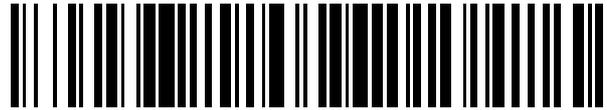


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 496 449**

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 12008605 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.06.2014 EP 2587230**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el análisis de vibraciones así como bases de datos de patrones para ello y uso 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:

19.09.2014

73 Titular/es:

**QASS GMBH (100.0%)
Schöllinger Feld 28
58300 Wetter, DE**

72 Inventor/es:

SEUTHE, ULRICH

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ-VEGA FEIJOO, María Covadonga

ES 2 496 449 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 bases de datos de patrones para ello y uso de una base de datos de patrones

5

Campo de la invención

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para el análisis del espectro de vibraciones producido durante el uso de un componente, en la inspección de un componente y/o durante el mecanizado de una pieza de trabajo mediante arranque de virutas, soldadura, conformación, ensamblaje y/o separación o similares. La invención se refiere además a una base de datos de patrones para ello y a su uso.

10

Antecedentes de la invención

15 En el estado de la técnica se conocen muchos procedimientos para la observación del mecanizado a máquina de piezas de trabajo.

Así, por el documento DE 10 2005 034 768 A1 se conoce un procedimiento para supervisar el estado operativo de una máquina herramienta, para diagnosticar estados críticos ya antes de producirse una avería y así evitar los costes y gastos provocados por daños y fallos no planificados. En el caso del procedimiento conocido se supervisan componentes rotatorios de una máquina herramienta tales como, por ejemplo, rotores de husillos de herramientas o motores, bombas o ventiladores por medio de un sensor de vibración. Para ello se detectan vibraciones de baja frecuencia mediante el sensor de vibración, para detectar desequilibrios y/o vibraciones de la herramienta y así, por ejemplo, reconocer una herramienta mal equilibrada, sujeta de manera errónea o desgastada. A este respecto, la evaluación se produce gráficamente basándose en valores aislados de amplitudes de señal a frecuencias establecidas. Sin embargo, una evaluación de este tipo de vibraciones de baja frecuencia individuales, tal como se conoce también por los documentos DE 102 44 426 D4 y DE 103 40 697 A1, sólo es adecuada de manera limitada para la valoración de un proceso de mecanizado por arranque de virutas en cuanto a la calidad del mecanizado de la pieza de trabajo.

20

25

30

Para optimizar un proceso de mecanizado por arranque de virutas se conoce por el documento DE 698 04 982 T2 detectar vibraciones de baja frecuencia durante el mecanizado de la pieza de trabajo y en función de información sobre la herramienta indicar valores de referencia para el número de revoluciones de la herramienta, con los que pueden eliminarse o reducirse vibraciones no deseadas, que se conocen como traqueteo.

35

El documento DE 44 05 660 A1 hace referencia igualmente a la reducción o prevención de un traqueteo de este tipo, que se registra mediante un sensor de vibración, y para ello utiliza un mecanismo de regulación.

40

45

Por el documento D 94 03 901 se conoce una disposición de sensores de vibración para la obtención de señales a partir del proceso de mecanizado por arranque de virutas. En este caso, un sensor de sonido estructural está fijado a un brazo palpador, que está en contacto con la pieza de trabajo, de modo que se transmiten las señales acústicas o vibraciones de tipo traqueteo generadas por el proceso de mecanizado desde la pieza de trabajo al sensor. Es cierto que el documento D 94 03 901 habla en este contexto de señales acústicas de alta frecuencia. Sin embargo, el término "en alta frecuencia" se utiliza en relación con el documento DE 38 29 825 A1, que proporciona un intervalo de frecuencias de entre 20 kHz y 2 MHz para una formación de valores medios. Incluso este intervalo de frecuencias prácticamente no puede transmitirse ni reconocerse mediante el acoplamiento de brazo palpador del documento D 94 03 901.

50

55

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

60

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

65

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

Todos los procedimientos conocidos presentan la desventaja de que la herramienta y el proceso de mecanizado por arranque de virutas sólo pueden valorarse de manera insuficiente.

65

Además los procedimientos conocidos están limitados a un mecanizado por arranque de virutas.

En el estado de la técnica no se conocen procedimientos fiables basados en sonidos para la observación de otros procesos de mecanizado tales como por ejemplo soldadura (soldadura por láser, soldadura eléctrica, etc.), conformación, ensamblaje y/o separación o similares.

Así, actualmente, se utilizan sistemas ópticos para supervisar una operación con láser, que miden la luz reflejada por la zona de acción y a partir del espectro o la intensidad intentan derivar cómo la operación con láser real se recibe por el material. De este modo no siempre pueden alcanzarse resultados satisfactorios, porque deben unirse varios materiales entre sí y no puede comprobarse la operación de soldadura de penetración total, es decir, si la energía láser también provoca la fusión y penetración térmica necesarias de todos los componentes, mediante emisión láser reflejada en la superficie.

Además, en el estado de la técnica no se conocen procedimientos fiables basados en sonidos para la observación de componentes en funcionamiento, como por ejemplo una rueda de acero de un vagón de ferrocarril, durante el funcionamiento del tren, o de un componente de un motor durante el funcionamiento. La prevención de fallos de componentes es indispensable en particular en el caso de aplicaciones relevantes con respecto a la seguridad como por ejemplo en el transporte de personas por, por ejemplo, trenes, aviones y automóviles o en instalaciones con riesgo potencial como por ejemplo centrales eléctricas y sólo es posible con un elevado esfuerzo económico mediante inspecciones regulares fuera del funcionamiento.

Resumen de la invención

Partiendo de esto, la invención se basa en el objetivo de crear un procedimiento y un dispositivo para el análisis de vibraciones, en particular el análisis acústico, así como una base de datos de patrones para ello y un uso de una base de datos de patrones para un análisis de vibraciones, con los que sean posibles una observación y/o evaluación precisas de un componente, pieza de trabajo, herramienta y/o proceso de mecanizado.

Este objetivo se alcanza según las características de la reivindicación 1, 13, 15 ó 16.

Según esto, se crea un procedimiento para el análisis de vibraciones, en el que se detectan y evalúan las vibraciones de un componente o pieza de trabajo o herramienta, en el que se detecta un espectro de vibraciones en diferentes momentos o de manera continua y se somete a una evaluación multidimensional.

A este respecto, las vibraciones pueden producirse durante el uso de un componente como por ejemplo de una rueda de acero o de un eje de un ferrocarril en funcionamiento, en la inspección de un componente en estado montado o desmontado, dado el caso provocando la vibración desde fuera mediante golpes o acoplamiento acústico o con movimiento, etc., y/o durante el mecanizado de una pieza de trabajo mediante arranque de virutas, soldadura, conformación, ensamblaje y/o separación o similares. El uso de un análisis de vibraciones para cada una de estas aplicaciones y para otras aplicaciones técnicamente comparables tiene importancia en sí mismo en cada caso para la invención.

La detección según la invención del espectro de vibraciones en diferentes momentos y preferiblemente de manera continua o casi continua con una frecuencia de muestreo conveniente permite una evaluación de datos multidimensional, que constituye la base para una evaluación precisa de un componente, pieza de trabajo, herramienta y/o un mecanizado.

La evaluación de datos multidimensional, para una forma de realización preferida, puede ilustrarse con tres dimensiones a modo de ejemplo mediante un paisaje, que entonces puede extenderse en el espacio definido por ejemplo por un eje de frecuencia, uno de tiempo y uno de amplitud. El paisaje visualiza las emisiones acústicas en el transcurso temporal y presenta a este respecto rasgos característicos, que en cada caso forman en cierto modo una huella digital. Estos rasgos característicos pueden determinarse con métodos adecuados. Del mismo modo pueden determinarse desviaciones con respecto a estos rasgos característicos. Para determinados defectos o tipos de defectos también pueden determinarse rasgos característicos en los datos multidimensionales. En general, basándose en los datos multidimensionales, que en la forma de realización preferida forman un paisaje en el espacio de frecuencia-tiempo-amplitud, puede determinarse con gran fiabilidad la calidad de un mecanizado a máquina de una pieza de trabajo en particular todavía durante el mecanizado en tiempo real, concretamente de manera universal en un gran número de procesos de mecanizado como por ejemplo mecanizado mediante arranque de virutas, soldadura, conformación, ensamblaje, separación y/o similares. Mediante los rasgos característicos correspondientes también puede determinarse e identificarse el grado de desgaste de la herramienta o un defecto en la herramienta como por ejemplo una rotura de la broca. Finalmente, en una inspección de componentes puede determinarse la desviación con respecto a los rasgos característicos esperados y la coincidencia con características de defecto puede diagnosticar un determinado defecto o tipo de defecto. A este respecto, la inspección de componentes puede realizarse en sí misma con el componente en funcionamiento; por ejemplo con un tren en funcionamiento puede captarse en el eje o la rueda un espectro de vibraciones y en particular un espectro de emisiones acústicas y realizarse una inspección para detectar rasgos característicos, para determinar por ejemplo

un desgaste, un grado de desgaste, un defecto como por ejemplo una rotura o una fisura o bien un comportamiento normal o en general, una desviación con respecto al comportamiento normal.

5 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 por ordenador de manera rápida y fiable y con parámetros de reconocimiento ajustables y que acceden a datos de espectro de vibraciones almacenados o procesan los datos de espectro de vibraciones en tiempo real.

10 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 segmentos de paisaje de patrón dado el caso con intervalos de tolerancia y/o definidos por funciones. Esto posibilita, por un lado, el uso de patrones establecidos para una determinada aplicación o clase de aplicación, por ejemplo patrones para una determinada etapa de mecanizado por perforación. Además, durante una fase de aprendizaje, pueden recopilarse datos y
15 almacenarse como patrones y dado el caso con valores de tolerancia. Así, por ejemplo, durante la perforación y el cambio de la pieza de trabajo y el cambio de la herramienta puede registrarse el espectro de emisiones acústicas y a partir de aquí pueden extraerse patrones, basándose en los cuales puede realizarse la valoración de mecanizados posteriores. De este modo es posible, de manera sencilla y dado el caso automatizada, una adaptabilidad individual de los patrones por ejemplo a un determinado proceso o una determinada máquina de mecanizado o un
20 determinado componente o una determinada situación de inspección para un componente. A este respecto, los patrones pueden cubrir intervalos de valores para definir desviaciones tolerables y/o simplificar la posibilidad de reconocimiento.

25 Para una valoración automatizada está previsto preferiblemente formar una envolvente del espectro de vibraciones detectado o de segmentos del mismo, y compararla con una envolvente de comparación. A este respecto, la envolvente se forma por ejemplo mediante una función de suavizado, promediando puntos de datos adyacentes en el espacio o utilizando procedimientos convenientes para suavizar datos multidimensionales. Puede recurrirse a la desviación entre la envolvente y la envolvente de comparación como medida para una evaluación de un componente, pieza de trabajo, herramienta y/o proceso, por ejemplo de la calidad de un proceso de mecanizado por arranque de virutas. Además, el uso de una envolvente permite identificar de manera automatizada segmentos de
30 proceso como por ejemplo un contacto de pieza de trabajo o un determinado mecanizado. Además se simplifica el reconocimiento de patrones mediante el uso de una envolvente y se mejora la tasa de reconocimiento.

35 El espectro de vibraciones se detecta y evalúa preferiblemente en alta frecuencia y/o banda ancha.

Es conveniente una banda ancha porque en regiones del espectro de emisiones acústicas pueden aparecer rasgos característicos, que se distancian mucho en su frecuencia. Así, una formación de fisuras presenta una "huella digital" de alta frecuencia, mientras que una rotura de la broca deja rasgos de frecuencia relativamente menor en el espectro de emisiones acústicas y un defecto de la máquina, como por ejemplo una rotación errónea de un torno,
40 deja rasgos característicos en la región de baja frecuencia del espectro de vibraciones. Preferiblemente se detecta todo el espectro de frecuencias de las vibraciones, para lo cual, dado el caso, pueden estar previstos diferentes sensores, que cubren diferentes intervalos de frecuencias. En la forma de realización preferida sólo se utiliza un sensor, concretamente un sensor acústico, sin embargo en otras formas de realización adicional o alternativamente también pueden utilizarse otros sensores de vibración.

45 La detección de alta frecuencia posibilita ventajosamente una evaluación también de operaciones microscópicas en o dentro del componente o pieza de trabajo o herramienta.

50 Así, por ejemplo, en el mecanizado por arranque de virutas de un cuerpo sólido se arrancan partes de material de su posición contra su fuerza de unión. La fuerza necesaria para ello se aplica mediante una herramienta. Las fuerzas de unión se mantienen entre partes microscópicamente pequeñas. Por ello, el mecanizado por arranque de virutas también puede entenderse como sucesión de separaciones microscópicas. Cada una de estas pequeñas separaciones envía un impulso a través de los materiales adyacentes. A través de estos impulsos se producen vibraciones. Las frecuencias de vibración dependen de la duración del impulso y de la elasticidad del material. A
55 este respecto, cada mecanizado por arranque de virutas está compuesto por una sucesión de muchas separaciones microscópicas, es decir, también por una sucesión de muchos impulsos pequeños. Estos impulsos se producen con una sucesión temporal. Tras haberse producido una separación microscópica vuelve a formarse una fuerza de separación en las siguientes partículas de material todavía unidas en el trayecto de la herramienta de mecanizado por arranque de virutas. Tras superar la fuerza de separación necesaria se produce el siguiente impulso. De este modo se producen siempre nuevas estimulaciones de la vibración, cuya distribución en el tiempo está relacionada con la velocidad de corte y el tamaño de las partículas de material separadas. De aquí se obtiene una estimulación de la vibración de material y herramienta, cuya frecuencia y cuyo desarrollo de amplitud son característicos de la respectiva operación de mecanizado por arranque de virutas.

65 Por tanto, estas separaciones microscópicas llevan a un espectro de vibraciones de mecanizado por arranque de virutas de alta frecuencia a partir del que pueden obtenerse características sobre la operación de mecanizado por

arranque de virutas real a nivel microscópico.

En las aplicaciones adicionales de la invención como por ejemplo soldadura o la inspección de componentes se producen igualmente rasgos característicos de alta frecuencia en el espectro de vibraciones.

El espectro de vibraciones detectado se somete preferiblemente a un análisis de frecuencia-tiempo. Mediante el análisis de frecuencia-tiempo, por un lado, pueden asociarse en el eje de tiempo las vibraciones registradas al desarrollo de proceso y por otro lado, pueden separarse las vibraciones interesantes de las vibraciones no interesantes como por ejemplo vibraciones de máquina y vibraciones parásitas, que ocupan otros intervalos de frecuencias. Por tanto, la evaluación puede concentrarse en el intervalo característico de la respectiva aplicación.

El espectro de vibraciones se detecta preferiblemente con una resolución de frecuencia que corresponde a la granulosidad microscópica del material del componente o de la pieza de trabajo y dado el caso a factores adicionales dependientes de la aplicación. En un proceso de mecanizado por arranque de virutas por ejemplo debe tenerse en cuenta la velocidad de mecanizado por arranque de virutas como factor adicional. Así, por ejemplo, con una velocidad de mecanizado por arranque de virutas 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 mecanizado por arranque de virutas asociadas. En función de la granulosidad microscópica, que puede situarse por encima o por debajo del intervalo de μm , y de la velocidad de mecanizado por arranque de virutas se obtienen resoluciones de frecuencia superiores o inferiores. Según la invención, la resolución de frecuencia se sitúa preferiblemente a 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 de frecuencia f , tiempo t y amplitud A . Esta detección es adecuada para un análisis numérico en un 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 se almacena una matriz tridimensional en una dependencia funcional dada con respecto a f, t, A , por ejemplo (lf, mt, nA^x) , siendo l, m, n, x cualquier número. Para la ilustración y/o el análisis manual, el espectro de vibraciones puede representarse gráficamente con las tres coordenadas. En este caso puede seleccionarse una representación tridimensional en la que la frecuencia y el tiempo definen un plano y mediante la amplitud (o una función de la misma) se define un perfil de altura. Una representación gráfica de este tipo facilita el reconocimiento de las vibraciones relevantes para la valoración, por ejemplo mediante la separación en el eje de tiempo pueden asignarse al desarrollo de mecanizado y se separan de vibraciones de máquina y otras vibraciones parásitas en el eje de frecuencia.

Para el registro de las vibraciones se utiliza preferiblemente un sensor acústico, en particular un sensor acústico piezoeléctrico. Este tipo de sensores acústicos pueden procesar las altas frecuencias necesarias según la invención, presentan un ancho de banda de frecuencia grande, pueden fabricarse de manera económica y no requieren mantenimiento.

El sensor, en particular el sensor acústico que puede estar dispuesto en el componente, la pieza de trabajo o en la herramienta o un componente acoplado por vibración con el componente, la pieza de trabajo y/o la herramienta, se calibra tras su montaje y preferiblemente también periódicamente después o antes de cada uso. De este modo se garantiza una precisión alta invariable de la medición. Una calibración es en particular especialmente conveniente cuando el sensor se coloca en una nueva pieza de trabajo o para su mantenimiento, debe soltarse y volver a colocarse, porque por la colocación puede establecerse otro comportamiento de acoplamiento. Para la calibración, según la invención, el sensor acústico se solicita 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 componente y considerarse en la medición.

La evaluación se produce preferiblemente en tiempo real. De este modo se elimina la necesidad de almacenar datos. Un almacenamiento de los datos puede ser conveniente en el caso de componentes relevantes con respecto a la seguridad para comprobar la ausencia de defectos, o para comprobar un defecto. Los datos pueden almacenarse completamente durante todo el proceso de mecanizado o toda la duración de supervisión de una pieza de trabajo o componente o sólo por fragmentos en intervalos de tiempo, en los que se han reconocido los rasgos interesantes.

Un aspecto adicional de la invención se refiere a la transformación del espectro de vibraciones, o de un intervalo de frecuencias interesante del mismo, en el espectro acústico audible por medio de una función o representación adecuada, por ejemplo lineal. Esto posibilita una observación o valoración acústica por una persona. De manera conveniente, la observación acústica se realiza de manera complementaria a la evaluación multidimensional, aunque también puede sustituirla.

En una forma de realización especialmente conveniente se reconocen patrones típicos para daños en el espectro de vibraciones. En este caso puede obtenerse, entre otros, una simplificación de la evaluación, que se limita a un

reconocimiento de defectos.

5 La invención también posibilita reconocer defectos no relacionados directamente con el mecanizado de una pieza de trabajo. Por ejemplo pueden reconocerse fisuras por tensión producidas por oscilaciones de temperatura o en general daños por acción externa.

10 Además pueden reconocerse fisuras por sobrecarga y/o fatiga. Esto es ventajoso en particular en la inspección de un componente o en la observación de un componente en funcionamiento, por ejemplo en la supervisión de una rueda de un vagón de ferrocarril.

La invención crea así procedimientos y dispositivos que posibilitan una supervisión automática, una garantía de seguridad e inspección de componentes, piezas de trabajo y procesos de mecanizado.

15 A partir de la siguiente descripción, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, se deducen rasgos y configuraciones adicionales de la invención.

Descripción de las figuras

20 La figura 1 ilustra esquemáticamente un dispositivo para valorar procesos de mecanizado por arranque de virutas.

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

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

25 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.

30 Las figuras 7 y 8 muestran una proyección de toda la gama de frecuencias registrada de la figura 1 en el eje de tiempo para diferentes herramientas.

Descripción de las formas de realización

35 A continuación, la invención se describirá inicialmente con el ejemplo de realización de un proceso de mecanizado por arranque de virutas.

40 El dispositivo 1 representado en la figura 1 para la realización de un análisis de vibraciones, en este caso, para la valoración de un proceso de mecanizado por arranque de virutas, 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 mecanizar una pieza 5 de trabajo por arranque de virutas. El sensor 2 está unido con un equipo 6 de evaluación, por ejemplo un ordenador. En configuraciones adicionales de la invención, la pieza de trabajo se mecaniza de otro modo, por ejemplo se suelda, conforma, ensambla y/o separa, o se inspecciona un componente o se observa durante su uso en estado montado.

45 El sensor 2 es preferiblemente un sensor de sonido estructural, por ejemplo un sensor piezoeléctrico, y preferiblemente no sólo puede registrar señales de sonido estructural, sino también emitir las. La emisión de señales de sonido estructural es conveniente en particular para la inspección de componentes porque así pueden hacerse vibrar. Igualmente pueden utilizarse otros tipos de sensores, siempre que puedan detectar vibraciones en el intervalo de frecuencias interesante, por ejemplo sensores de movimiento.

50 El sensor 2 está acoplado tal como se representa a modo de ejemplo o bien a la herramienta 3 o bien a la máquina 4 herramienta o la pieza 5 de trabajo o una pieza acoplada por vibración a la misma, 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 fijado mediante tornillos.

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

60 Durante la operación de mecanizado se producen vibraciones en la pieza 5 de trabajo y la herramienta 3, que se registran 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. De manera ideal, el valor límite inferior es 0 y el valor límite superior es ∞ de modo que puede registrarse 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, las frecuencias por debajo de 90 kHz o 40 kHz preferiblemente se atenúan o interrumpen porque no contienen información útil, de modo que es conveniente un valor límite inferior correspondiente, aunque también puede situarse a 200 kHz, 500 kHz o 1 MHz.

El intervalo de frecuencias real del sensor 2 debe seleccionarse mediante el material que va a mecanizarse y la velocidad de mecanizado. Las figuras 2, 3 muestran cristalitas típicas en una estructura de acero. De manera evidente, los tamaños de grano varían en cuanto a su tamaño, concretamente según el proceso de enfriamiento y los componentes de aleación. En caso de que la granulosidad del material sea por ejemplo $1\ \mu\text{m}$ y la velocidad de mecanizado $3000\ \text{m/min}$, el valor límite superior deberá ascender al menos a $50\ \text{MHz}$ para poder detectar las vibraciones de mecanizado por arranque de virutas interesantes. Con una velocidad de mecanizado de $400\ \text{m/min}$ y un tamaño de grano promedio de $1\ \mu\text{m}$ se obtiene una resolución mínima de $6,66\ \text{MHz}$. Como, sin embargo, la punta de la herramienta (por ejemplo $1\ \text{mm}$) es muy grande en comparación con las cristalitas (por ejemplo $1\ \mu\text{m}$) detecta siempre muchas cristalitas al mismo tiempo (por ejemplo 1000), concretamente con un ligero desplazamiento por fracciones del tamaño de grano; por tanto es conveniente una resolución de frecuencia esencialmente superior con respecto a la resolución mínima para detectar toda la información de frecuencia interesante durante el proceso de mecanizado por arranque de virutas.

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

En la unidad 6 de evaluación puede producirse un análisis de frecuencia-tiempo de tal manera que el espectro de vibraciones todavía se represente gráficamente durante la detección o después y/o se analice de manera numérica.

Una representación puede producirse de manera tridimensional tal como se ilustra en la figura 4 con las coordenadas de tiempo, frecuencia y amplitud (o amplitud o intensidad máxima o similares) o de manera bidimensional tal como se ilustra en la figura 5, haciendo visible líneas de nivel la amplitud. En la figura 5, a la izquierda, a bajas frecuencias se hace visible el árbol de accionamiento, a la derecha se encuentran interferencias de alta frecuencia y entremedias es visible el rectificado posterior de dos dientes de un árbol de transmisión de automóvil. Se representa un corte en un tiempo t en la figura 6, que muestra un espectro de frecuencias típico.

Pueden reconocerse patrones, en particular las islas en la figura 5, que son característicos del respectivo proceso. Este tipo de patrones se producen también para defectos. Como consecuencia, mediante el reconocimiento de patrones pueden reconocerse etapas de proceso, evaluarse determinando por ejemplo una medida para la desviación con respecto a un patrón, y también reconocerse e identificarse defectos (rotura de la broca, ausencia de herramienta etc.), de cualquier modo reconocerse desviaciones con respecto al comportamiento normal todavía durante un mecanizado.

La evaluación puede producirse mediante la figura 4, 5 ó 6, que pueden compararse con datos de comparación o valores empíricos y a partir de las que pueden derivarse características durante el proceso de mecanizado por arranque de virutas. Para ello pueden utilizarse patrones a partir de una base de datos de patrones. Los patrones pueden ser segmentos de superficie característicos descritos de manera funcional o almacenados en una base de datos de patrones, cuya existencia debe determinarse en el espectro de vibraciones detectado.

Las figuras 7 y 8 muestran una proyección de toda la gama de frecuencias registrada de la figura 1 en el eje de tiempo, de modo que se produce una imagen bidimensional. Se trata de registros de dos procesos de giro inmediatamente sucesivos en un componente de acero. La figura 7 muestra la emisión en el uso de una herramienta desgastada, mientras que la figura 8 muestra la emisión tras el montaje de una nueva herramienta. La figura 8 es evidentemente más plana y puede utilizarse como referencia para el proceso de giro determinado, pudiendo recurrirse a diferencias al respecto para examinar la herramienta y/o la pieza de trabajo. En este caso, en una evaluación automatizada de los conjuntos de datos tridimensionales detectados pueden situarse envolventes de referencia correspondientes alrededor del paisaje detectado. Como medida para la calidad del mecanizado, de la herramienta, etc. pueden utilizarse diferencias, valores medios, dispersiones, etc.

A este respecto, el espectro de vibraciones depende no sólo de la herramienta y de la pieza de trabajo, sino también de la velocidad de mecanizado, de la máquina herramienta, del material de consumo (por ejemplo aceite refrigerante), etc. Así, el espectro de vibraciones también puede suministrar información sobre la máquina herramienta o el material de consumo, etc. Así, el espectro de vibraciones se modula posiblemente mediante las vibraciones de la máquina herramienta, por ejemplo $200\ \text{Hz}$.

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

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

El reconocimiento de fisuras al cargar componentes como por ejemplo ruedas se posibilita con gran fiabilidad mediante la observación en tiempo real de banda ancha de señales de sonido estructural.

5 Una observación con detección de frecuencia posibilita un filtrado selectivo de ruidos de trabajo normales y daños de componentes que aparecen espontáneamente debido a fisuras por sobrecarga o fatiga en la estructura.

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

10 Una observación en tiempo real de preferiblemente todo el desarrollo de frecuencia a lo largo del tiempo posibilita reconocer modificaciones en el desarrollo de proceso e intervenir en tales oscilaciones para su regulación, de modo que pueden evitarse de manera preventiva daños que se producen.

15 En instalaciones para provocar de manera controlada daños, como por ejemplo bancos de pruebas, puede observarse el progreso de un desarrollo de daños convencional. De este modo se hace posible valorar no sólo la magnitud del daño posteriormente, sino también el desarrollo temporal de la formación del daño así como las incidencias cuantitativas en el desarrollo del daño.

20 Mediante la comparación del espectro de vibraciones detectado con patrones de daños y patrones normales depositados es posible reaccionar de manera muy flexible a la aparición de daños de un componente o a desviaciones con respecto al proceso también cuando se desplacen o modifiquen intervalos de frecuencias o se detecten nuevas señales no conocidas hasta el momento.

25 En el caso de una separación de frecuencias o filtrados de frecuencias fija desde un principio no es posible una reacción y un reconocimiento flexibles de este tipo.

La invención también puede aplicarse en el caso de soldadura, en particular en la soldadura por láser.

30 En el mecanizado de materiales con un láser se calientan los materiales y de este modo se modifican las tensiones en la estructura. Cada modificación de tensión de este tipo genera una onda de presión, que se propaga por el material. Estas oscilaciones de presión como consecuencia de la conformación térmica por energía láser pueden detectarse por medio de un sensor de sonido estructural y evaluarse según la invención.

35 Actualmente se utilizan sistemas ópticos para supervisar una operación con láser, que miden la luz reflejada por la zona de acción y a partir del espectro o la intensidad intentan derivar cómo la operación con láser real se recibirá por el material. De este modo no siempre pueden alcanzarse resultados satisfactorios, porque deben unirse varios materiales entre sí y no puede comprobarse la operación de soldadura de penetración total, es decir, si la energía láser también provoca la fusión y penetración térmica necesarias de todos los componentes, mediante emisión láser reflejada en la superficie.

40 Mediante sensores de sonido estructural en los componentes o las piezas de trabajo, según la invención puede detectarse si se producen oscilaciones de tensión a consecuencia del calentamiento térmico en los componentes y las oscilaciones de tensión pueden analizarse para evaluar el proceso de soldadura.

45 La absorción de energía mediante la luz láser genera oscilaciones de temperatura en la estructura y con ello tensiones de presión, ondas de presión y frecuencias variables que permiten obtener conclusiones con respecto al tipo de modificaciones térmicas en la estructura. Así es posible representar la energía de soldadura y/o la energía absorbida por el material. En particular pueden reconocerse defectos de soldadura como la no soldadura de penetración total en varios componentes que van a unirse, la aparición de orificios a consecuencia de una transmisión de energía demasiado intensa o la ausencia del rayo láser mediante la evaluación multidimensional según la invención del espectro de vibraciones.

50 A este respecto, el sensor de vibración o en particular el sensor acústico, dado el caso varios sensores acústicos, pueden acoplarse por vibración por medio de un dispositivo a las piezas de trabajo. El o los sensores también pueden colocarse en dispositivos de sujeción, que al sujetar los componentes o las piezas de trabajo entran en contacto con acoplamiento por vibración con los componentes o las piezas de trabajo.

60 Según la invención se posibilita una supervisión durante el proceso de un mecanizado, en particular de una operación de soldadura con láser, en la que no se requieren medidas adicionales para la observación o valoración de la calidad.

La invención es adecuada también para la observación de un proceso de conformación.

65 En cada proceso de conformación de cuerpos sólidos se introducen tensiones en el componente o se rompen. Estas modificaciones de fuerzas llevan a ondas de presión que se propagan a través del componente o la herramienta.

Las frecuencias de estas ondas de presión dependen de la dinámica del proceso de conformación, de la velocidad de la fuerza y también de la microestructura del material.

5 En general pueden aparecer frecuencias muy altas. El análisis de la emisión acústica en frecuencia y tiempo posibilita una descripción precisa del proceso de conformación y forma en cierto modo una huella digital de cada proceso de conformación concreto. En este caso son posibles variaciones por propiedades de material y desarrollos de proceso diferentes.

10 El procedimiento según la invención puede aplicarse tanto en la conformación en frío como en la conformación en caliente. Pueden reconocerse defectos tales como por ejemplo herramientas de conformación dañadas, rotas o ausente. Pueden reconocerse resistencias variables del componente en la conformación, la ausencia de propiedades o propiedades modificadas de medios operativos tales como medios de deslizamiento/lubricantes, en la conformación en caliente, en particular variaciones en la temperatura. Ya diferencias de temperatura reducidas de 1°C pueden llevar a modificaciones considerables de las fuerzas de conformación y de este modo a propiedades modificadas en la dinámica de conformación y las emisiones de ondas de presión.

15 En caso de que el componente se enfríe dentro del proceso de conformación durante la detección de vibraciones, también puede observarse y valorarse la operación de relajación o enfriamiento y contracción y la operación de modificación estructural del material y llegarse a una conclusión acerca del proceso de enfriamiento.

20 Esto se aplica tanto para vibraciones, en particular emisiones de sonidos estructurales, que proceden en sí mismas de la modificación estructural, como de las emisiones por fuerzas entre componente y herramienta, que tienen lugar durante la modificación del volumen.

25 La invención posibilita evidentemente en general la observación y valoración en particular automatizada de casi todos los procesos de mecanizado mediante los espectros de vibración que se producen durante el mecanizado incluyendo la posible fase de enfriamiento o similares, que como se ha descrito presentan rasgos característicos para comportamientos normales y desviaciones de los mismos. Además de los mecanizados descritos anteriormente a modo de ejemplo por arranque de virutas, basados en soldadura y con conformación la invención también puede aplicarse en el ensamblaje y la separación.

30 En cada operación de ensamblaje o separación diferentes piezas interactúan entre sí. Durante el movimiento las superficies rozan unas con otras, se raspan partes de material, se separan, se introducen fuerzas de alguna manera. Cada una de estas actividades genera ondas de presión que discurren por los componentes en cuestión y que son características para la operación de ensamblaje o separación respectiva y pueden tipificarse.

35 Además es posible cuantificar y clasificar las operaciones de ensamblaje y separación según diferentes propiedades, es decir, definir y reconocer rasgos característicos.

40 Por ejemplo, al introducir a presión un árbol en un casquillo, estando fabricados ambos con tolerancias, las ondas de presión de emisión acústica ofrecen una medida para las fuerzas de introducción a presión. En el caso de una sobredimensión demasiado elevada o un diseño de tolerancias desfavorable se produce una señal acústica muy intensa, que puede indicar un defecto en la compresión. Con la evaluación multidimensional según la invención del espectro de vibraciones detectado puede reconocerse este defecto, por ejemplo mediante comparación con patrones teóricos. Del mismo modo pueden reconocerse diferentes propiedades de superficie como por ejemplo rugosidades de superficie o modificaciones de material demasiado grandes, porque presentan propiedades características en el espectro de vibraciones.

45 Esencialmente una fijación por tornillos representa esto mismo. También en este caso las superficies rozan unas con otras y se comprimen entre sí y el par de torsión aplicado junto con las propiedades de rozamiento genera emisiones acústicas que pueden tipificarse, a las que a su vez puede recurrirse para la clasificación de la fijación por tornillos.

50 Lo anterior también puede aplicarse a operaciones de separación como por ejemplo la extracción de mandriles de casquillos, extracción por presión, desenroscado, corte, etc.

55 A este respecto, la operación de mecanizado sólo se finaliza en general cuando ya no aparecen modificaciones en el componente o la pieza de trabajo. Así, por ejemplo, en la conformación o ensamblaje o soldadura, etc. puede analizarse el espectro de vibraciones por un intervalo de tiempo más largo, para por ejemplo determinar tensiones que se producen en el caso de modificaciones de temperatura, que en determinadas situaciones llevan a un daño de los componentes, también tras la finalización inmediata de la acción sobre el componente o la pieza de trabajo.

60

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el análisis de vibraciones, en el que se detectan y evalúan las vibraciones producidas durante el uso de un componente, en la inspección de un componente y/o durante el mecanizado de una pieza (5) de trabajo mediante arranque de virutas, soldadura, conformación, ensamblaje y/o separación, en el que se detecta un espectro de vibraciones en diferentes momentos o de manera (casi) continua y se somete a una evaluación multidimensional, caracterizado porque se forma una envolvente del espectro de vibraciones y se compara con una envolvente de comparación.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la evaluación se realiza de manera tridimensional.
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 en el espectro de vibraciones detectado durante un intervalo de tiempo busca patrones, 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 el espectro de vibraciones se detecta y/o evalúa en alta frecuencia y/o banda ancha; y/o en el que el espectro de vibraciones se somete a un análisis de frecuencia-tiempo.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que se detecta el espectro de vibraciones en el caso de un mecanizado mediante arranque de virutas con una resolución de frecuencia correspondiente a la granulosidad microscópica del material de la pieza (5) de trabajo mecanizada y la velocidad de mecanizado por arranque de virutas.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el espectro de vibraciones se representa gráficamente con las variables de frecuencia, tiempo, amplitud o una función de las mismas.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que se utiliza un sensor (2) acústico para registrar el espectro de vibraciones.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que se calibra el sensor (2) acústico emitiendo antes de la medición una señal acústica a través del sensor (2) acústico, detectando el eco y comparándolo 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 a la región audible para una valoración acústica por un operario.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que para daños tales como fisuras por sobrecarga y/o fatiga se reconocen patrones típicos en el espectro de vibraciones.
13. Dispositivo (1) para la realización de un análisis de vibraciones, en particular según una de las reivindicaciones 1 a 14, en el que el dispositivo puede acoplarse con un sensor (2) para detectar un espectro de vibraciones, que se produce durante el uso de un componente, en la inspección de un componente y/o durante el mecanizado de una pieza (5) de trabajo mediante arranque de virutas, soldadura, conformación, ensamblaje y/o separación, y presenta un equipo (6) de evaluación para la evaluación multidimensional del espectro de vibraciones detectado en diferentes momentos o de manera (casi) continua, caracterizado porque el dispositivo está configurado para formar una envolvente del espectro de vibraciones y para comparar la envolvente con una envolvente de comparación.
14. Dispositivo según la reivindicación 13, en el que está previsto un sensor de alta frecuencia para detectar un espectro de sonido estructural; y/o en el que está prevista una base de datos de patrones con patrones de vibración multidimensionales.
15. Base de datos de patrones para un dispositivo según una de las reivindicaciones 13 a 14, que comprende patrones de vibración multidimensionales, que son característicos de rasgos en regiones de un espectro de vibraciones, que se produce durante el uso de un componente, en la inspección de un componente y/o durante el mecanizado de una pieza (5) de trabajo mediante arranque de virutas, soldadura, conformación, ensamblaje y/o separación.

16. Uso de una base de datos de patrones según la reivindicación 15 para la observación de un componente en funcionamiento, una inspección de un componente y/o la observación de un mecanizado a máquina de una pieza (5) de trabajo mediante arranque de virutas, soldadura, conformación, ensamblaje y/o separación.

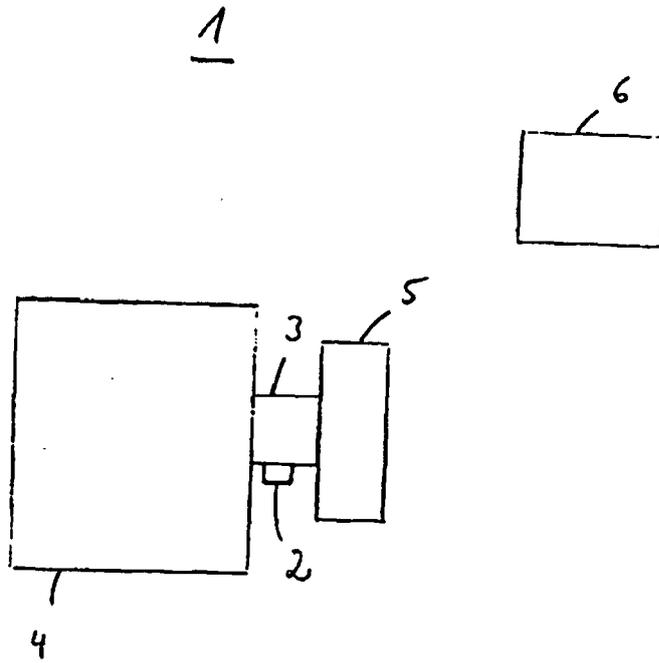


Fig. 1

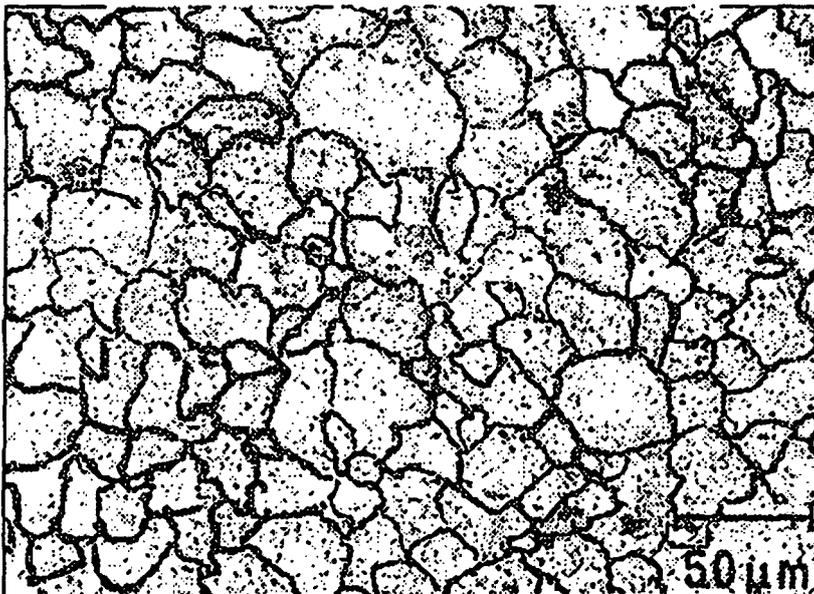


Fig. 2

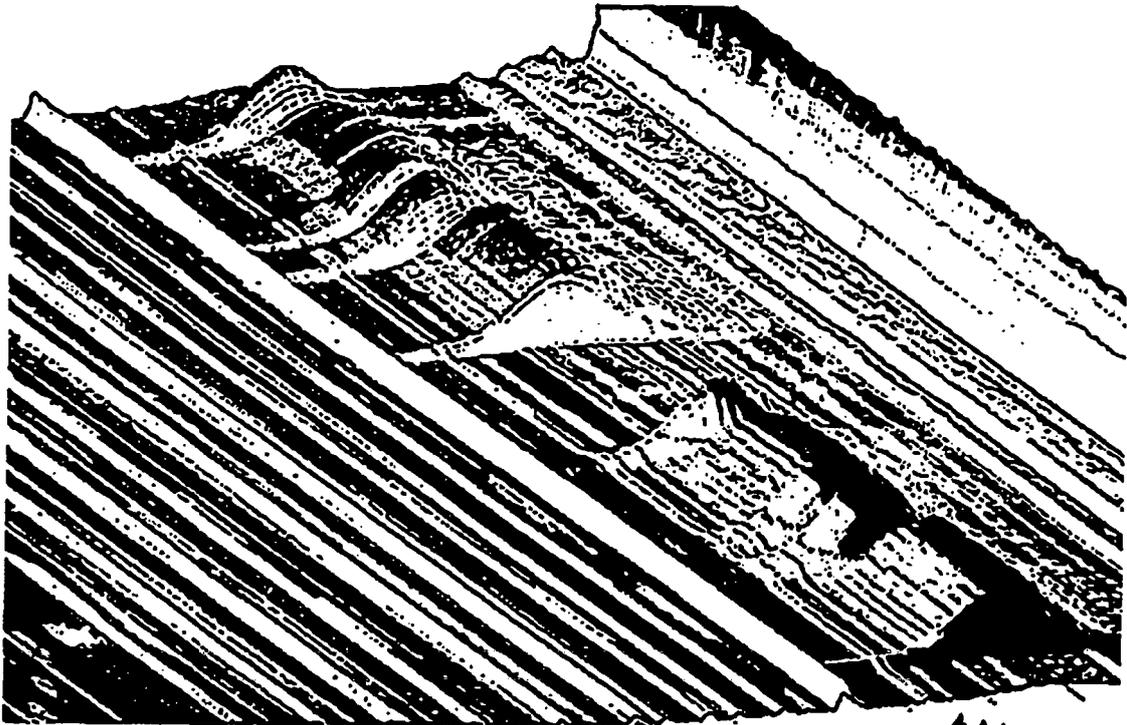


Fig. 4

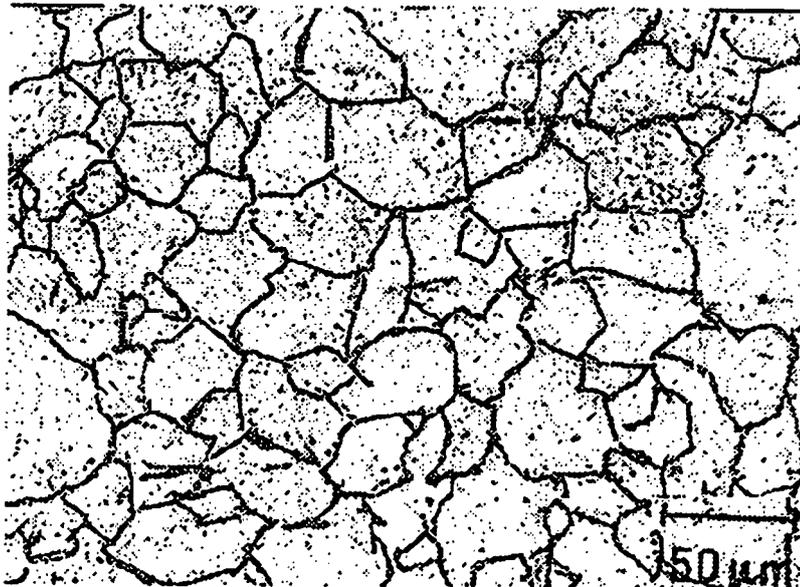
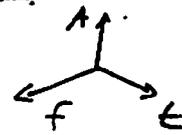


Fig. 3

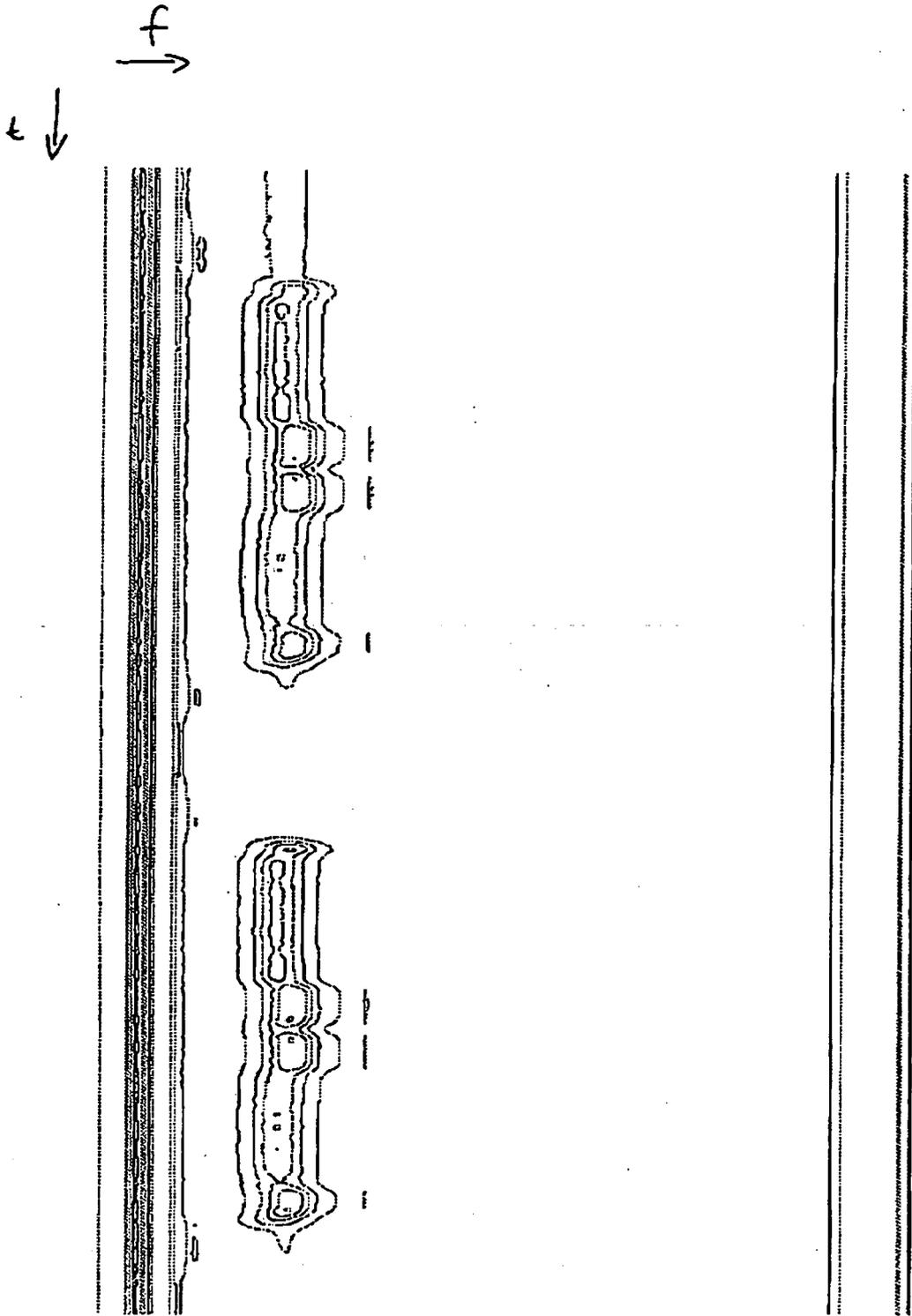


Fig. 5

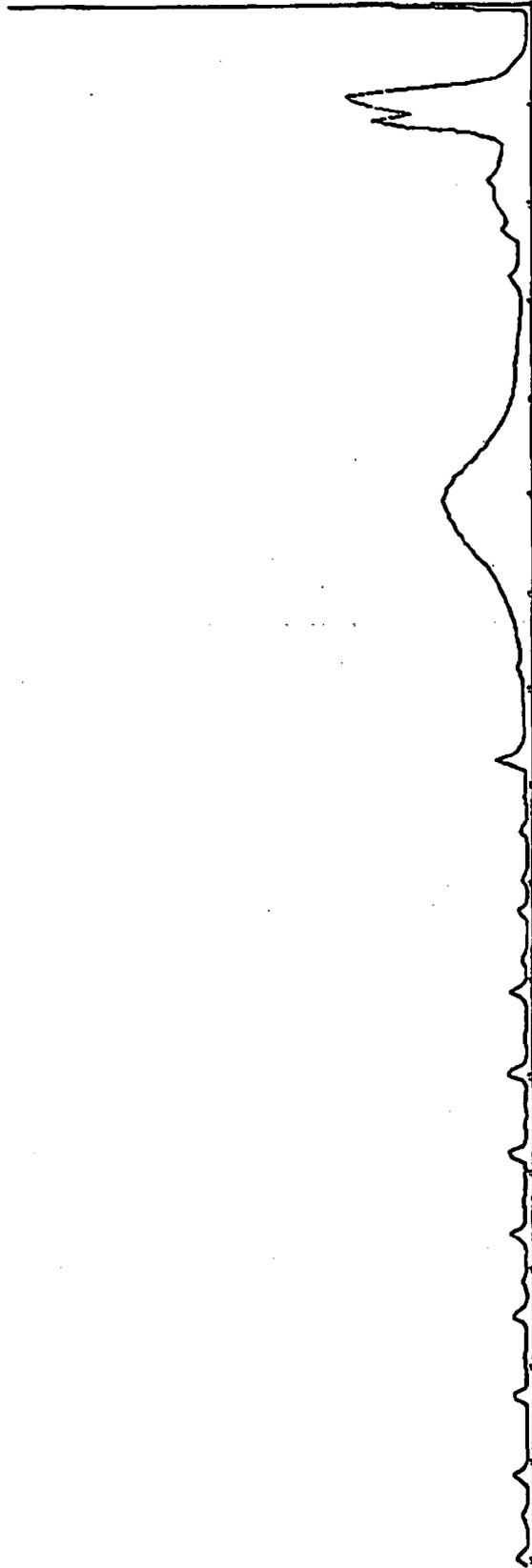


Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8