes de material contra su fuerza de unión. La fuerza necesaria para ello se aplica mediante una herramienta. Las fuerzas de unión existen entre partes microscópicamente pequeñas. Por tanto, el arranque de viruta también puede entenderse como una cadena de separaciones microscópicas. Cada una de estas pequeñas separaciones envía un impulso a través de los materiales adyacentes. Mediante estos impulsos se originan vibraciones. Las frecuencias de vibraciones dependen de la duración de impulso y de la elasticidad del material. A este respecto, cada arranque de viruta se compone de una cadena de muchísimas separaciones microscópicas, es decir también de una sucesión de muchos impulsos pequeños. Estos impulsos se originan con una sucesión temporal. Tras producirse una separación microscópica se establece de nuevo una fuerza de separación en las siguientes partículas de material todavía unidas en la trayectoria de la herramienta de arranque de viruta. Tras superar la fuerza de separación necesaria se origina el siguiente impulso. Con ello se obtienen siempre nuevas excitaciones de vibraciones cuya distribución temporal está en relación con la velocidad de corte y el tamaño de las partículas de material separadas. De ello se obtiene una excitación de vibraciones del material y la herramienta cuya evolución de amplitud y frecuencia son características para la operación de arranque de viruta respectiva.

En consecuencia, estas separaciones microscópicas llevan a un espectro de vibraciones de arranque de viruta a alta frecuencia del que pueden obtenerse características sobre la operación de arranque de viruta real a nivel microscópico.

En las otras aplicaciones de la invención como por ejemplo soldadura o el ensayo de parte constructiva aparecen igualmente características típicas a alta frecuencia en el espectro de vibraciones.

Preferiblemente, el espectro de vibraciones detectado se somete a un análisis tiempo-frecuencia. Mediante el análisis tiempo-frecuencia por un lado sobre el eje de tiempo las vibraciones captadas pueden asociarse a la evolución del proceso y por otro lado separarse las vibraciones interesantes de las vibraciones no interesantes como por ejemplo vibraciones de máquinas y vibraciones perturbadoras, que ocupan otros intervalos de frecuencia. Por tanto la evaluación puede concentrarse en el intervalo típico para la aplicación respectiva.

Preferiblemente, el espectro de vibraciones se detecta con una resolución de frecuencia que corresponde a la granulación microscópica del material de la parte constructiva o pieza de trabajo y dado el caso a otros factores que

- dependen de la aplicación. En un proceso de arranque de viruta, ha de tenerse en cuenta como otro factor por ejemplo la velocidad de tratamiento por arranque de viruta. Así, por ejemplo para una velocidad de tratamiento por arranque de viruta de 3000 m/min es necesaria una resolución de frecuencia de 50 MHz para detectar estructuras del orden de magnitud de $1 \mu\text{m}$ mediante vibraciones de arranque de viruta asociadas. En función de la granulación microscópica, que puede encontrarse por encima o por debajo del intervalo de los μm , y de la velocidad de tratamiento por arranque de viruta se obtienen resoluciones de frecuencia más altas o más bajas. Según la invención, la resolución de frecuencia se encuentra preferiblemente en 50 MHz para cubrir todas las aplicaciones, sin embargo también puede encontrarse en el intervalo de 40 MHz, 30 MHz, 20 MHz o 10 MHz.
- El espectro de vibraciones puede detectarse con las coordenadas frecuencia f , tiempo t y amplitud A . Esta detección se adecua para un análisis numérico en el ordenador, pudiendo ser las coordenadas también funciones $a(f)$, $b(t)$ y/o $c(A)$ de la frecuencia f , del tiempo t o de la amplitud A , o $a(f, t, A)$, $b(f, t, A)$ y/ o $c(f, t, A)$, de modo que está almacenado un vector tridimensional en una dependencia funcional dada con respecto a f, t, A , por ejemplo (lf, mt, nA^x) , siendo l, m, n, x números arbitrarios. Para la ilustración y/o análisis manual, el espectro de vibraciones puede representarse gráficamente con las tres coordenadas. En este sentido puede elegirse una representación tridimensional, en la que la frecuencia y el tiempo determinen un plano y a través de la amplitud (o una función de la misma) se defina un perfil de alturas. Una representación gráfica de este tipo facilita el reconocimiento de las vibraciones relevantes para la valoración, por ejemplo éstas pueden asociarse a través de la separación sobre el eje de tiempo al desarrollo de tratamiento y están separadas de vibraciones de máquinas y otras vibraciones perturbadoras sobre el eje de frecuencia.
- Para captar las vibraciones se utiliza preferiblemente un sensor acústico, en particular un sensor piezoeléctrico acústico. Los sensores acústicos de este tipo pueden procesar las frecuencias altas necesarias según la invención, presentan un gran ancho de banda de frecuencia, pueden fabricarse de manera económica y no tienen mantenimiento.
- El sensor, en particular el sensor acústico, que puede estar dispuesto en la parte constructiva, pieza de trabajo o en la herramienta o en una parte constructiva acoplada desde el punto de vista de las vibraciones con la parte constructiva, pieza de trabajo y/o herramienta, se calibra tras su montaje y preferiblemente también periódicamente después de eso o antes de cada utilización. De este modo se garantiza una elevada precisión de la medición, que se mantiene constante. Entonces en particular una calibración es especialmente conveniente cuando el sensor se coloca en una nueva pieza de trabajo o debe soltarse para su mantenimiento y colocarse de nuevo, ya que por la colocación puede aparecer otro comportamiento de acoplamiento. Según la invención, para la calibración se solicita al sensor acústico con un determinado impulso eléctrico para emitir una señal acústica. A continuación se detecta el eco de la señal acústica y se compara con un eco teórico. De este modo puede determinarse la calidad del acoplamiento del sensor acústico a la pieza de trabajo o herramienta o parte constructiva y tenerse en cuenta en la medición.
- La evaluación se produce preferiblemente en tiempo real. De este modo se suprime la necesidad de almacenar datos. Un almacenamiento de los datos puede ser conveniente en el caso de partes constructivas relevantes para la seguridad para justificar la ausencia de errores, o para justificar un error. Los datos pueden almacenarse completamente para todo el proceso de tratamiento o toda la duración de supervisión de una pieza de trabajo o parte constructiva o sólo por fragmentos en intervalos temporales, en los que se han reconocido características interesantes.
- Otro aspecto de la invención se refiere a la transformación del espectro de vibraciones, o de un intervalo de frecuencia interesante del mismo, al espectro acústico audible por medio de una función o correspondencia adecuada, por ejemplo lineal. Esto posibilita una observación o valoración acústica por una persona. De manera conveniente, la observación acústica se realiza complementariamente a la evaluación multidimensional, aunque también puede sustituirla.
- En una forma de realización especialmente conveniente en el espectro de vibraciones se reconocen patrones típicos para defectos. En este caso puede obtenerse entre otros una simplificación de la evaluación que se limita a un reconocimiento de errores.
- La invención también posibilita reconocer errores que no están en relación directa con el tratamiento de una pieza de trabajo. Por ejemplo pueden reconocerse grietas de tensión producidas por fluctuaciones de temperatura o en general defectos por acción externa.
- Además pueden reconocerse grietas de sobrecarga y/o fatiga. Esto es ventajoso en particular en el ensayo de una parte constructiva o en la observación de una parte constructiva en el funcionamiento, por ejemplo en la supervisión de una rueda de un vagón de ferrocarril.
- Con ello la invención desarrolla procedimientos y dispositivos que posibilitan una supervisión automatizada, aseguramiento de la calidad y ensayo de partes constructivas, piezas de trabajo y procesos de tratamiento.
- Otras características y configuraciones de la invención se deducen de la siguiente descripción en referencia a los dibujos adjuntos.

Descripción de las figuras

La figura 1 ilustra esquemáticamente un dispositivo para valorar procesos de arranque de viruta.

Las figuras 2 y 3 muestran cristalitas en una estructura de acero.

La figura 4 ilustra una representación gráfica tridimensional de un espectro de vibraciones.

5 La figura 5 ilustra un fragmento de la figura 4 en una representación bidimensional.

La figura 6 es un corte a través de la figura 4 en paralelo al eje f.

Las figuras 7 y 8 muestran una proyección de todo el entorno de frecuencia abarcado de la figura 1 sobre el eje de tiempo para distintas herramientas.

Descripción de las formas de realización

10 A continuación se describirá la invención primero con un ejemplo de realización de un proceso de arranque de viruta.

El dispositivo 1 representado en la figura 1 para realizar un análisis de vibraciones, en este caso con el fin de valorar un proceso de arranque de viruta, comprende un sensor 2 para detectar vibraciones que a modo de ejemplo está dispuesto en una herramienta 3 de una máquina 4 herramienta que puede tratar por arranque de viruta una pieza 5 de trabajo. El sensor 2 está unido con un equipo 6 de evaluación, por ejemplo un ordenador. En otras configuraciones de la invención la pieza de trabajo se trata de otra manera, por ejemplo se suelda, conforma, ensambla y/o separa, o se somete a ensayo una parte constructiva o se observa durante su utilización en estado montado.

El sensor 2 es preferiblemente un sensor acústico estructural, por ejemplo un sensor piezoeléctrico, y preferiblemente puede captar no sólo señales acústicas estructurales sino también emitirlos. La emisión de señales acústicas estructurales es conveniente en particular para el ensayo de partes constructivas, ya que con ello éstas pueden hacerse vibrar. Pueden utilizarse igualmente otros tipos de sensores siempre que puedan detectar vibraciones en el intervalo de frecuencia interesante, por ejemplo sensores de movimiento.

El sensor 2 está acoplado o bien como se representa a modo de ejemplo a la herramienta 3 o bien a la máquina 4 herramienta o bien a la pieza 5 de trabajo o bien a una parte acoplada con ella desde el punto de vista de las vibraciones de tal manera que puede detectar vibraciones de la pieza 5 de trabajo y/o de la herramienta 3. En el caso más sencillo el sensor está atornillado firmemente.

La máquina 4 herramienta, por ejemplo una máquina fresadora, realiza, en particular de manera automatizada, una operación de tratamiento en la herramienta 5, por ejemplo un acero de tocho, con la herramienta 3, por ejemplo una fresa, para formar a partir del acero de tocho por ejemplo una rueda dentada.

30 Durante la operación de tratamiento se originan vibraciones en la pieza 5 de trabajo y herramienta 3 que se captan por el sensor 2. Para ello el sensor 2 está configurado de tal manera que puede detectar frecuencias entre un valor límite inferior y un valor límite superior. Idealmente el valor límite inferior es 0 y el valor límite superior ∞ , de modo que puede captarse todo el espectro interesante. En la práctica es conveniente un valor límite superior de al menos 50 MHz, preferiblemente al menos 100 MHz. En la práctica, frecuencias por debajo de 90 kHz o 40 kHz preferiblemente se amortiguan o truncan, ya que no contienen información útil de ningún tipo, de modo es conveniente un valor límite inferior correspondiente, pero también puede encontrarse en 200 kHz, 500 kHz ó 1 MHz.

El intervalo de frecuencia real del sensor 2 debería elegirse mediante el material que va a tratarse y la velocidad de tratamiento. Las figuras 2, 3 muestran cristalitas típicas en una estructura de acero. Evidentemente, los tamaños de grano varían en su tamaño, y concretamente según el proceso de enfriamiento y los componentes de la aleación. Si la granulación del material es por ejemplo 1 μm y la velocidad de tratamiento 3000 m/min, el valor límite superior debería ascender al menos a 50 MHz para poder detectar las vibraciones de arranque de viruta interesantes. Con una velocidad de tratamiento de 400 m/min y un tamaño de grano promedio de 1 μm se obtiene una resolución mínima de 6,66 MHz. Sin embargo, ya que la punta de herramienta (por ejemplo 1 mm) es muy grande en comparación con las cristalitas (por ejemplo μm), siempre detecta muchísimas (por ejemplo 1000) cristalitas al mismo tiempo, y concretamente con un ligero desplazamiento por fracciones del tamaño de grano; por tanto es conveniente una resolución de frecuencia considerablemente más alta que la resolución mínima para detectar toda la información de frecuencia interesante sobre el proceso de arranque de viruta.

Las vibraciones detectadas por el sensor 2 durante el tratamiento por arranque de viruta de la pieza 5 de trabajo se evalúan multidimensionalmente. Para ello puede almacenarse temporalmente el espectro de vibraciones detectado en la unidad 6 de evaluación, que preferiblemente es un ordenador con una interfaz correspondiente y medios de almacenamiento adecuados.

En la unidad 6 de evaluación puede producirse un análisis tiempo-frecuencia de tal forma que el espectro de vibraciones se analiza numéricamente y/o se representa gráficamente todavía durante la detección o después de

ella.

Una representación puede producirse tridimensionalmente como se ilustra en la figura 4 con las coordenadas tiempo, frecuencia y amplitud (o amplitud o intensidad máxima o similares) o bidimensionalmente como se ilustra en la figura 5, haciendo visibles líneas de altura la amplitud. En la figura 5, a la izquierda, en el caso de frecuencias bajas, puede verse el árbol de accionamiento, a la derecha se encuentran perturbaciones de alta frecuencia y entremedias puede verse el amolado consecutivo de dos dientes de un árbol de transmisión de un vehículo automóvil. Un corte en un tiempo t está representado en la figura 6, que muestra un espectro de frecuencia típico.

Pueden reconocerse patrones, en particular las islas en la figura 5, que son característicos para el proceso respectivo. Se obtienen también patrones de este tipo para errores. En consecuencia, mediante el reconocimiento de patrones pueden reconocerse etapas de proceso, calificarse al determinarse por ejemplo una medida para la desviación de un patrón, y también reconocerse e identificarse errores (rotura de broca, ninguna herramienta etc.), en cualquier caso reconocerse desviaciones del comportamiento estándar todavía durante un tratamiento.

La evaluación puede producirse mediante las figuras 4, 5 ó 6, compararse con datos de comparación o valores empíricos y a partir de ellos deducirse características sobre el proceso de arranque de viruta. Para ello pueden utilizarse patrones a partir de una base de datos de patrones. Los patrones pueden ser secciones superficiales típicas almacenadas en una base de datos de patrones o descritas funcionalmente cuya presencia en el espectro de vibraciones detectado ha de hallarse.

Las figuras 7 y 8 muestran una proyección de todo el entorno de frecuencia abarcado de la figura 1 sobre el eje de tiempo, de modo se origina una imagen bidimensional. Se trata de registros de dos procesos de torneado inmediatamente consecutivos en una parte constructiva de acero. La figura 7 muestra la emisión en la utilización de una herramienta desgastada, mientras que la figura 8 muestra la emisión tras el montaje de una nueva herramienta. Evidentemente la figura 8 es más lisa y podría utilizarse como referencia para el determinado proceso de torneado, pudiendo recurrirse a diferencias con respecto a ello para el dictamen técnico de la herramienta y/o de la pieza de trabajo. En este sentido, en una evaluación automatizada de los conjuntos de datos tridimensionales detectados, pueden disponerse envoltorios de referencia correspondientes alrededor del paisaje detectado. Como escala para la calidad del tratamiento, de la herramienta etc. podrían utilizarse diferencias, valores promedio, dispersiones etc.

A este respecto el espectro de vibraciones no sólo depende de la herramienta y de la pieza de trabajo, sino también de la velocidad de tratamiento, de la máquina herramienta, del material de consumo (por ejemplo aceite refrigerante), etc. Por consiguiente, el espectro de vibraciones también puede proporcionar información sobre la máquina herramienta o el material de consumo, etc. Así, el espectro de vibraciones está posiblemente modulado por las vibraciones de la máquina herramienta, por ejemplo 200 Hz.

El sensor 2 presentará una respuesta de frecuencia no lineal que depende de todo el sistema máquina herramienta, herramienta, pieza de trabajo. La respuesta de frecuencia es individual para cada sensor y además también dependiente del momento de giro de su fijación, resonancias de sistema, ruidos de máquina, etc. Por tanto es conveniente una calibración, en particular periódica, durante las mediciones. La calibración puede producirse al emitir el sensor 2 un impulso y evaluarse la respuesta de impulso.

A continuación se describirá como ejemplo de realización un reconocimiento de grieta.

El reconocimiento de grieta al someter a carga partes constructivas como por ejemplo ruedas se posibilita con alta fiabilidad mediante el examen en tiempo real con banda ancha de señales acústicas estructurales.

Un examen de detección de frecuencia posibilita un filtrado selectivo de ruidos de trabajo normales y deterioros de parte constructiva que aparecen espontáneamente debido a grietas de sobrecarga o de fatiga en la estructura.

Cada separación de estructura emite una emisión acústica estructural a modo de impulso que puede separarse de los ruidos de proceso normales.

Un examen en tiempo real de preferiblemente toda la evolución de frecuencia en el tiempo posibilita reconocer modificaciones en la evolución del proceso e intervenir regularmente en fluctuaciones de este tipo de modo que pueden evitarse preventivamente defectos que aparecen.

En instalaciones para provocar acciones perjudiciales con un fin, como por ejemplo puestos de ensayo, puede observarse el avance de una evolución de defecto habitual. Con ello se hace posible valorar el tamaño de defecto no sólo a posteriori, sino la evolución temporal de la formación de defecto así como también las incidencias cuantitativas en el desarrollo de defecto.

Mediante la comparación del espectro de vibraciones detectado con patrones de defecto depositados y patrones estándar es posible reaccionar de manera muy flexible a acciones perjudiciales que aparecen de una parte constructiva o a derivas de proceso, también cuando se desplazan o modifican intervalos de frecuencia o se detectan nuevas señales no conocidas hasta ahora.

En el caso de una separación de frecuencia o filtrado de frecuencia fijado a priori no es posible una reacción y reconocimiento flexible de este tipo.

La invención es aplicable también en el caso de soldadura, en particular en el caso de soldadura por láser.

5 En el tratamiento de material con un láser se calientan los materiales y con ello se modifican las tensiones en la estructura. Cada modificación de tensión de este tipo genera una onda de presión que se propaga a través del material. Estas fluctuaciones de presión como consecuencia de la deformación térmica mediante energía láser pueden detectarse por medio de un sensor acústico estructural y evaluarse según la invención.

10 Actualmente se usan sistemas ópticos para la supervisión de una operación de láser, que miden la luz reflejada por el punto de incidencia y, a partir del espectro o la intensidad intentan deducir cómo el material asimila la operación de láser real. Con ello no siempre pueden conseguirse resultados satisfactorios, ya que hay que unir varios materiales entre sí y no puede comprobarse la operación de la penetración de la soldadura a través de emisión láser reflejada en la superficie, es decir si la energía láser provoca también la fusión necesaria y penetración térmica de todas las partes constructivas.

15 Mediante sensores acústicos estructurales en las partes constructivas o piezas de trabajo puede detectarse según la invención si se originan fluctuaciones de tensión como consecuencia de calentamiento térmico en las partes constructivas y las fluctuaciones de tensión pueden analizarse para una calificación del proceso de soldadura.

20 La captación de energía por la luz láser genera fluctuaciones de temperatura en la estructura y con ello tensiones de compresión, ondas de presión y frecuencias que varían que permiten obtener conclusiones sobre el tipo de modificaciones térmicas en la estructura. Así es posible reproducir la energía de soldadura y/o la energía captada por el material. En particular, mediante evaluación multidimensional según la invención del espectro de vibraciones, pueden reconocerse errores de soldadura como la no penetración de soldadura de varias partes constructivas que van a unirse, el origen de orificios como consecuencia de una transmisión de energía demasiado intensa o la ausencia del rayo láser.

25 El sensor de vibraciones o en particular sensor acústico, dado el caso varios sensores acústicos, pueden a este respecto acoplarse desde el punto de vista de las vibraciones por medio de un dispositivo a las piezas de trabajo. El o los sensores también puede/n situarse en dispositivos de retención que durante la sujeción de las partes constructivas o piezas de trabajo entran en un contacto con acoplamiento de las vibraciones con las partes constructivas o piezas de trabajo.

30 Según la invención se posibilita una supervisión en proceso de un tratamiento, en particular de una operación de soldadura láser, en la que no es necesaria ninguna otra medida para la observación o valoración de la calidad.

La invención se adecua también para la observación de un proceso de conformado.

En cada proceso de conformado de cuerpos sólidos se aportan o rompen tensiones a la parte constructiva. Estas modificaciones de fuerza llevan a ondas de presión, que se propagan a través de la parte constructiva o la herramienta.

35 Las frecuencias de estas ondas de presión dependen de la dinámica del proceso de conformado, de la velocidad de la fuerza y también de la estructura del material.

40 En general pueden aparecer frecuencias muy altas. El análisis de la emisión acústica en frecuencia y tiempo posibilita una descripción precisa del proceso de conformado y forma casi una huella dactilar de cada proceso de conformado concreto. En este sentido son posibles variaciones mediante diferentes propiedades de material y evoluciones de proceso.

45 El procedimiento según la invención puede aplicarse tanto en conformado en frío como también en conformado a temperaturas templadas o en caliente. Pueden reconocerse errores como por ejemplo herramientas de conformado dañadas, rotas o ausentes. Pueden reconocerse resistencias que varían de la parte constructiva en el conformado, ausencia o propiedades modificadas de medios de funcionamiento como medios antifricción/lubricantes, en el conformado en caliente en particular variaciones en la temperatura. Incluso diferencias de temperatura pequeñas de 1°C pueden llevar a modificaciones considerables de las fuerzas de conformado y con ello a propiedades modificadas en la dinámica de conformado y en las emisiones de ondas de presión.

50 Si se enfría la parte constructiva dentro del proceso de conformado durante la detección de vibraciones, también puede observarse y valorarse conjuntamente la operación de relajación o enfriamiento y contracción y la operación de transformación de estructura del material y llegarse a una conclusión sobre el proceso de enfriamiento.

Esto es válido tanto para vibraciones, en particular emisiones acústicas estructurales, que proceden de la transformación de la estructura misma como también de emisiones por fuerzas entre parte constructiva y herramienta que tienen lugar durante la modificación de volumen.

Evidentemente la invención posibilita en general la observación y valoración en particular automatizada de casi

- 5 todos los procesos de tratamiento mediante los espectros de vibraciones que aparecen durante el tratamiento incluyendo la posible fase de enfriamiento o similares, que tal como se ha descrito presenta características típicas para el comportamiento estándar y desviaciones del mismo. Además de en los tratamientos descritos anteriormente a modo de ejemplo con arranque de viruta, basados en soldadura y de conformado, la invención también puede aplicarse en el ensamblado y separación.
- En casa operación de ensamblado o separación interactúan distintas partes entre sí. Durante el movimiento las superficies rozan entre sí, las partes de material se rozan, se separan, se introducen fuerzas de cualquier forma. Cada una de estas actividades genera ondas de presión que circulan a través de las partes constructivas en cuestión y que son características de la operación de ensamblado o separación respectiva y pueden tipificarse.
- 10 Por lo tanto es posible cuantificar y cualificar las operaciones de ensamblado y separación en distintas propiedades, es decir definir y reconocer características típicas.
- 15 Por ejemplo, en el ajuste a presión de un árbol en un casquillo, estando ambos fabricados con tolerancias, las ondas de presión de emisión acústica ofrecen una medida para las fuerzas de ajuste a presión. En el caso de una sobredimensión demasiado grande o diseño de tolerancias desfavorable se produce una señal acústica muy intensa que puede advertir de un error en la compresión. Con la evaluación multidimensional según la invención del espectro de vibraciones detectado puede reconocerse este error, por ejemplo mediante comparación con patrones teóricos. De igual manera pueden reconocerse propiedades superficiales diferentes como por ejemplo rugosidades superficiales demasiado grandes o modificaciones de material, ya que éstas presentan propiedades típicas en el espectro de vibraciones.
- 20 Un atornillamiento no representa esencialmente nada nuevo. También en este sentido se empujan y presionan superficies entre sí y el momento de giro utilizado genera junto con las propiedades de fricción emisiones acústicas que pueden tipificarse a las que a su vez puede recurrirse para calificar el atornillamiento.
- Lo anterior también puede aplicarse a operaciones de separación como por ejemplo la expulsión de machos de casquillos, extracción por presión, destornillado, corte, etc.
- 25 A este respecto la operación de tratamiento es general y sólo se termina cuando ya no aparecen modificaciones en la parte constructiva o pieza de trabajo. Es decir así por ejemplo en el conformado o ensamblado o soldadura etc. puede analizarse el espectro de vibraciones en un periodo de tiempo más largo para por ejemplo hallar tensiones que aparecen en el caso de modificaciones de temperatura, que en circunstancias pueden llevar al daño de las partes constructivas, también tras la terminación inmediata de la acción sobre la parte constructiva o pieza de
- 30 trabajo.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el análisis de vibraciones, en el que durante el tratamiento de una pieza (5) de trabajo se detectan y evalúan vibraciones que se originan por el arranque de viruta, en el que se detecta un espectro de vibraciones en distintos tiempos o de manera (casi) continua y se somete a una evaluación multidimensional, caracterizado porque el espectro de vibraciones se detecta con una resolución de frecuencia correspondiente a la granulación microscópica del material de la pieza (5) de trabajo tratada y a la velocidad de tratamiento por arranque de viruta.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la evaluación se realiza tridimensionalmente.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que la evaluación se realiza de manera automatizada basándose en un reconocimiento de patrones.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el reconocimiento de patrones busca patrones en el espectro de vibraciones detectado en un periodo de tiempo que están almacenados o definidos en una base de datos de patrones.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que se forma una envolvente del espectro de vibraciones y se compara con una envolvente de comparación.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el espectro de vibraciones se detecta y/o evalúa a alta frecuencia y/o con banda ancha; y/o en el que el espectro de vibraciones se somete a un análisis tiempo-frecuencia.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el espectro de vibraciones se representa gráficamente con las variables frecuencia, tiempo, amplitud o una función de las mismas.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que se utiliza un sensor (2) acústico para captar el espectro de vibraciones.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que el sensor (2) acústico se calibra al emitir antes de la medición una señal acústica a través del sensor (2) acústico, detectar el eco y compararlo con un eco teórico.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la evaluación se produce esencialmente en tiempo real.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el espectro de vibraciones detectado se transforma al intervalo audible para una valoración acústica por un encargado.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que se reconocen patrones típicos en el espectro de vibraciones para defectos como por ejemplo grietas de sobrecarga y/o fatiga.
13. Dispositivo (1) para realizar un análisis de vibraciones según una de las reivindicaciones 1 a 14, pudiendo acoplarse el dispositivo con un sensor (2) para detectar un espectro de vibraciones que se origina durante el tratamiento de una pieza (5) de trabajo por el arranque de viruta y presentando un equipo (6) de evaluación para la evaluación multidimensional del espectro de vibraciones detectado en distintos tiempos o de manera (casi) continua, caracterizado porque la unidad (6) de evaluación está configurada para el análisis del espectro de vibraciones con una resolución de frecuencia correspondiente a la granulación microscópica del material de la pieza (5) de trabajo tratada y a la velocidad de tratamiento por arranque de viruta.
14. Dispositivo según la reivindicación 13, en el que está previsto un sensor de alta frecuencia para detectar un espectro acústico estructural.
15. Dispositivo según la reivindicación 13 ó 14, en el que está prevista una base de datos de patrones con patrones de vibraciones multidimensionales.

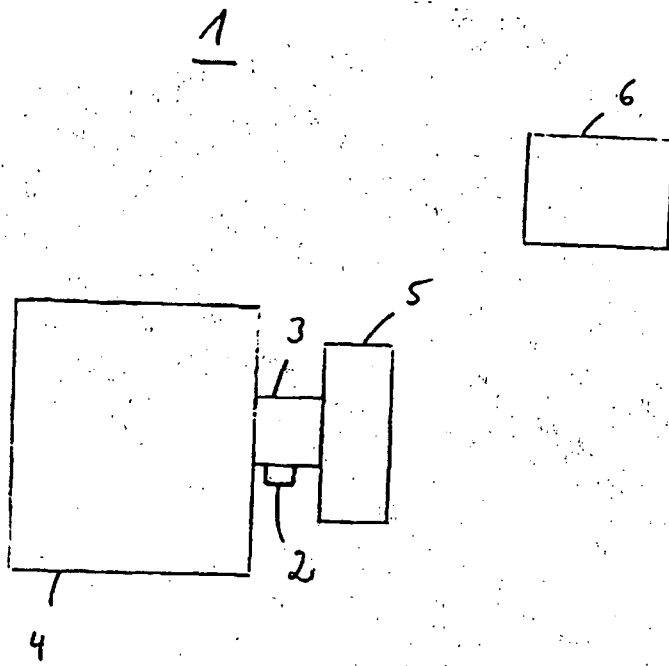


Fig. 1

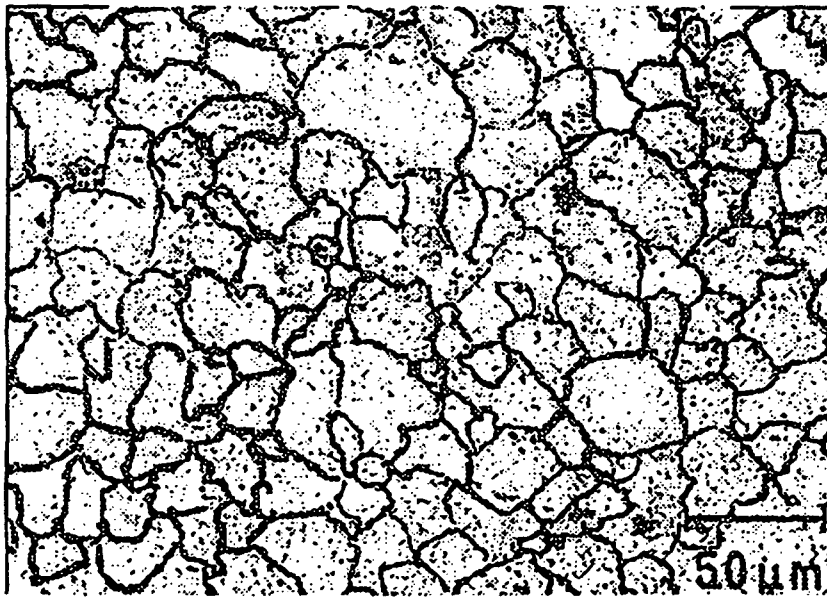


Fig. 2

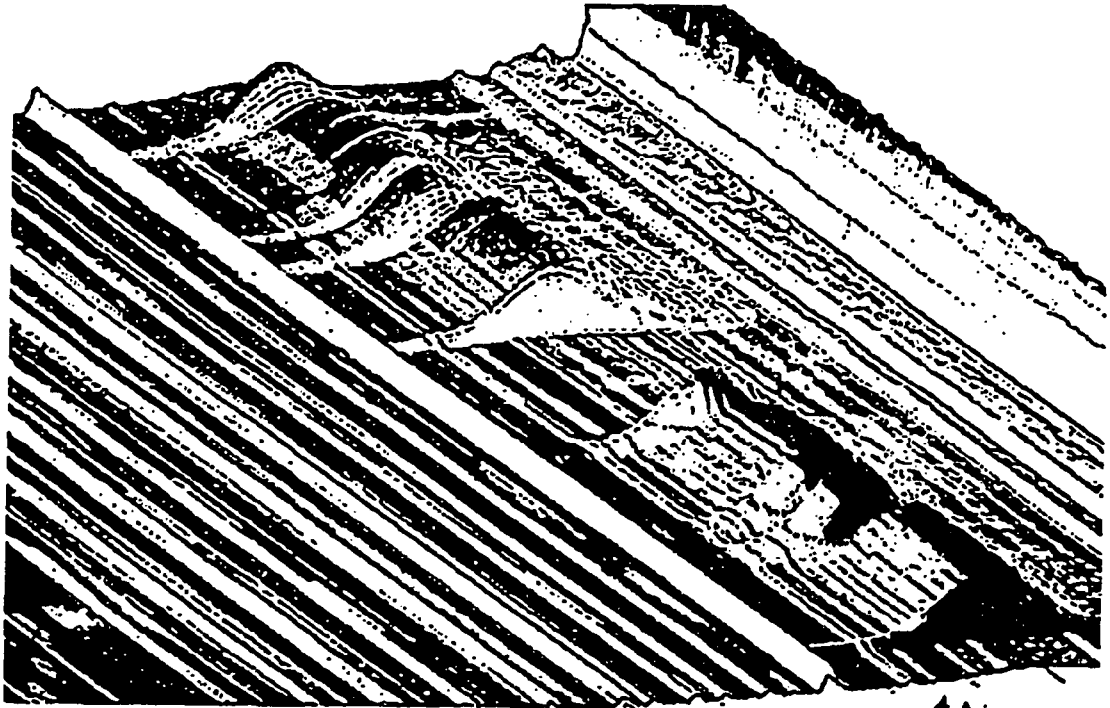


Fig. 4

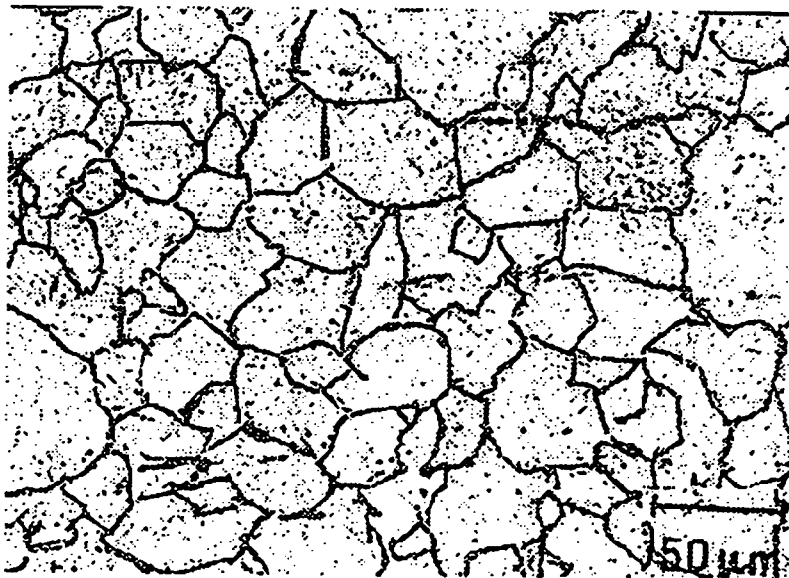
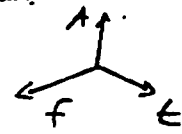


Fig. 3

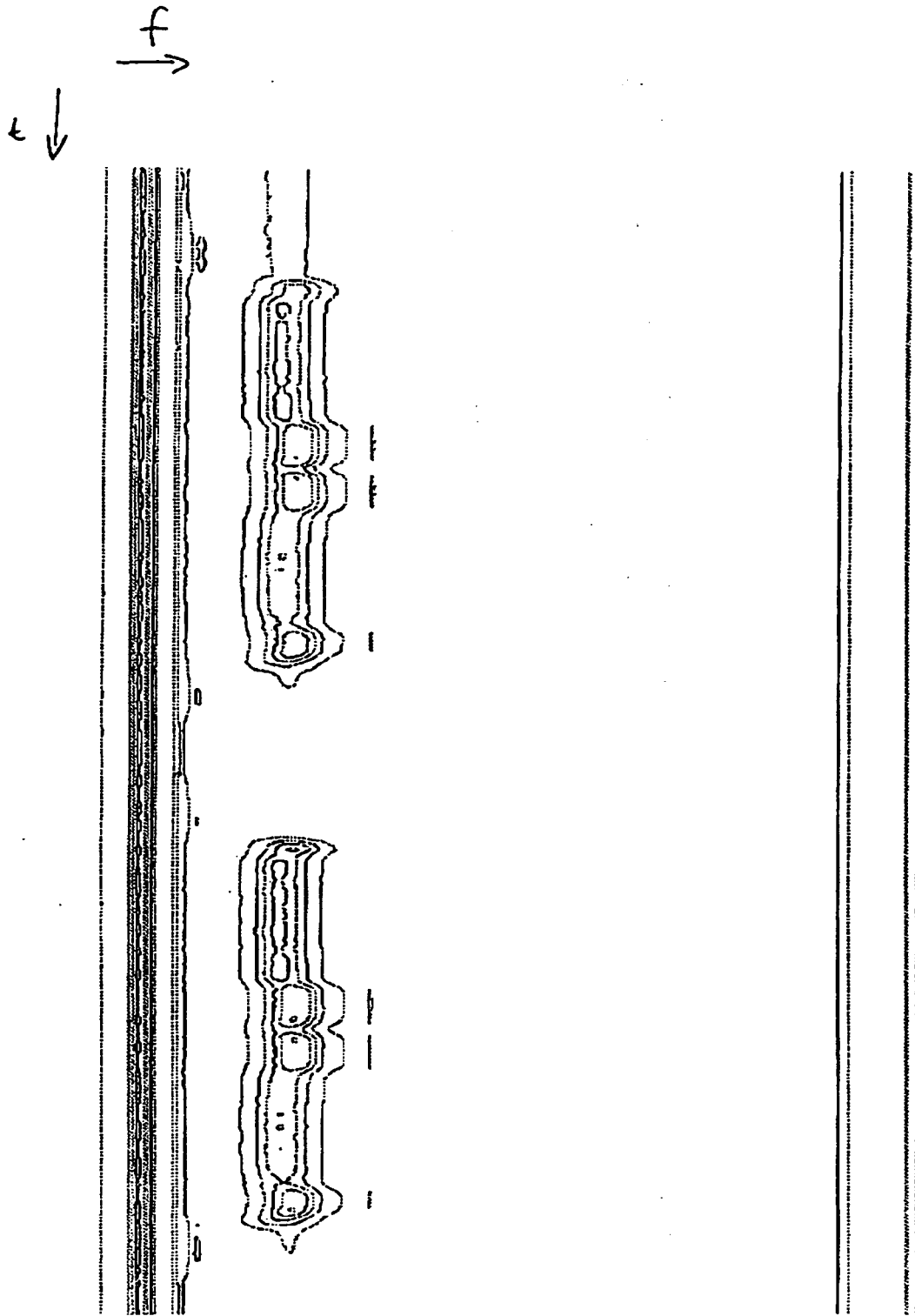


Fig. 5

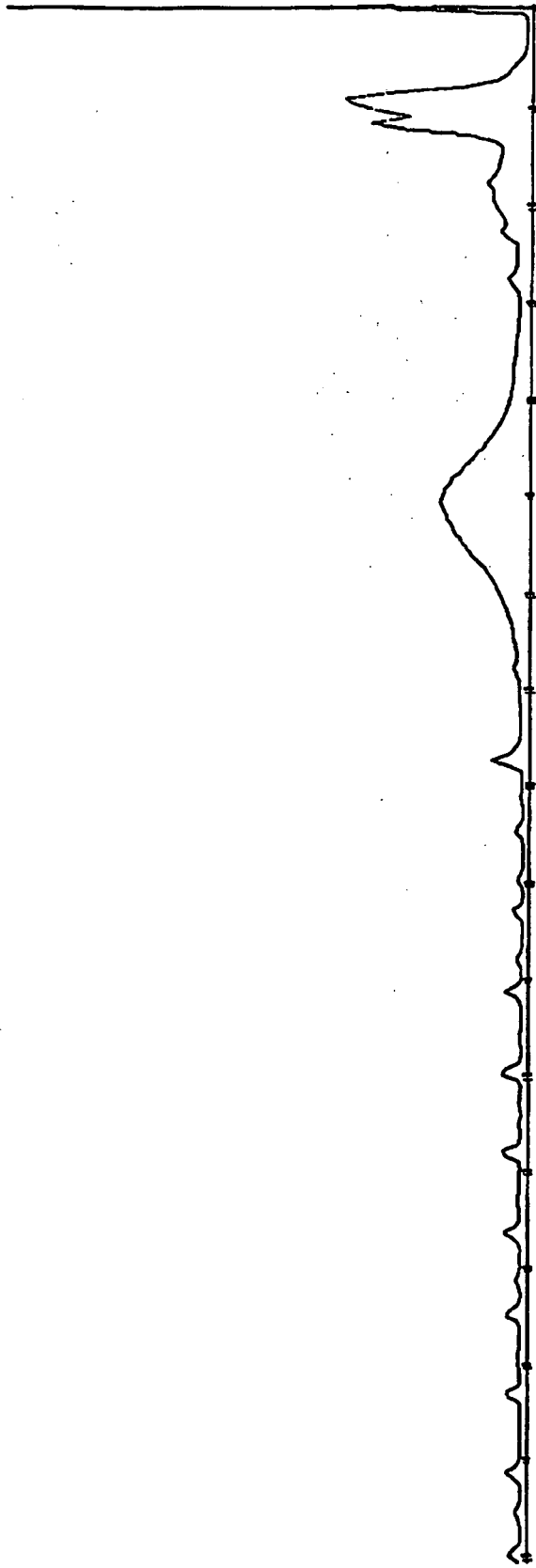


Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8