

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 384**

51 Int. Cl.:

G01N 21/55 (2014.01)

G01N 21/59 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.08.2016** **PCT/EP2016/070469**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.03.2017** **WO17042064**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2016** **E 16762757 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2024** **EP 3347702**

54 Título: **Disposición para determinar la fuerza adhesiva alcanzable, antes de formar una conexión unida cohesiva en una superficie de un elemento de unión**

30 Prioridad:

07.09.2015 DE 102015217091

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.12.2024

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. (100.0%)
Hansastr. 27c
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**GRUBER, FLORIAN;
GRÄHLERT, WULF y
WOLLMANN, PHILIPP**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 992 384 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

Disposición para determinar la fuerza adhesiva alcanzable, antes de formar una conexión unida cohesiva en una superficie de un elemento de unión

- 5 La invención se refiere a una disposición para determinar la fuerza adhesiva alcanzable, antes de formar una conexión unida cohesiva en una superficie de un elemento de unión. Los elementos de unión se pueden unir de manera cohesiva entre sí mediante pegado, soldadura o soldadura fuerte. También pueden estar conectados entre sí elementos de unión que estén fabricados ambos del mismo material, en particular plástico, metal o cerámica, o que al menos un elemento de unión sea de un polímero. Antes de crear la conexión unida cohesiva, también se pueden examinar los elementos de unión de distintos materiales. Sin embargo, la invención también se puede utilizar para determinar la fuerza adhesiva alcanzable de un recubrimiento sobre la superficie de un componente, antes de que se forme el recubrimiento, que en lo sucesivo también se denominará elemento de unión.

Por fuerza adhesiva se puede entender el efecto de adherencia que se puede alcanzar.

- 15 Hasta ahora era una práctica habitual comprobar dichas fuerzas adhesivas, preferentemente mediante una prueba de cuña según DIN 65448, pero también mediante una prueba de despegado según ISO 4624, una prueba de despegado en ángulo según DIN 53282, una resistencia a la tracción según DIN 53288, una prueba de pelado con rodillo según DIN 53289 y otros procedimientos de prueba. Sin embargo, las muestras correspondientes solo se pueden probar después de que se haya formado y solidificado la conexión unida cohesiva, lo que, al igual que la prueba real, puede durar varios días. Esto significa que no es posible realizar pruebas directamente durante la fabricación. También es un procedimiento, en el que se deben destruir las muestras.

- 20 La fuerza adhesiva de los recubrimientos se determina normalmente mediante una prueba de cinta. Esto solo se puede realizar después de que se haya formado el recubrimiento. Por lo tanto, no es posible hacer una predicción. Además, se destruye el revestimiento y al menos se deteriora el sustrato respectivo.

Se conoce del documento EP 2 138 830 A2 un procedimiento para determinar la influencia de la radiación UV sobre materiales mediante espectroscopia IR.

- 25 Por lo tanto, el objetivo de la invención es proporcionar opciones para la determinación, no destructiva de la fuerza adhesiva alcanzable, antes de la formación de una conexión unida cohesiva en una superficie de un elemento de unión, que llevan a resultados con suficiente precisión, en un tiempo significativamente más corto y, por lo tanto, se puede utilizar incluso para mediciones en línea en procesos de fabricación.

- 30 De acuerdo con la invención, este objetivo se resuelve con una disposición que presenta las características de la reivindicación 1. Se pueden realizar perfeccionamientos y desarrollos ventajosos de la invención con las características indicadas en las reivindicaciones subordinadas.

- 35 La disposición de acuerdo con la invención para determinar la fuerza adhesiva alcanzable, antes de formar una conexión unida cohesiva en la superficie de un elemento de unión presenta varios detectores, que están diseñados para el análisis espectral espacialmente resuelto de la radiación electromagnética dentro de un intervalo de longitud de onda. Para ello, estos detectores están dispuestos en una disposición en fila o en fila y columna. Los detectores están conectados con una unidad de evaluación electrónica y dispuestos de tal manera, que la radiación electromagnética emitida por una fuente de radiación de banda ancha, ya sea después de una reflexión en la superficie de uno de los elementos de unión, una capa formada en la superficie de un elemento de unión, con en el que se forma la conexión unida cohesiva, y/o después de que la radiación de los elementos de unión, transparentes a la radiación electromagnética incida en los detectores. En este caso, la irradiación se lleva a cabo de tal manera que se mantiene una intensidad homogénea de la radiación electromagnética sobre una superficie, desde la cual la radiación electromagnética se refleja o se transmite a través de la superficie. Por lo tanto, la superficie a detectar, al mismo tiempo, se debe irradiar con una intensidad homogénea. En la irradiación de banda ancha se dirigen ondas electromagnéticas, que se encuentran dentro de un intervalo de longitud de onda, sobre la superficie respectiva de uno de los elementos de unión a examinar.

El elemento de unión o un revestimiento formado sobre la superficie, sobre cuya superficie se dirige la radiación electromagnética, está fabricado de un material que no absorbe el 100 % de la radiación electromagnética respectiva, y, por lo tanto, es/son posible una transmisión de al menos un 2 % y/o una reflexión de la radiación electromagnética.

- 50 La unidad de evaluación electrónica está diseñada de tal manera, que las señales de medición registradas por los detectores de manera espacial y de longitud de onda, se pueden asignar a un rango de longitud de onda específico dentro de un intervalo de longitud de onda, así como a un punto individual de ubicación, dentro de una zona parcial predeterminable de la superficie irradiada.

- 55 El registro y la evaluación pueden tener lugar, en este caso, en toda la superficie del elemento de unión o de todos los elementos de unión, utilizados para la unión cohesiva. Sin embargo, también es posible realizar una determinación sobre una o varias superficies parciales.

La totalidad de las intensidades resueltas en longitud de onda registradas en todos los puntos de ubicación de la respectiva superficie irradiada, forma una estructura tridimensional de datos, que consta de una dimensión resuelta en longitud de onda y dos dimensiones resueltas espacialmente (hipercubo).

- 5 Después de esto, debería ser posible una reducción de datos para todas las señales de medición resueltas en longitud de onda de la zona parcial, en la que se seleccionan características significativas y el conjunto de características resultante se determina utilizando un modelo de regresión almacenado en una memoria electrónica, que se determinó a partir de conjuntos de características previamente determinadas en muestras, cuyas fuerzas adhesivas se determinaron mediante otro procedimiento de medición, que preferentemente presente una mayor precisión de medición, se somete a un procedimiento de regresión, mediante el cual se obtiene una declaración sobre la fuerza adhesiva de la zona parcial en cuestión de la conexión unida, en la que se utiliza al menos una zona parcial para evaluar la fuerza adhesiva.

Una conexión unida cohesiva de elementos de unión examinados con la invención, debería pertenecer a la misma clase, que debería presentar una estructura o composición comparable a las examinadas anteriormente con otro procedimiento de medición.

- 15 La conexión funcional entre conjuntos de características adecuadamente seleccionados de elementos de unión conectados de manera cohesiva y sus fuerzas adhesivas, que se determinaron mediante otro procedimiento de medición, se puede determinar, por ejemplo, mediante regresión lineal o no lineal, un algoritmo de mínimos cuadrados parciales (PLS), una red neuronal, una combinación de al menos dos de estos procedimientos u otros procedimientos de regresión (modelo de regresión).
- 20 Por lo tanto, la memoria electrónica debe contener el modelo de regresión, que se creó a partir de los conjuntos de datos de muestras registradas con la disposición de acuerdo con la invención, que fueron sometidas a la reducción de datos y extracción de características, y cuyas fuerzas adhesivas, determinadas mediante otro procedimiento de medición. Mediante un modelo de regresión almacenado en la memoria electrónica se puede determinar la fuerza adhesiva de una muestra examinada comparable de la misma clase de muestra, con una estructura comparable a partir de los conjuntos de datos determinados con la disposición, de acuerdo con la invención.

La unidad de evaluación electrónica realiza la reducción de datos y la extracción de características de los conjuntos de datos determinados con la disposición, de acuerdo con la invención. En primer lugar, se puede evaluar la información espectral y luego la información de ubicación. También es posible un orden inverso o cualquier combinación de más de dos pasos individuales, para la reducción de datos y la extracción de características.

- 30 La reducción de datos y la extracción de características se pueden realizar, usando análisis de componentes principales (PCA), parametrización de información de textura, determinación de promedios y/o desviación estándar, y combinaciones de los mismos.

- En el caso de utilizar el análisis de componentes principales, las n intensidades de las longitudes de onda (espectros) de todos los puntos de ubicación, se convierten mediante una transformación de coordenadas en un nuevo sistema de coordenadas *ortogonales* (el espacio de componentes principales), en el que los datos originales tienen la máxima varianza, y el que n representa el número de longitudes de onda medidas.

- La transformación de coordenadas se calcula determinando la n vectores propios (componentes principales) y los n valores propios asociados de la matriz de covarianza del conjunto de datos de la superficie parcial medida. Cuanto mayor sea el n -ésimo valor propio, más describe el n -ésimo componente principal correspondiente la varianza original, es decir, el vector propio con el valor propio más grande, es el primer componente principal del conjunto de datos, y describe la mayor parte de la varianza original del conjunto de datos. El vector propio con el valor propio más bajo es el n -ésimo componente principal del conjunto de datos, y no describe ninguna propiedad relevante del conjunto de datos. Solo se tiene en cuenta un cierto número de componentes principales (a menudo los primeros tres a seis), que ya garantizan una descripción adecuada (por ejemplo > 95%) de la varianza original del conjunto de datos. El número de componentes principales a tener en cuenta y, por lo tanto, la dimensionalidad del espacio de los componentes principales, se puede seleccionar basándose en criterios como, por ejemplo, la proporción de la variación total o una prueba de Scree (Scree-Test).

Las coordenadas de los espectros en el espacio del componente principal recién expandido, son los llamados valores de puntuación (valores Score), que caracterizan suficientemente el punto de ubicación correspondiente.

- 50 Con la unidad de evaluación electrónica se puede realizar ventajosamente la reducción de datos y la extracción de características de tal manera, que los datos registrados de acuerdo con la invención se evalúen del mismo modo que los datos de las muestras, a partir de las cuales se creó el modelo de regresión, utilizando fuerzas adhesivas conocidas. A partir del conjunto de datos registrado de acuerdo con la invención, las intensidades registradas espaciales y de longitud de onda de la radiación electromagnética, se determina a continuación la fuerza adhesiva de la muestra mediante el modelo de regresión.

Al evaluar los datos registrados de acuerdo con la invención, se puede llevar a cabo preferentemente el siguiente procedimiento:

Variante a) En el caso de un análisis de componentes principales de la información espectral de todos los puntos de ubicación de la zona parcial, se determinan preferentemente los primeros seis componentes principales, incluidos los valores de puntuación. Dado que los datos registrados de acuerdo con la invención representan todos los puntos de ubicación de una superficie examinada, se puede especificar la distribución superficial de los valores de puntuación por componente principal. La diferente distribución superficial de los valores de puntuación se cuantifica mediante distintos parámetros estadísticos, que se determinan en base a todos los valores de puntuación de un componente principal de la superficie parcial respectiva. En particular, se trata de la varianza, la distancia intercuantil o la desviación media absoluta. Este procedimiento se puede utilizar para todos los componentes principales. La determinación de la fuerza adhesiva se realiza mediante la unidad de evaluación electrónica basándose en un modelo de regresión, como por ejemplo un modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS), en el que los parámetros se pueden haber sometido previamente a otra extracción de características, preferentemente mediante otro análisis de componentes principales (PCA).

El modelo de regresión utilizado en este caso (aquí PLS), se determinó previamente utilizando muestras de la misma clase de muestra con una estructura comparable, cuyas fuerzas adhesivas se determinaron mediante otro procedimiento de medición, realizándose todos los pasos de extracción de características de manera análoga al procedimiento descrito anteriormente.

Variante b) Mediante un análisis de componentes principales de la información espectral de todos los puntos de ubicación registrados de la respectiva superficie parcial examinada, se calculan uno o varios componentes principales, en particular los valores de puntuación de los puntos de ubicación por componente principal, que se puede especificar como distribuido en la muestra. Los puntos de ubicación se pueden describir mediante varios parámetros de los valores de puntuación y reproducir como una representación pictórica. Además del valor de puntuación real, esto también se puede conseguir en particular, mediante los parámetros, que resultan de un análisis de textura de la distribución espacialmente resuelta de los valores de puntuación. Para ello se utiliza preferentemente una transformación wavelet discreta (DWT), utilizándose, por ejemplo, la wavelet 'Sym2' para realizar los cálculos y un cálculo posterior de otros parámetros, por ejemplo, la firma energética (suma de cuadrados) de los parámetros wavelet. Para una mayor extracción de características y, por lo tanto, para determinar la característica "fuerza adhesiva" de la superficie parcial, los parámetros calculados que se determinan en la superficie examinada del elemento de unión se pueden determinar mediante un modelo de regresión, en particular un modelo de regresión lineal. El modelo de regresión utilizado se determinó previamente utilizando muestras de la misma clase de muestra con estructura y propiedades comparables, cuyas fuerzas adhesivas se determinaron mediante otro procedimiento de medición, realizándose todos los pasos de extracción de características de manera análoga al procedimiento descrito anteriormente.

Si se utiliza la transformación wavelet discreta, se puede describir la textura de al menos una imagen capturada con los detectores, en particular estructuras recurrentes (frecuencias). La transformación wavelet (WT) corresponde al filtrado digital según frecuencias de paso alto y paso bajo, pudiendo seleccionarse la función de filtrado (wavelet) de manera variable y la respuesta en frecuencia depende de la dirección. Así, realizar la WT sobre imágenes o representaciones pictóricas en dirección vertical, horizontal y diagonal, produce resultados diferentes. Las tres direcciones se pueden calcular por separado. El resultado se determina por la información de paso bajo (coeficientes wavelet) y la información restante se descarta, cada píxel representa un coeficiente wavelet y todos los píxeles juntos representan la matriz wavelet. Además, al realizar la WT se reduce la resolución espacial y se separa la información. Separar la información significa que para un número de m píxeles originalmente después de la WT $m \cdot 0,5$ se obtienen píxeles. La WT se puede realizar de manera iterativa varias veces. Esto se puede hacer en tres etapas para obtener información sobre la estructura fina, media fina y gruesa de las imágenes. Sin embargo, también son posibles más o menos de tres etapas. A partir de los coeficientes wavelet de cada WT, se pueden determinar más parámetros para describir las estructuras de la matriz wavelet o su representación pictórica, a menudo se utilizan la raíz de la suma de cuadrados de los coeficientes de la matriz wavelet (energía), la entropía y la matriz de valores grises y más parámetros derivados utilizados.

Una zona parcial examinada debe presentar un tamaño comprendido entre el rango de $500 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$ y $1500 \mu\text{m} \times 1500 \mu\text{m}$. La detección debe ser posible con una resolución espacial en el rango de $0,5 \mu\text{m}$ a $1,5 \mu\text{m}$, preferentemente $1 \mu\text{m}$.

Deben estar dispuestos en una fila al menos 30, preferentemente al menos 100 detectores (cámara hiperespectral).

Deben estar dispuestos en una columna al menos uno, preferentemente al menos 50 detectores.

Para una disposición de acuerdo con la invención se puede utilizar una cámara hiperespectral con elementos ópticos formadores de radiación adecuados, y una electrónica de evaluación electrónica.

La superficie se debe irradiar con al menos un ángulo comprendido entre 0° y $<90^\circ$ con respecto a la normal de la superficie, sobre la que incide la radiación electromagnética. Al irradiar al menos un elemento de unión transparente a la radiación electromagnética, se debería mantener ventajosamente un ángulo de al menos casi 0° con respecto a

la normal de la muestra, es decir, la radiación se debería dirigir lo más perpendicularmente posible a esta superficie, para mantener la porción reflejada lo más pequeña posible. La irradiación y detección también se puede realizar con un ángulo de incidencia variable de la radiación electromagnética. Como ya se ha indicado, se pueden seleccionar ángulos de incidencia en el rango de 0° hasta un máximo de 89°.

- 5 La detección también se puede limitar a la radiación electromagnética polarizada linealmente. En este caso se puede elegir una orientación ventajosa de uno o varios planos de polarización antes y/o después de la superficie irradiada.

En particular, cuando se utilizan detectores, que solo pueden medir simultáneamente una línea de manera espectral y espacialmente resuelta, los detectores y los respectivos elementos de unión que todavía no están conectados entre sí de manera coherente, se pueden mover entre sí a lo largo de al menos un eje y preferentemente a una distancia ventajosa entre sí. En detectores y fuentes de radiación fijados estáticamente se puede mover a lo largo de un eje, una muestra formada con un elemento de unión que todavía no está conectado de manera cohesiva. Esto se puede conseguir con una mesa correspondiente móvil, sobre la que se dispone una muestra de este tipo, que se puede mover en dirección x y, dado el caso, también en dirección y. Sin embargo, el procesamiento de rollo a rollo también es posible, si la muestra respectiva está formada con uno o más materiales deformables de manera flexible y está presente, por ejemplo, en este caso, en forma de una película.

En la fuente de radiación pueden estar presentes elementos que forman la radiación electromagnética. En una realización sencilla, la fuente de radiación se puede combinar con un microscopio. Sin embargo, en un cuerpo hueco también se puede disponer una fuente de radiación, de la que sale de manera difusa la radiación electromagnética y se puede dirigir hacia la superficie a irradiar. El cuerpo hueco puede ser una bola o un cilindro. Debería ser posible irradiar de manera homogénea una superficie a detectar al mismo tiempo. En el caso de una fuente de radiación con elementos ópticos formadores del haz, se debe tener en cuenta el rango de longitud de onda utilizado al seleccionar los elementos ópticos utilizados para la conformación del haz.

Mediante el uso de elementos dispuestos delante de los detectores, que forman la radiación electromagnética, se puede influir en el tamaño de la superficie parcial a examinar y en la resolución espacial necesaria. En una realización sencilla, la cámara o la disposición de detector se pueden utilizar en combinación con un microscopio o una lente telecéntrica.

Preferentemente, delante de los detectores, en la trayectoria del haz de la radiación electromagnética, puede estar dispuesta una membrana que impida la incidencia de radiación electromagnética dispersa.

La fuente de radiación puede emitir radiación electromagnética cuyo rango de longitud de onda comience en el rango UV y termine en el rango IR. Se prefiere particularmente la radiación desde el rango de longitudes de onda de la luz visible hasta el rango NIR, es decir, de 250 nm a 1000 nm. Si es posible, todas las longitudes de onda dentro del intervalo respectivo se deberían poder usar en un rango de longitudes de onda utilizado para la irradiación. Los límites se deberían determinar únicamente por el rango de sensibilidad de los detectores utilizados en cuanto a su sensibilidad/precisión de medición de las intensidades que pueden detectar, para las respectivas longitudes de onda y las propiedades ópticas de los componentes de guía del haz. Se debe dar preferencia al uso de los rangos espectrales, que presenten la mayor variación entre los espectros de las muestras, para determinar la fuerza adhesiva y presenten el menor error de determinación posible.

Al menos un elemento, con el que se puede conseguir una elección selectiva de la polarización de la radiación electromagnética, también puede estar presente en la trayectoria del haz o integrado en él.

Una muestra de elementos de unión conectados entre sí de manera coherente, puede ser también una estructura multicapa compuesta de varias capas, preferentemente de diferentes materiales. El material base de la muestra puede ser una película de polímero o una película delgada de metal o vidrio, sobre la cual se pueden aplicar otras capas delgadas de polímero, cerámica o metal en diversas combinaciones. La determinación de la fuerza adhesiva alcanzable también se puede realizar si se unen de manera cohesiva más de dos elementos de unión. Estos pueden estar dispuestos uno encima del otro, por ejemplo, en forma de pila. Como ya se mencionó, los elementos de unión se pueden unir de manera cohesiva mediante pegado. Entre las superficies de los elementos de unión unidas de manera cohesiva está presente un agente adherente adecuado. La conexión unida cohesiva también se puede formar mediante soldadura, con o sin material adicional. La fuerza adhesiva alcanzable también se puede determinar en el caso de una unión de soldadura fuerte. Sin embargo, también se puede determinar la fuerza adhesiva esperada de recubrimientos, como capas de pintura, capas de plástico sobre superficies metálicas o cerámicas, o recubrimientos que se forman mediante procesos CVD o PVD.

Los detectores utilizados y la unidad de evaluación electrónica, así como eventualmente también la fuente de radiación, pueden representar un llamado sistema hiperspectral de visualización, que se puede utilizar en la disposición de acuerdo con la invención. De este modo, además de la información espectral, también se puede obtener información de textura para la zona parcial detectada de la muestra.

Una reducción de los datos determinados durante la detección en los distintos puntos de ubicación para las distintas longitudes de onda de un rango de longitudes de onda registrado (espectro) puede resultar ventajosa en la evaluación real. De este modo, se puede separar la información relevante para la determinación de la fuerza adhesiva de la

información que no lo es, lo que también reduce considerablemente el esfuerzo informático electrónico y, por lo tanto, también el tiempo necesario. No es necesario el uso de tecnología informática electrónica muy compleja y costosa.

En la invención se puede crear un modelo estadístico, a partir del cual se puede predecir la fuerza adhesiva alcanzable de las superficies examinadas de uno y/o ambos elementos de unión en la zona parcial subyacente correspondiente. Para ello, el conjunto de datos se puede registrar mediante uno de varios detectores ópticos, preferentemente dispuestos en fila, con los que es posible detectar intensidades con resolución espacial y de longitud de onda.

La fuerza adhesiva alcanzable está influenciada por las propiedades de las superficies examinadas de la muestra. Estas propiedades pueden ser partículas, adsorbatos, espesores de capa, materiales, rugosidad de la superficie, topología, etc., así como su distribución en la respectiva superficie parcial a examinar. Estas propiedades específicas de la muestra también hacen que la radiación electromagnética, que interactúa con la muestra se refleje, disperse o transmita de manera diferente (espectralmente, intensidad). Por lo tanto, la totalidad de un número suficiente de intensidades (espectros) individuales resueltas en longitud de onda de diferentes puntos de ubicación de una zona parcial detectada de una muestra, puede representar la información sobre la fuerza adhesiva esperada de un elemento de unión en la zona de muestra considerada.

Para determinar las fuerzas adhesivas, la fuerza adhesiva se puede determinar basándose en un conjunto de características medidas, utilizando un modelo de regresión previamente configurado con conjuntos de características con fuerzas adhesivas conocidas medidas en muestras de la misma clase de muestra con una estructura comparable.

Para ello, los conjuntos de características medidas se deben someter a una reducción de datos y, por lo tanto, a una extracción de características. Los espectros de longitud de onda detectados en los puntos individuales de ubicación de la superficie parcial respectiva, se pueden someter a una extracción de características espectrales, por ejemplo, un análisis de conglomerados o un análisis de componentes principales. Por lo tanto, los parámetros utilizados en el modelo de regresión pueden ser el número y la distribución de los conglomerados, los valores de puntuación de los componentes principales o su distribución.

Además, para la extracción de características se pueden utilizar métodos de compresión de imágenes para la evaluación de texturas, en la que se detectan las intensidades de las longitudes individuales de onda en todos los puntos de ubicación de la superficie parcial respectiva, o las de la suma o la suma promediada, de las intensidades de varias longitudes de onda, o las de los parámetros determinados por una reducción de características espectrales, y/o cuyas combinaciones están sometidas a una compresión de imagen. Para describir la información de textura del conjunto de datos, se debe determinar al menos un parámetro utilizando una transformación wavelet u otro método de compresión de imágenes, como, por ejemplo: polinomios de Taylor, transformaciones de Fourier y Coseno, transformación de Coseno discreta o método de matriz de valores grises.

Sobre la base de un modelo de calibración (modelo de regresión), creado a partir de conjuntos de datos medidos de muestras de la misma clase de muestra con una estructura comparable y una fuerza adhesiva conocida, se puede predecir la fuerza adhesiva de superficies parciales, para lo cual los respectivos conjuntos de datos medidos se tratan para la calibración y la predicción utilizando pasos de reducción de características idénticos. Por ejemplo, se puede utilizar como modelo de regresión un "análisis de regresión lineal múltiple" (MLRA), una "regresión de componentes principales" (PCR), una "regresión de mínimos cuadrados parciales" (PLS) o una "red neuronal".

La condición previa para una precisión de determinación suficiente es una iluminación homogénea de la superficie de detección, de modo que mediante la implementación de un campo luminoso lateralmente homogéneo se pueda evitar una superposición de las fluctuaciones de intensidad, provocadas por la muestra con fluctuaciones laterales en la intensidad de la iluminación. La óptica del microscopio se puede utilizar ventajosamente para zonas de muestra pequeñas. La disposición de acuerdo con la invención se puede adaptar a la superficie respectiva de la muestra a detectar utilizando diferentes ópticas, distancias de trabajo y aumentos.

Con la invención, en lugar de días, se puede determinar la fuerza adhesiva alcanzable de las muestras en unos pocos milisegundos o minutos. Es posible realizar mediciones sin contacto y no destructivas. Las muestras no necesitan ningún otro tratamiento ni preparación adicional. Se prefiere su uso en control de calidad y seguimiento en línea de la producción, de modo que en estos casos no es necesario realizar muestreos ni determinaciones especiales.

La invención se explica a continuación con más detalle a modo de ejemplo.

Se muestra en:

- La Fig. 1 una transformación wavelet usando la wavelet "Sym2", y en
- la Fig. 2 un modelo de regresión creado para predecir la longitud de fisura en la prueba de cuña según DIN 65448; con el que se puede calcular la fuerza adhesiva alcanzable a partir de la longitud de la fisura.

Ejemplo 1

Se dividen placas de muestra de una aleación de titanio, que mediante un proceso de plasma se recubren con dióxido de silicio de aproximadamente 100 nm, en una superficie seleccionada de 2 mm * 10 mm en cinco superficies parciales y se irradian de manera homogénea con una lámpara halógena como fuente de luz. Sobre la muestra se dispusieron un total de 1000 x 150 detectores ópticos en una disposición en fila y columna, y se combinaron con una óptica (en este caso un microscopio), de modo que se pudiera registrar toda la superficie de la muestra con un ancho de 2 mm con longitud de onda y resolución espacial. Con los detectores ópticos se registró la intensidad de la luz reflejada por la muestra, en función de la longitud de onda para puntos individuales de ubicación. En total se tuvieron en cuenta 150 longitudes de onda en el rango de 400 nm a 1000 nm. La muestra se movió perpendicular a la disposición en fila de detectores, para cubrir toda la superficie de la muestra.

Las intensidades resueltas en longitud de onda registradas para los puntos individuales de ubicación con los detectores, se asignaron a zonas parciales de la muestra, cada una con un tamaño de 2 mm * 2 mm, y forman un hipercubo.

A continuación, se redujeron los datos para cada zona parcial, procediendo paso a paso como se describe a continuación:

1. Suavizado del valor medio (media móvil) de los espectros

2. Análisis de componentes principales del hipercubo de la zona parcial. Esto consigue una reducción en la dimensionalidad del conjunto de datos medidos sin perder información importante. Para ello se seleccionaron 2 componentes principales de modo que se obtengan 2 imágenes de puntuación.

A continuación, se llevó a cabo una transformación wavelet discreta para la zona parcial respectiva, procediendo en los siguientes pasos:

3. Para cada imagen de puntuación, la transformación wavelet se llevó a cabo en tres direcciones (horizontal, vertical, diagonal) y en tres etapas (estructura fina, media y gruesa), utilizando la wavelet "Sym2" para todas las transformaciones

= 9 transformaciones por imagen de puntuación.

4. Cálculo de parámetros de las transformaciones wavelet

a. Energía (suma de cuadrados de los coeficientes de la matriz wavelet)

$$\text{Energie} = \sqrt{\sum_{i,j} p(i,j)^2}$$

con p(i, j), coeficiente de la matriz wavelet en la posición (i, j)

b. (Shannon)Entropía

$$\text{Entrophy} = - \sum h * \log_2(h)$$

con h, valores de las clases de histograma

c. Matriz de valores grises

i. Energía (medida de uniformidad)

$$\sum_{i,j} p(i,j)^2$$

ii. Contraste (medida de varianza)

$$\sum_{i,j} |i - j|^2 p(i,j)$$

III. Correlación (dependencia de los píxeles)

$$\sum_{i,j} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)p(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$$

IV. Homogeneidad (medida de monotonidad)

$$\sum_{i,j} \frac{p(i,j)}{1+|i-j|}$$

con $p(i, j)$, coeficiente de la matriz wavelet en la posición (i, j) ; μ valor esperado; y σ desviación estándar.

- 5 A continuación, se determinó la fuerza adhesiva alcanzable de la muestra examinada, basándose en el modelo de regresión creado previamente, usando conjuntos de datos de zonas parciales con una fuerza adhesiva conocida, y un tratamiento de datos análogo a la forma descrita en los pasos 1 a 4, y almacenado en la memoria electrónica de la unidad de evaluación electrónica.

REIVINDICACIONES

1. Una disposición para determinar la fuerza adhesiva alcanzable, antes de formar una conexión unida cohesiva en una superficie de un elemento de unión, que comprende una fuente de radiación de banda ancha, varios detectores y una unidad de evaluación,

5 en la que los varios detectores están diseñados para un análisis espectral resuelto espacialmente de la radiación electromagnética, dentro de un intervalo de longitud de onda, están dispuestos en una disposición en fila o en fila y columna, y

están conectados a la unidad de evaluación electrónica, y están dispuestos de tal manera que la radiación electromagnética emitida por la fuente de radiación de banda ancha impacta en los detectores, ya sea después de una reflexión en la superficie de uno de los elementos de unión, una capa que se forma en la superficie de un elemento de unión con la que se forma la conexión unida cohesiva, y/o después de la irradiación de los elementos de unión transparentes para la radiación electromagnética, en la que

la fuente de radiación de banda ancha está diseñada de tal manera que, sobre una superficie del elemento de unión, desde la cual se refleja o se transmite a través de la superficie la radiación electromagnética, se mantiene una intensidad de la radiación electromagnética, que es homogénea lateralmente y en el tiempo, y

la radiación no se absorbe al 100%, por lo que se consigue una transmisión y/o reflexión de al menos el 2% de la radiación electromagnética, y la unidad de evaluación electrónica está diseñada de tal manera, que las señales de medición registradas por los detectores con resolución espacial y de longitud de onda, se registran dentro de un intervalo de longitud de onda para puntos individuales de ubicación, que estén dispuestos sobre una superficie predeterminable de los elementos de unión, y las señales de medición registradas en varias posiciones se asignan, en cada caso, a una zona parcial de la superficie detectada (hipercubo), y

se lleva a cabo una reducción de datos para todas las señales de medición de las zonas parciales de la superficie detectada, registradas con resolución de longitud de onda, y en la que se seleccionan características significativas, y

sobre la base de estas características seleccionadas con un modelo de regresión determinado previamente, que está almacenado en una memoria electrónica, y que ha sido determinado sobre la base de los conjuntos de características obtenidos de manera análoga de los elementos de unión conectados entre sí de manera cohesiva, cuyas fuerzas adhesivas fueron determinadas previamente en muestras, utilizando otro procedimiento de medición, de modo que la unidad de evaluación hace una declaración sobre una fuerza adhesiva alcanzable correspondiente.

2. La disposición según la reivindicación 1, caracterizada por que la unidad de evaluación electrónica está diseñada de tal manera, que se puede lograr una reducción de datos mediante la extracción de características mediante análisis de componentes principales, extracción de información de textura, formación de valores medios, determinación de la desviación estándar y/o combinaciones de los mismos.

3. La disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la zona parcial respectiva presenta un tamaño en el rango de $500\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{m}$ a $1500\ \mu\text{m} \times 1500\ \mu\text{m}$ o $2\ \text{mm} \times 2\ \text{mm}$.

4. La disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la superficie se irradia con al menos un ángulo en el rango de 0° a $< 90^\circ$ con respecto a la normal de la superficie del elemento de unión irradiado.

5. La disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la detección y evaluación se puede llevar a cabo utilizando al menos un polarizador, con al menos un plano de polarización conocido, definido con respecto al plano de incidencia.

6. La disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que los detectores y los elementos de unión conectados de manera cohesiva, son móviles a lo largo de al menos un eje uno con respecto al otro y, en este caso, preferentemente a una distancia constante uno del otro.

7. La disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la fuente de radiación presenta elementos ópticos que dan forma a la radiación electromagnética, o una fuente de radiación que emite radiación electromagnética de manera difusa sobre la superficie, estando dicha fuente de radiación dispuesta en particular dentro de un cuerpo hueco y, de manera particularmente preferente, en la trayectoria del haz de la radiación electromagnética está dispuesto delante de los detectores una membrana, que evita la incidencia de la radiación electromagnética dispersa.

8. La disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que los elementos de unión que se van a conectar de manera cohesiva forman una estructura multicapa, que está formada preferentemente por varias capas formadas a partir de distintos materiales o sustancias.

9. La disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la disposición en fila y columna de los detectores con elementos ópticos y electrónica de evaluación se forma con una cámara HSI.

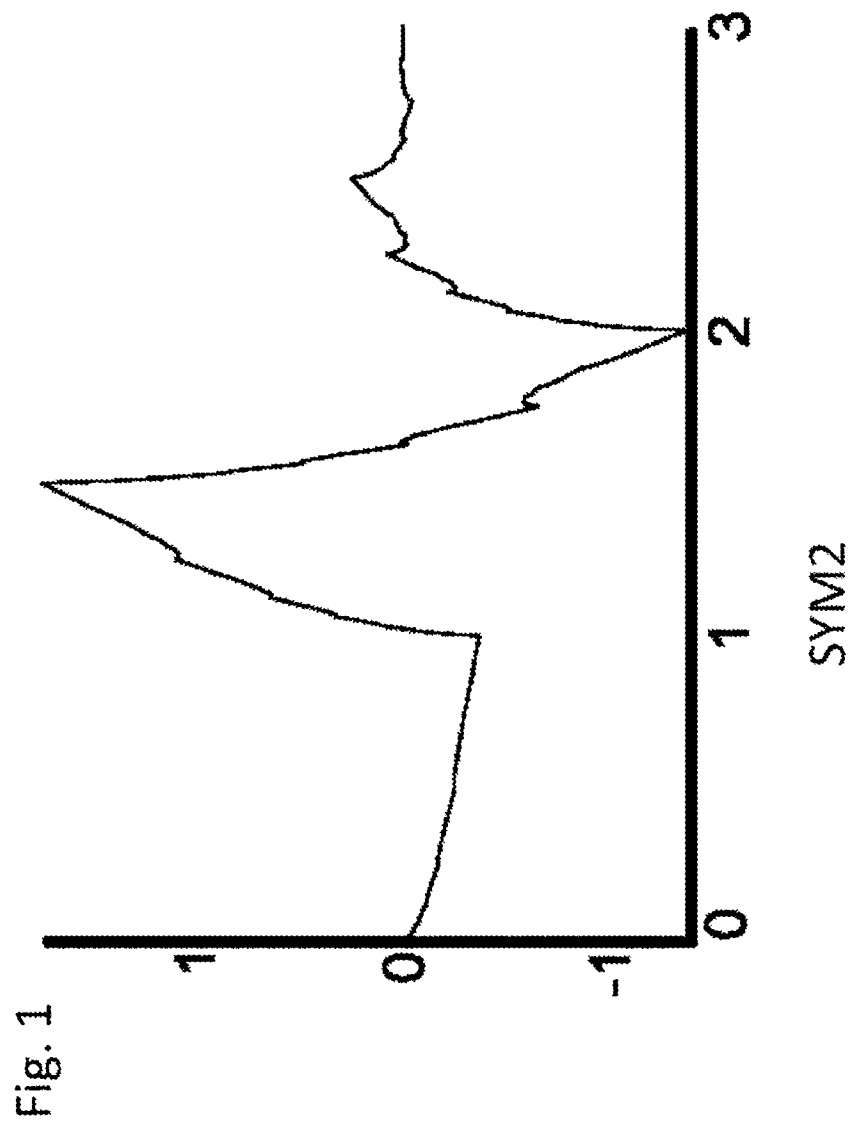


Fig. 2

