

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 772 928**

51 Int. Cl.:

B23Q 17/24 (2006.01)

G01B 11/30 (2006.01)

B23H 11/00 (2006.01)

B23Q 3/157 (2006.01)

B23H 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2016 E 16200826 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 3326749**

54 Título: **Método para mecanizado e inspección de piezas de trabajo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.07.2020

73 Titular/es:

AGIE CHARMILLES SA (100.0%)
Via dei Pioppi 2
Losone , CH

72 Inventor/es:

BOCCADORO, MARCO;
GIUSTI, ALESSANDRO y
GAMBARDELLA, LUCA MARIA

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 772 928 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

Método para mecanizado e inspección de piezas de trabajo

5 Campo de la Invención

La invención está relacionada de manera general con una máquina herramienta, y más concretamente con un método de mecanizado mejorado que incluye la caracterización de una superficie mecanizada basada en una imagen de la misma. La imagen se captura in situ, es decir, sobre la máquina herramienta durante una interrupción del proceso de mecanizado. Las características superficiales se evalúan por medio de un algoritmo de reconocimiento de patrones previamente entrenado.

Antecedentes de la Invención

El resultado del mecanizado de una pieza en una máquina herramienta es una pieza de trabajo con una geometría específica, pero también con características superficiales específicas. Las características superficiales de la pieza de trabajo resultan en la mayoría de los casos propiedades muy importantes de dicha pieza de trabajo. En particular, el proceso de mecanizado por electroerosión (EDM, del inglés "*electric discharge machining*") por penetración permite reproducir una forma en una pieza de trabajo imprimiendo la geometría de un electrodo con forma negativa.

Para conseguir la eliminación de material, se lleva a cabo una serie de chispas entre el electrodo de la herramienta y la pieza de trabajo, dejando sobre esta última una superficie más o menos rugosa. Como se ha mencionado, esta superficie es muy importante, dado que en la mayoría de los procesos de fresado de matrices, la pieza de trabajo producida es un molde que se utiliza como una herramienta de un proceso de moldeo por inyección, para producir objetos a partir de plástico o metal en grandes cantidades, copiando de esta manera la estructura superficial del molde.

Las características superficiales pueden estar determinadas por razones estéticas o por razones funcionales, o por ambas. El proceso de fresado de matrices produce una superficie mecanizada muy homogénea, básicamente isotrópica. El proceso puede estar adaptado para producir por ejemplo superficies que faciliten el proceso de desmoldeo, de modo que el producto final se extrae del molde con mayor facilidad y rapidez, y sin dañar dicho producto durante el proceso de desmoldeo.

En otros casos la pieza de trabajo procesada es una pieza final que se puede utilizar directamente o con procesamiento adicional mínimo, como p. ej. implantes ortopédicos. Aquí una superficie apropiada puede facilitar después de la implantación quirúrgica el crecimiento de hueso sobre el implante.

Por lo tanto, un criterio de aceptación indispensable para cualquier pieza de trabajo procesada es la consecución de las características superficiales demandadas.

De acuerdo con la práctica actual, al final del proceso de mecanizado generalmente la pieza de trabajo se extrae de la máquina EDM, se limpia y se seca y a continuación se mide por medio de un dispositivo de medida de rugosidad y por medio de una máquina de medida de coordenadas (CMM).

Sin embargo, si la rugosidad superficial medida o una dimensión no cumple los requisitos, no hay ninguna manera de corregir el error, también en caso de piezas de trabajo paletizadas. Esto se debe al hecho de que el reposicionamiento exacto de pieza de trabajo y electrodo, y la recreación de las condiciones de separación microscópicas que son necesarias para reanudar el mecanizado es en muchos casos imposible. Esto genera costes que pueden resultar muy importantes, de acuerdo con el tipo, tamaño y complejidad del molde.

Aunque hace aproximadamente 30 años se han introducido sistemas de inspección superficial sin contacto, Los instrumentos táctiles son de uso generalizado. En la práctica, la rugosidad se mide habitualmente con instrumentos de medida de perfil de tipo aguja. Las características superficiales se miden mediante un escaneo lineal o a veces mediante varios escaneos paralelos cercanos unos a otros. Una medida de toda la superficie es imposible u obtenible sólo con grandes esfuerzos.

Aquí los rasgos medidos son: la media aritmética del perfil de rugosidad Ra, la altura máxima del perfil de rugosidad Rz, la anchura media de elementos del perfil RSm, y similares, de acuerdo con la norma ISO 4287. Dichos productos son fabricados p. ej. por Taylor Hobson Ltd., de Leicester, Inglaterra. El coste de dichos instrumentos de medida es bastante elevado. Aunque están disponibles instrumentos de medida de rugosidad portátiles mediante los cuales la pieza se puede medir teóricamente in situ, estos instrumentos pocas veces son aplicables, debido al pequeño tamaño de las piezas, a la necesidad de preparar la superficie de medida a bordo de la máquina o debido a la inaccesibilidad del área procesada in situ, etcétera.

El documento US 2013/0203320 describe un método para eliminar las rebabas de una pieza de trabajo y comprende detectar un parámetro de la pieza de trabajo utilizando un sensor, determinar una métrica de las rebabas basada al

menos en parte en el parámetro y proporcionar un medio de chorreado a al menos una porción de la pieza de trabajo en base al menos en parte a la métrica de las rebabas.

5 El documento KR 101675532 está relacionado con un dispositivo para detectar defectos superficiales de una placa posterior.

10 El documento US 2010/0132910 describe un método para la detección y clasificación de defectos superficiales en productos obtenidos por colada continua utilizando información topográfica acerca de la aparición de defectos superficiales obtenidos por colada continua se determinan con respecto a su posición exacta, se evalúan con respecto a su posición y dimensiones, y se eliminan de acuerdo con la evaluación antes de un mecanizado adicional del producto, o se impiden optimizando el proceso.

15 Un problema adicional es que, siendo la EDM un proceso térmico, pueden aparecer sobre la superficie mecanizada microgrietas, quemaduras, picaduras y otros defectos. Estos defectos no son identificados por los instrumentos convencionales mencionados, y sin embargo pueden tener consecuencias fatales, cuando se mecanizan piezas para los campos médico o aeroespacial, dado que reducen la vida útil de la pieza.

20 Aunque los instrumentos de medida de rugosidad convencionales proporcionan parámetros de amplitud del perfil, parámetros de separación del perfil y parámetros híbridos, no son capaces de identificar de forma segura una estructura funcional o más genéricamente una propiedad física particular de una superficie. En este contexto el término "estructura funcional" significa un rasgo geométrico de la superficie que proporciona una propiedad física particular tal como: propiedades superhidrofóbicas, oleofóbicas, antibacterianas, etcétera. Este tipo de superficie se puede obtener de forma intencionada mediante procesamiento con láser o mediante mecanizado EDM.

25 Las compañías Makino Milling Machine Co. Ltd., de Japón, y Alicona Imaging GmbH, de Raaba, Austria han abordado este problema integrando un dispositivo de medida sofisticado en una máquina herramienta. La pieza de trabajo puede ser inspeccionada a bordo de la máquina EDM (in situ), sin liberar la pieza de trabajo, manteniendo de esta manera una relación posicional exacta entre pieza de trabajo y electrodo. Si es necesario, el proceso de mecanizado se puede reanudar después de la medida. El dispositivo de medida InfiniteFocus de Alicona es un instrumento óptico que está basado en el método de variación de enfoque (www.alicon.com/products/infinitefocus).

30 El sistema óptico de la empresa Alicona comprende un microscopio digital que ejecuta un escaneo vertical de la cavidad que se quiere inspeccionar en pasos de desde 2300 nm hasta 10 nm. El sistema tiene una profundidad de enfoque muy pequeña, de esta manera sólo los bordes en una cierta posición vertical son nítidos con cada paso de escaneado. Las áreas nítidas de la imagen en un plano se identifican y se apilan creando una representación tridimensional de la cavidad. El sistema InfiniteFocus, el cual también se describe en el documento EP2132524B1, proporciona una ilustración muy precisa de la topografía de la cavidad. La topografía obtenida se puede procesar proporcionando valores dimensionales y valores de rugosidad por unidad de superficie del área seleccionada. Se debe observar que InfiniteFocus requiere una potencia de cálculo notable para procesar las imágenes y obtener la topografía en un tiempo razonable. Además, el proceso de obtener una ubicación dada requiere múltiples imágenes y movimientos por etapas, y por lo tanto consume mucho tiempo.

45 Debido al tamaño del microscopio de variación de enfoque y a la necesidad de mantener el área de mecanizado libre durante el funcionamiento y de proteger el propio microscopio, dicho dispositivo de medida se coloca en una etapa vertical motorizada independiente, paralela a la caña de la máquina EDM.

50 El inconveniente es el coste muy elevado del propio dispositivo de medida, y su implementación dentro de la máquina herramienta que hace que sea prohibitivo para la mayoría de los usuarios. Otro inconveniente es que el aparato descrito sólo realiza las medidas estándar (determinación de los parámetros Ra, Rz, Rmax, Sa, Sq, Sz ...) y proporciona una topografía 3D, pero es incapaz de medir superficies funcionales en el sentido amplio. Además, la obtención de imágenes que cubran un área grande puede requerir mucho tiempo debido a las múltiples imágenes y movimientos por etapas necesarios para obtener cada punto dado.

55 De esta manera, existe una necesidad de un sistema de medida de a bordo eficiente y asequible mediante el cual las características superficiales incluidos posibles defectos se puedan determinar in situ en la máquina herramienta.

Compendio de la Invención

La invención se define en las reivindicaciones independientes 1 y 13.

60 El objeto de la presente invención es un método de mecanizado mejorado en el cual las superficies producidas mediante mecanizado por electroerosión o mediante otros procesos de mecanizado se caracterizan mediante una medida basada en una cámara digital que toma una imagen de la superficie procesada, y analiza dicha imagen 2D para estimar las características superficiales. Este análisis se realiza mediante un algoritmo de reconocimiento de patrones, el cual toma como entrada una imagen de la superficie y produce como salida una estimación de las características superficiales.

5 En una realización preferida de la inspección, el algoritmo de reconocimiento de patrones implementa técnicas de aprendizaje automático; dicho algoritmo de reconocimiento de patrones es entrenado previamente sobre un conjunto de datos de entrenamiento, el cual consiste en una lista de imágenes de referencia de superficies cuyas características superficiales son conocidas.

10 Aquí un conjunto de datos de entrenamiento se determina de antemano. El conjunto de datos de entrenamiento comprende al menos una imagen de cada una de una pluralidad de superficies de referencia, y, una característica superficial de cada una de dichas superficies de referencia que se ha determinado utilizando un equipo de medida de referencia.

15 Un algoritmo de reconocimiento de patrones se entrena entonces automáticamente por medio del conjunto de datos de entrenamiento, es decir, las imágenes anteriormente mencionadas de superficies de referencia y las características superficiales medidas que están asociadas a cada una de dichas imágenes.

20 Una vez que el algoritmo de reconocimiento de patrones está entrenado está listo para ser utilizado para estimar las características superficiales de una superficie recién producida. Una imagen de una superficie mecanizada se captura por medio de una cámara digital montada en la máquina herramienta, directamente in situ. La imagen se procesa por medio de un algoritmo de reconocimiento de patrones que proporciona la estimación de las características superficiales.

25 Obsérvese que, dependiendo del algoritmo de aprendizaje automático específico implementado, el conjunto de datos de entrenamiento puede no ser ya necesario, es decir, las imágenes no deben estar almacenadas para utilizar el algoritmo en la máquina.

30 En otra realización de la invención, el algoritmo de reconocimiento de patrones compara la imagen de la superficie procesada con las imágenes de las superficies existentes en el conjunto de datos de entrenamiento, y determina la superficie que mejor coincide de entre aquellas.

35 En una realización adicional de la invención, el uno o más conjuntos de datos de entrenamiento predefinidos y/o dicho uno o más algoritmos de reconocimiento de patrones se almacenan en una unidad de control de la máquina herramienta de la máquina herramienta o remotamente. Si se almacenan remotamente, el uno o más conjuntos de datos es accesible para una unidad de control de la máquina herramienta de la máquina herramienta por medio de una red.

40 La solución innovadora está basada en la consideración de que una superficie mecanizada consigue un efecto técnico o estético deseado si toda la superficie cumple los requisitos. Por ejemplo una superficie funcional sobre una pieza de trabajo es proporcionada por la colectividad de estructuras funcionales sobre ella. De esta manera la medida debe estar basada en la observación integral y no en una medida lineal.

45 El dispositivo óptico utilizado puede ser p. ej. una cámara que comprende un sensor CCD, p. ej. un producto de la empresa Conoptica AS, Klaebu, Noruega (www.conoptica.com). Para capturar la imagen de la superficie procesada se puede utilizar cualquier cámara digital con suficiente resolución.

50 Preferiblemente la cámara digital está montada de forma fija o desmontable dentro de la máquina herramienta y se comunica con el software del Control Numérico Computerizado (CNC) de la máquina herramienta.

55 En una realización preferida, la cámara digital está equipada con una interfaz mecánica (o soporte) mediante la cual puede ser manipulada de forma precisa, reproducible y automática, puede ser fijada a un plato y desmontada de él, puede ser almacenada y gestionada de manera general como una herramienta estándar, y puede ser controlada por el CNC de la máquina herramienta. En el caso de máquinas de electroerosión dicha interfaz mecánica es un portaelectrodos estándar de tipo conocido, que comprende una barra de tracción y referencias geométricas precisas, siendo de esta manera totalmente compatible con el sistema de fijación de la máquina. De esta manera el eje óptico de la cámara digital es perfectamente paralelo al eje Z de la máquina.

60 En una realización preferida la cámara digital se fija automáticamente sobre el plato del cabezal de la máquina en vez de la herramienta para ejecutar las obtenciones de imágenes in situ. De esta manera toda el área de mecanizado de la máquina herramienta es accesible para la cámara digital, y se minimiza la distancia entre el eje óptico de la cámara digital y el eje Z de la máquina.

65 De forma alternativa la máquina herramienta comprende un segundo plato que está dedicado específicamente a la cámara digital, siendo dicho segundo plato coaxial con el plato central. La cámara digital todavía puede ser manipulada de forma automática. De esta manera la cámara digital se retira (automáticamente) o se deja en su sitio durante la operación de mecanizado, de acuerdo con las necesidades y posibilidades específicas proporcionadas por la configuración dentro del área de trabajo.

En una realización preferida la cámara digital tiene una fuente de energía y comunicación inalámbricas, es decir:

- 5 - la cámara digital tiene un almacenamiento de energía integrado tal como una batería recargable o un condensador, que proporciona autonomía de funcionamiento durante típicamente una hora, o la cámara digital está acoplada de forma inductiva con una parte de la máquina herramienta para proporcionar de manera continua la energía a la cámara digital, y/o
- un sistema inalámbrico de transmisión de datos.

10 En una realización preferida, la cámara digital está almacenada en el cargador de un dispositivo automático de cambio de herramienta (ATC) o un cargador de gran capacidad, y es manipulada por una garra del ATC, un manipulador o un robot. El almacenamiento para la cámara digital puede comprender una posición dedicada con medios de recarga para la batería recargable o un condensador de la cámara digital. En otra realización la cámara digital es desplegable por una pluralidad de máquinas de una célula de fabricación automática, que tiene un manipulador robótico compartido u otros medios mediante los cuales se puede utilizar la cámara digital con más de 15 una máquina. Las máquinas pueden ser del mismo tipo de máquina herramienta o de tipos diferentes. La cámara digital se comunica con la unidad de control de la máquina herramienta, con un ordenador de la célula o con un host.

20 De esta manera la cámara digital se utiliza de forma incluso más eficiente, y su coste es compartido por todas las máquinas. Cada máquina que accede a la cámara digital se convierte también en una máquina de inspección superficial y en una máquina de medida dimensional, siendo de esta manera capaz de inspeccionar un trabajo real y de realizar acción correctiva si fuera necesario y/o posible.

25 Durante el funcionamiento, la cámara digital se activa y se posiciona en las una o más posiciones deseadas para tomar una o más imágenes, es decir el área de la superficie mecanizada cuya imagen se quiere obtiene. Cada imagen es procesada mediante un algoritmo de reconocimiento de patrones que fue previamente entrenado sobre un conjunto de datos de entrenamiento.

30 Algoritmos de reconocimiento de patrones son conocidos y forman parte del estado del arte. El campo del reconocimiento de patrones está relacionado con el descubrimiento automático de uniformidades en datos por medio del uso de algoritmos informáticos y con el uso de estas uniformidades para realizar acciones tales como la clasificación de los datos en diferentes categorías. Algoritmos de reconocimiento de patrones y usos ejemplares se describen por ejemplo en el libro "Pattern Recognition and Machine Learning" del autor Chr. Bishop, editorial Springer, ISBN 978-0-387-31073-2.

35 El algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-S) estima las características superficiales relevantes de la superficie mecanizada, tales como (pero no limitadas a):

- 40 - Parámetros de rugosidad del perfil (Ra, Rz, Rmax, RSm)
- Parámetros de rugosidad por unidad de superficie (Sa, Sq, Sz)
- Rasgos específicos de superficies funcionales, tales como la superhidrofobicidad

45 Para cada una de las características superficiales que pueden ser estimadas dada una imagen de la cámara, el algoritmo en PRA-S puede producir una de las dos siguientes salidas:

- 50 - un único valor, que describe la característica superficial media sobre toda el área superficial visible en la imagen de entrada.
- una matriz de valores 2D, que corresponde a un mapa que describe el valor de la característica superficial en diferentes partes del área cuya imagen se ha obtenido. Por ejemplo, este mapa puede ser una matriz 10x10, correspondiente a una subdivisión de rejilla 10x10 regular del área cuya imagen se ha obtenido. En cada celda de la matriz, se informa de la característica superficial estimada en la parte correspondiente del área cuya imagen se ha obtenido.

55 En el caso de EDM, mecanizado por láser y otros procedimientos de mecanizado térmicos, la superficie de una pieza de trabajo de acero se modifica debido al corto calentamiento y rápido enfriamiento de un área estrecha del material, creando una así llamada zona térmicamente afectada (HAZ). La HAZ comprende: una capa superior del cráter formado por material resolidificado (capa blanca, capa refundida) cuya estructura cristalina, y en cierta medida cuya a composición química, se han visto afectadas; una capa intermedia que no ha sido fundida o vaporizada por las descargas, pero cuya estructura se ha visto modificada debido al rápido enfriamiento; y, un material base cuya estructura cristalina no se ha visto afectada. La profundidad de la HAZ depende de hasta qué profundidad puedan penetrar las descargas en el material; es proporcional a la energía de los pulsos de descarga, principalmente mediante la amplitud de la corriente, la duración del pulso de corriente, y la forma del pulso. La capa blanca tiene una dureza y una fragilidad mayores, posiblemente con microgrietas. Con máquinas EDM del estado del arte la HAZ se elimina casi completamente reduciendo progresivamente la energía del pulso hasta valores pequeños.

65

Además, la condición de proceso de un proceso EDM se puede deteriorar produciendo defectos tales como puntos de arco y puntos negros (quemaduras). Esto ocurre con malas condiciones de lavado, especialmente con geometrías que tienen grandes muescas y protrusiones, grandes áreas de electrodo, flujo de lavado incorrecto, separación entre electrodos infradimensionada, etc.. El dieléctrico enfría el material fundido eyectado desde el cráter, el cual se solidifica creando pequeñas partículas. Si dichas partículas no son eliminadas de manera efectiva de la separación, su concentración puede aumentar localmente y se producirán descargas posteriores en el mismo lugar o en un lugar similar. La concentración de descargas puede conducir a los defectos anteriormente mencionados. Es más, las máquinas EDM son capaces de discernir un proceso de deterioro basándose en las señales del proceso e detener las descargas malas, y reaccionar p. ej. mediante un movimiento de lavado o alargando la pausa entre pulsos (véase la patente EP 1 918 054).

Por supuesto los problemas descritos aquí anteriormente se producen no sólo con un proceso de mecanizado por electroerosión por penetración, sino igualmente con casi todos los procesos de mecanizado. Por ejemplo un proceso de fresado puede generar marcas de vibración, rebabas, roturas, errores microgeométricos, etc.

Además, el material base de la fundición puede comprender diferentes defectos, tales como inclusiones, porosidades provocadas por gases, y otras no-uniformidades.

Los defectos anteriormente mencionados pueden provocar una vida en servicio acortada, fallo prematuro de un componente o simplemente pueden provocar que la pieza de trabajo sea descartada por razón estética. De esta forma es deseable identificar y clasificar dichos defectos, in situ. Esto permitiría realizar acción correctiva durante la fabricación real, reduciendo en cierta medida el post-procesado de la pieza de trabajo.

La preparación de la superficie mecanizada en vista de la obtención de imágenes debería ser lo mejor posible, es decir residuos del mecanizado (virutas, partículas de erosión, o similares) y el fluido de procesamiento (dieléctrico, refrigerante, emulsión, o similar) deben ser eliminados con un proceso de limpieza de la superficie. Si dicho proceso de limpieza no se ejecuta correctamente, pueden estar presentes residuos de mecanizado sobre la superficie, y se deberían identificar como residuos y no como un defecto superficial.

De esta manera, además del algoritmo de reconocimiento de patrones anteriormente mencionado para la estimación de parámetros de rugosidad del perfil y por unidad de superficie y rasgos específicos de superficies funcionales (PRA-S), el método para mecanizado de acuerdo con la invención comprende de forma adicional o alternativa un algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D) para la identificación de patrones de defectos, en particular patrones de defectos de mecanizado, tales como picaduras, grietas, quemaduras y similares, pero también patrones de defectos de material que emergen en la superficie mecanizada.

Si se identifica que una pluralidad de defectos son residuos de mecanizado, es posible de esta manera lanzar un ciclo de limpieza y repetir la toma de imágenes sobre la superficie procesada.

El sistema de reconocimiento de patrones está basado en algoritmos de aprendizaje automático conocidos. En una realización preferida, se adoptan algoritmos sofisticados para estimar los parámetros de las superficies cuya imagen se ha obtenido; una enumeración no exhaustiva de dichos algoritmos incluye: clasificador de Vecino Más Cercano, regresor de Vecino Más Cercano, Redes Neuronales de Una Sola Capa o Multicapas, Redes Neuronales Convolucionales, Máquinas Vectoriales de Soporte (se hace referencia a las referencias citadas). Estos algoritmos deben ser entrenados previamente sobre un conjunto de datos de entrenamiento. Algunos de estos algoritmos operan sobre las imágenes después de a partir de dichas imágenes se hayan extraído y computado rasgos numéricos relevantes para la tarea; otros algoritmos tales como redes neuronales convolucionales, operan directamente sobre los valores de los píxeles de las imágenes y no requieren extraer rasgos numéricos de las imágenes.

En otra realización, los algoritmos de reconocimiento de patrones analizan todo el conjunto de datos de entrenamientos en busca de las imágenes que mejor coinciden (de acuerdo con alguna métrica definida) con la imagen observada, y devuelven como estimación los parámetros de la superficie de referencia correspondiente contenida en el conjunto de datos de entrenamiento. Ejemplos de dichas métricas incluyen (pero no están limitadas a): suma de diferencias absolutas píxel-a-píxel; suma de diferencias al cuadrado píxel-a-píxel; suma de diferencias al cuadrado después de que se haya encontrada la mejor alineación entre las imágenes nueva y de referencia; distancia euclídea en un espacio de rasgos de dimensión alta, donde los rasgos se calculan utilizando el descriptor Patrón Binario Local o una de sus variantes; distancia euclídea en un espacio de rasgos de dimensión alta, donde los rasgos se calculan utilizando otros descriptores de textura.

A continuación se explica en detalle el procedimiento para la obtención del conjunto de datos de entrenamiento.

El conjunto de datos de entrenamientos se obtiene una vez y para siempre en un entorno de laboratorio durante el desarrollo del sistema de reconocimiento de patrones. En particular, para construir el conjunto de datos de entrenamiento, se producen diferentes superficies de referencia (es decir, superficies con diferentes características

superficiales) por medio del proceso de mecanizado considerado utilizando diferentes materiales de pieza de trabajo, diferentes herramientas, y diferentes valores (régimenes) del parámetro de mecanizado. A continuación se mide cada superficie de referencia utilizando un equipo de medida de referencia de precisión e incertidumbre conocidas; por lo tanto se conocen valores precisos para todas las características superficiales relevantes de cada superficie de referencia. Este procedimiento se lleva a cabo sólo una vez por patrón, de manera que se puede invertir el tiempo y los medios necesarios para describir en detalle esta superficie que se utilizará como superficie de referencia para la estimación mediante reconocimiento de patrones de futuras superficies mecanizadas.

Preferiblemente, para cada superficie de referencia, se obtienen una o más imágenes con la misma cámara digital o con una cámara digital similar y en las mismas o similares condiciones de obtención de imágenes que están implementadas a bordo de una máquina herramienta con el sistema de reconocimiento de patrones final. Dicho de otra manera, la cámara digital y las condiciones de obtención de imágenes utilizadas para tomar imágenes de superficies de referencia en el ambiente de laboratorio deberían ser las mismas o similares a las usadas por el algoritmo de reconocimiento de patrones en la máquina herramienta en el taller para estimar las características de una cierta superficie mecanizada. Las condiciones de obtención de imágenes que se deben considerar incluyen en particular las condiciones de luz de ambas, la iluminación controlada de la superficie de referencia/procesada y la iluminación externa del laboratorio/taller bajo la cual se capturan las imágenes de la superficie de referencia y las imágenes de la superficie procesada.

Se debe observar que una cierta superficie referencia se puede observar utilizando condiciones de luz diferentes, bien definidas, para conseguir más imágenes acerca de esa superficie, por ejemplo utilizando un anillo de luz que comprende LEDs selectivamente direccionables. Por supuesto, dichas condiciones de luz bien definidas se deben utilizar a continuación también cuando se toman las imágenes de la superficie procesada que se quiere inspeccionar. En la práctica, el sistema innovador puede implementar una de dos posibles soluciones para tratar con una iluminación adecuada.

- En un enfoque de la invención, se obtiene una imagen para cada posición de interés de las superficies de referencia y de las superficies a analizar. Esta imagen se obtiene utilizando siempre la misma configuración de iluminación.
- En otro enfoque, se obtienen múltiples (N) imágenes para cada posición de interés en las superficies de referencia, y en la superficie a analizar. Para cada imagen que se obtiene, se implementa una configuración de iluminación diferente utilizando el subsistema de iluminación controlable (p. ej. el anillo de LEDs direccionables citado anteriormente). La configuración de iluminación asociada con las imágenes 1ª, 2ª, Nª obtenidas para una posición dada se determina por anticipado y es fija. Por ejemplo, la 1ª imagen obtenida para cada posición dada se puede iluminar siempre utilizando sólo un único LED en la parte más a la derecha del anillo de iluminación, mientras que la 2ª imagen obtenida para cada posición dada se puede iluminar siempre utilizando todos los LEDs del anillo.

Esto produce como resultado una lista de imágenes de superficies de referencia, cuyas características superficiales son conocidas con precisión mediante medidas de referencia, p. ej. obtenidas utilizando equipo de medida de referencia, como el anteriormente mencionado e instrumentos de medida de la rugosidad conocidos de la empresa Taylor Hobson Ltd. Las imágenes de superficies de referencia y características asociadas medidas antes con un equipo de medida de referencia constituyen el conjunto de datos de entrenamiento que es utilizado a continuación para entrenar automáticamente, es decir para ajustar los parámetros de los algoritmos de reconocimiento de patrones utilizados por el sistema innovador. La fase de aprendizaje, es decir el entrenamiento de los algoritmos de reconocimiento de patrones se realiza una vez, preferiblemente utilizando un ordenador con potencia de procesamiento superior y posiblemente hardware especializado como por ejemplo Unidades de Procesamiento de Gráficos (GPUs, del inglés Graphics Processing Units). Resumiendo, el mecanizado de las superficies de referencia, la determinación de las características superficiales de referencia, la toma de imágenes de referencia, la asociación de imágenes de referencia a determinadas características superficiales, y el entrenamiento de los algoritmos de reconocimiento de patrones se hace de antemano, una vez y para siempre, en laboratorio.

Una vez que el entrenamiento del algoritmo de reconocimiento de patrones se ha completado, el sistema está listo para ser utilizado en el taller, respectivamente por el usuario final. La obtención de una o más imágenes superficiales de la pieza de trabajo mecanizada y la estimación de una o más características de esa superficie mecanizada mediante los algoritmos de reconocimiento de patrones (definida en lo que sigue como fase de medida), se pueden ejecutar al final del mecanizado de una cavidad (profundidad nominal alcanzada; geometría objetivo alcanzada), o a una profundidad de mecanizado intermedia, p. ej. uno más pasos de mecanizado antes del último paso de mecanizado. En este caso, el proceso de mecanizado se interrumpe de forma intencionada para ejecutar una fase de medida intermedia sobre la superficie mecanizada deseada. Si la estimación de las características de la superficie mecanizada muestra una no-conformidad con los resultados esperados, entonces se configuran parámetros de mecanizado (régimen) modificados y/o profundidad objetivo modificada (o más generalmente la geometría objetivo) para completar la cavidad. Se reanuda a continuación el proceso de mecanizado con los parámetros de mecanizado modificados respectivamente con la profundidad objetivo modificada. Si una acción correctiva no es posible, la unidad de control emite un mensaje de aviso y/o inicia un procedimiento de excepción.

Dicho procedimiento de excepción puede comprender: detener el proceso de mecanizado, la documentación automática de la no-conformidad, separación de la parte defectuosa de las buenas, etc.

5 La fase de medición puede ser ejecutada a petición del usuario o de forma autónoma por el CNC, en base a la configuración programada.

10 En una realización adicional, la cámara digital es desplazada a una o más posiciones predefinidas de la superficie de la pieza de trabajo, tomando imágenes en dichas posiciones de interés predefinidas. De forma alternativa, la cámara digital es desplazada por encima de toda un área seleccionada o por encima de toda la superficie de la pieza de trabajo mecanizada, p. ej. en un modo de barrido, tomando varias imágenes de regiones adyacentes. A continuación imágenes de regiones adyacentes se unen unas a otras para proporcionar una imagen global del área seleccionada. Las imágenes individuales se procesan utilizando el primer algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-S), o el segundo algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D), o ambos. Se presentan las estimaciones respectivas, p. ej. en una gráfica o diagrama. Las estimaciones se pueden analizar con mayor detalle para determinar medias, máximos, mínimos, etc. de valores seleccionados. Preferiblemente las estimaciones, se superponen a la representación gráfica del mecanizado en ejecución, resaltando máximos, mínimos, defectos, etcétera. De esta manera el usuario puede correlacionar fácilmente las estimaciones con la posición dentro de un mecanizado.

20 Se debe observar que el algoritmo de reconocimiento de patrones requiere sólo una potencia de procesamiento moderada para estimar las características de la superficie mecanizada, y que la estimación basada en dicho algoritmo se lleva a cabo en muy poco tiempo. La potencia de procesamiento necesaria está disponible con la unidad de control de una máquina herramienta moderna.

25 La invención proporciona un método seguro, económico y efectivo de inspeccionar la pieza de trabajo procesada para garantizar que está libre de defectos y que tiene la calidad superficial requerida. El método identifica características superficiales inaceptables, proporcionando un medio de inspección temprana inestimable. Asimismo, al adoptar una inspección intermedia en el transcurso del mecanizado real el proceso, la calidad y la fiabilidad del proceso se mejoran.

30 Un factor simplificador para el análisis superficial y para la aplicación de acción correctiva viene dado por el hecho de que las máquinas herramientas modernas están cada vez más controladas por sistemas expertos que aplican un conjunto de regímenes almacenado previamente para una tarea de mecanizado dada. Esto permite también que un operador inexperto pueda conseguir buenos resultados. En relación con la invención, esto tiene el efecto de que en la mayoría de los casos no son posibles otros regímenes, y el sistema de reconocimiento de patrones se aprovecha de la entrada procedente del sistema experto acerca de la cálida superficial esperada, y de esta manera tiene sólo un campo limitado que explorar.

40 Otros rasgos del método innovador resultarán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones y sus dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

Se describirán ahora realizaciones de la invención, a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

45 La Figura 1a es una ilustración esquemática simplificada de una máquina EDM con un sistema de medida óptico almacenado en un estante
 la Figura 1b es una ilustración esquemática simplificada de la máquina EDM con el sistema de medida óptico colocado en el cabezal de la máquina para tomar imágenes de la superficie
 50 La Figura 2 es una ilustración de una célula de fabricación con el sistema de medida óptico colocado en el estante
 Las Figuras 3-4 son imágenes de superficies de piezas de trabajo procesadas mediante EDM con diferentes parámetros de mecanizado
 Las Figuras 5-6 son imágenes de superficie de pieza de trabajo procesada por EDM con diferentes parámetros, capturadas por una cámara digital en vista de la estimación de características superficiales
 55 La Figura 7 es una imagen de una superficie funcional, que tiene propiedades superhidrofóbicas
 La Figura 8 es una imagen de una microgrieta en una superficie
 La Figura 9 es una imagen de una quemadura en una superficie
 La Figura 10 es un diagrama de flujo de la fase de construcción del conjunto de datos de entrenamiento
 60 La Figura 11 es un diagrama de flujo del algoritmo para la estimación de defectos y características superficiales

De acuerdo con la Figura 1a, se ilustra en ella una máquina 1 de electroerosión por penetración, equipada con una cámara digital 12. El eje óptico de la cámara digital es paralelo al eje Z de la máquina. La cámara digital obtiene una imagen 2D de la superficie de mecanizado por medio de una cámara digital 2D o mediante una cámara lineal que obtiene la superficie mientras cámara y superficie se mueven linealmente en la dirección octogonal una con respecto

a otra. El electrodo 10 de la herramienta está fijado al plato sobre el cabezal de mecanizado 16 mientras que la cámara digital 12 está almacenada de manera segura en el estante 15 de un dispositivo de cambio de electrodos, en el borde del área de mecanizado o fuera del mismo, en un cargador de gran capacidad (compárese con la Figura dos).

5 Después una fase de mecanizado inicial, se interrumpe el proceso de mecanizado, se extrae el líquido de procesamiento y la pieza de trabajo 11 se prepara para una medida. El área de interés se limpia y se seca, de forma manual o automática.

10 El electrodo 10 de la herramienta se retira de su posición de trabajo por medio del dispositivo de cambio de electrodos, se almacena en el estante 15 y se sustituye por la cámara digital 12, la cual se fija ahora con precisión al plato o sobre el cabezal de mecanizado 16, como se muestra en la Figura 1b. Un error de recolocación de por ejemplo $2\mu\text{m}$ se puede producir normalmente con portaherramientas de electrodos EDM estándar. Normalmente dicho error no es relevante para la presente invención, sin embargo se puede utilizar un ciclo de corrección para
15 corregir la desalineación del eje óptico de la cámara digital con respecto al eje de la máquina.

La Figura 2 ilustra una célula de mecanizado que comprende una máquina 1 de electroerosión por penetración, un cargador 2 de gran capacidad, un manipulador robótico 3 montado sobre raíles, y máquinas herramienta o estaciones adicionales (no mostradas). Como se ilustra la cámara digital 12 está almacenada en el cargador 2, donde puede ser agarrada por el manipulador robótico 3 y fijada en la máquina 1 o en otra máquina. Una posición particular dentro del cargador 2 está dedicada a la cámara digital 12, comprendiendo dicha posición una unidad de carga 4 mediante la cual se carga la batería de la cámara. La carga se produce ya sea de forma inductiva o haciendo contacto físico con la cámara digital.

25 La cámara digital 12 toma una o más imágenes de la superficie de la pieza de trabajo 11. La Figura 3 muestra un paisaje de cráteres típico como el generado por un proceso de fresado de matrices. El ejemplo tiene un valor de R_a de $1,26\mu\text{m}$, y $R_{Sm} = 78\mu\text{m}$, los cuales se pueden conseguir en un paso de acabado. La memoria de la máquina, o una memoria remota que es accesible para la máquina, contiene un algoritmo de reconocimiento de patrones entrenado previamente. Dicho algoritmo fue entrenado previamente utilizando un conjunto de datos de
30 entrenamiento que ha sido creado en laboratorio mecanizando un gran número de superficies de referencia y midiéndolas con instrumentación de referencia sofisticada y obteniendo varios valores de referencia, p. ej. R_a , R_z , R_{Sm} , R_t , S_a , S_z para cada condición de mecanizado específica, es decir una pareja de régimen, electrodo. El conjunto de datos de entrenamiento incluye una o más imágenes de cada superficie de referencia con uno o más valores de referencia asociados a dicha una o más imagen de la superficie de referencia.

35 El valor superior de la invención se puede entender observando las Figuras 3 y 4, que tienen la misma ampliación. Aunque estas dos imágenes parecen diferentes, tienen el mismo valor de R_a . Por lo tanto, describir las características superficiales mediante sólo un valor característico superficial, p. ej. R_a , podría no ser suficiente. Un enfoque holístico que considera la totalidad de la superficie, estima no sólo los parámetros de caracterización de la superficie utilizados frecuentemente R_a , R_z , R_{Sm} , R_t , S_a , S_z , sino que también es capaz de proporcionar una
40 información correcta acerca de características funcionales específicas de dicha superficie (p. ej. hidrofobicidad, oleofóbica, antibacteriana).

Las Figuras 5 y 6 son imágenes adicionales de una superficie que ha sido procesada mediante EDM. Las imágenes son capturadas por una cámara digital en vista de la estimación de las características superficiales. Se debe observar que las superficies en las figuras 5 y 6 tienen igual rugosidad aritmética R_a , pero diferente anchura de elementos del perfil R_{sm} . Aplicando un algoritmo de reconocimiento de patrones de acuerdo con la invención, las características superficiales se estiman de forma fácil y rápida.

50 La figura 7 es una imagen de una superficie funcional, que tiene propiedades superhidrofóbicas. Dichas superficies tienen estructuras muy complejas, que son imposibles de ser descritas con los métodos existentes. La invención proporciona sin embargo una solución con buena relación entre coste y eficacia para la inspección superficial, que es asequible para todos los usuarios de máquinas herramientas, mientras que los instrumentos de medida sofisticados, muy caros, necesarios en el estado del arte están fuera del alcance de la mayoría de ellos.

55 La Figura 8 es una sección micrográfica pulida de la pieza de trabajo mecanizada, que ilustra una grieta importante producida en una capa de refundición. La Figura 9 es una imagen de la pieza de trabajo mecanizada que muestra marcas de quemado. Estos daños pueden producirse por varias razones, p. ej. con parámetros de procesamiento inadecuados, pero también debido a condiciones de lavado difíciles y similares. Es importante evitar tales defectos; si de todas formas se producen es imperativo localizarlos de manera segura.

60 La secuencia para construir un conjunto de datos de entrenamiento para un algoritmo de reconocimiento de patrones pre-entrenado se ilustra en la figura 10: En primer lugar, se producen superficies de referencia con regímenes definidos. Se capturan una o preferiblemente más imágenes de cada una de las superficies de referencia con una cámara digital y una configuración de iluminación apropiadas, las cuales son similares a las implementadas
65

en la máquina. Las características superficiales de estas superficies se determinan utilizando equipo de medida referencia, por ejemplo los instrumentos de medida de rugosidad mencionados y conocidos de la empresa Taylor Hobson Ltd. Las imágenes de las superficies de referencia producidas y las características superficiales medidas asociadas se registran en un conjunto de datos y constituyen el conjunto de datos entrenamiento que se utiliza a continuación en una fase de aprendizaje para entrenar a los algoritmos de reconocimiento de patrones utilizados por la invención.

Una posible secuencia operacional del método innovador se ilustra en la Figura 11 para una tarea de mecanizado simplificada, es decir erosión en el eje Z (vertical). En un punto intermedio predeterminado se interrumpe el proceso de mecanizado, y se prepara la pieza de trabajo 11 y se toma una imagen por medio de la cámara digital 12, cómo se explicó con mayor detalle anteriormente. Un algoritmo de reconocimiento de patrones pre-entrenado estima las características superficiales o la presencia de defectos superficiales basándose sólo en la imagen de la superficie de mecanizado. Esto se puede hacer en un paso o - como ilustra la figura 11 - en dos pasos: un primer algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D) estima la presencia de defecto superficiales (véase p. ej. la figura 8). Un segundo algoritmo reconocimiento de patrones (PRA-S) estima las características superficiales.

Si las estimaciones determinadas por uno o ambos algoritmos de reconocimiento de patrones PARA D y PRA S no corresponden al valor deseado, la máquina puede ajustar los parámetros de procesamiento y reanudar con ellos el proceso de mecanizado para corregir esta imprecisión. Por lo tanto, es aconsejable comprobar la superficie cuando todavía hay espacio para permitir una eventual corrección. El punto del mecanizado predeterminado mencionado anteriormente es preferiblemente una profundidad de mecanizado predeterminada. Por ejemplo, si la profundidad de mecanizado de es $Z = -10$ mm, la comprobación se puede hacer a $-9,95$ mm, para permitir $50 \mu\text{m}$ de procesamiento utilizando un régimen de corrección. De forma alternativa el punto del mecanizado predeterminado mencionado anteriormente puede ser un tiempo de procesamiento predeterminado, o un régimen predeterminado, u otros criterios. Si ambos algoritmos de reconocimiento de patrones PRA D y PRA S no determinan ningún defecto superficial o ningún problema de calidad superficial, el procesamiento de la pieza de trabajo puede continuar o - en caso de que el método de medida innovador se aplique al final del proceso de mecanizado - el proceso de mecanizado se finaliza con esa determinación de la característica superficial.

En una realización preferida la máquina comprende además un medio o método para las medidas dimensionales, como por ejemplo medida de la profundidad efectiva (intermedia o final) de la cavidad. Por ejemplo, la superficie superior y el fondo de la cavidad pueden ser tocados por electrodo o por una sonda de contacto, o, la cámara digital utilizada para tomar las imágenes comprende un rasgo para determinar la posición Z exacta de la superficie y de esta manera se puede utilizar para determinar la profundidad de la cavidad. En caso de desviación con respecto a valores de profundidad intermedia esperados, la profundidad de mecanizado se puede corregir reanudando el mecanizado. La cantidad restante de material se identifica de este modo con mayor precisión en vista de una eventual corrección para conseguir las características superficiales deseadas respectivamente la rugosidad deseada en la superficie de la pieza de trabajo final.

Como se acaba de explicar, el método innovador incluye en una realización preferida que se utilice un segundo algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D) para detectar, es decir, para estimar, la presencia de un número de posibles defectos superficiales. Estos defectos pueden ser picaduras, grietas, quemaduras, etc. (véanse las figuras 8 y 9).

Preferiblemente, el segundo algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D) para detectar defectos superficiales se aplica antes que el algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-S) para estimar las características superficiales. Si un defecto superficial es determinado por el segundo algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D), los parámetros del proceso se ajustan en consecuencia. Este control de calidad es muy importante p. ej. para las aplicaciones aeroespaciales. Microgrietas como las ilustradas en la figura 8 pueden tener consecuencias catastróficas. Al menos reducen la vida útil de las piezas, de modo que deben ser evitadas. Utilizando el método innovador, piezas de trabajo defectuosas pueden ser descartadas automáticamente separándolas de las piezas buenas, y las no conformidades se documentan de manera automática.

La comprobación de defectos también puede ser impulsada por el proceso, p. ej. en caso de que los parámetros del proceso de mecanizado EDM obtenidos señalen una situación deteriorada o peligrosa (p. ej. tasa de cortocircuitos o de formación de arcos eléctricos). En un caso como éste se puede detener el proceso de mecanizado y se puede llevar a cabo una comprobación de defectos de acuerdo con el método innovador.

Dado que la posición de la descarga eléctrica se puede detectar en las máquinas herramientas EDM modernas, se puede generar un mapa de las zonas con descargas deterioradas. De esta manera la inspección de acuerdo con la invención se puede reducir posiblemente a las zonas en las que se ha producido una situación deteriorada o peligrosa de este tipo.

Algunos defectos menores, como quemaduras (véase la figura 9), se pueden corregir aplicando una polaridad invertida (negativo electrodo, positivo pieza de trabajo) y generando pulsos muy breves, o polaridad positiva y pulsos de baja frecuencia.

5 En este caso, de acuerdo con la invención, primero se eliminan los defectos menores, y a continuación se consigue la rugosidad correcta como se ha explicado con mayor detalle anteriormente.

La invención aborda las desviaciones específicas del mecanizado actual con respecto a valores y tolerancias objetivo, proporcionando de esta manera un proceso de mecanizado adaptativo.

10 La invención se puede aplicar a la mayoría de los tipos de máquinas herramienta y de operaciones de mecanizado de piezas de trabajo, tales como máquinas de electroerosión, máquinas de procesamiento por láser, una rectificadora o fresadoras.

15 La invención está relacionada también con máquinas herramienta, las cuales están equipadas como corresponde para aplicar el método innovador. Por lo tanto, máquinas herramientas preparadas para el mecanizado de piezas de trabajo incluyen sistema de control numérico computerizado (CNC) para controlar el procesamiento de una pieza de trabajo. El sistema de control numérico computerizado (CNC) está equipado con un sistema de inspección integrado para la determinación de las características superficiales y/o los defectos característicos de la superficie de la pieza de trabajo procesada. El sistema de control numérico computerizado (CNC) con su sistema de inspección integrado mecaniza e inspecciona la pieza de trabajo de acuerdo con el método innovador. El sistema de inspección está equipado con una cámara digital, preferiblemente montada de forma desmontable dentro de la máquina herramienta.

20 Preferiblemente la máquina herramienta es una máquina de electroerosión, una máquina de procesamiento por láser, una rectificadora o una fresadora.

En una realización preferida, la máquina herramienta incluye un cargador de herramientas asociado en el cual está almacenada la cámara digital. Preferiblemente, la cámara digital es una cámara digital inalámbrica.

30 Además, la invención está relacionada también con células de fabricación que incluyen dos o más de las máquinas herramienta innovadoras. La célula de fabricación incluye un cargador de herramientas, el cual es compartido por las máquinas herramienta de la célula de fabricación. Preferiblemente, la cámara digital es desplegable por una pluralidad de máquinas herramienta de dicha célula de fabricación. Lo más preferiblemente la cámara digital está almacenada en el cargador de herramientas y es desplegable por las máquinas herramienta de la célula de fabricación.

35 La presente invención no está limitada a los ejemplos y realizaciones explicados de manera explícita. Las alternativas ilustradas se deben considerar más bien sugerencias concebidas para implementar la invención de la manera más favorable. El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

40 Referencias

- | | |
|-------|--|
| 1 | máquina herramienta |
| 2 | cargador de herramientas, cargador de electrodos |
| 3 | manipulador robótico, robot |
| 45 4 | unidad de carga |
| 10 | electrodo de la herramienta |
| 11 | pieza de trabajo |
| 12 | cámara digital |
| 15 | estante, portaherramientas |
| 50 16 | cabezal de mecanizado |

REIVINDICACIONES

1. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de una superficie de pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1), comprendiendo el método al menos una interrupción del proceso de mecanizado durante la cual se inspecciona la superficie procesada de la pieza de trabajo (11), en donde dentro de dicha interrupción del proceso de mecanizado se captura in situ al menos una imagen de la superficie de la pieza de trabajo procesada por medio de una cámara digital (12), estando el método **caracterizado por que** dicha al menos una imagen es procesada mediante un algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA D, PRA S) que fue previamente entrenado por medio de un conjunto de datos de entrenamiento predefinido, en donde dicho conjunto de datos de entrenamiento predefinido comprende una o más imágenes de referencia de una pluralidad de superficies de referencia, estando cada imagen de referencia asociada a una o más características superficiales conocidas y/o a un defecto característico conocido de una superficie de referencia, y, además, **por que** al menos una característica superficial de la superficie de la pieza de trabajo procesada capturada en la al menos una imagen o la presencia de uno o más defectos característicos de la superficie de la pieza de trabajo procesada capturados en la al menos una imagen se estima mediante el algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA D, PRA S), asignando la correspondiente característica superficial y/o los correspondiente defectos característicos determinados por el algoritmo de reconocimiento de patrones.
2. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo el método el uso de uno o más algoritmos de reconocimiento de patrones, en donde:
- un algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-S) está entrenado para la estimación de al menos una característica superficial de la superficie de la pieza de trabajo procesada; y/o
 - un algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D) está entrenado para la estimación de la presencia de defectos característicos sobre la superficie de la pieza de trabajo procesada.
3. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, que comprende el uso del uno o más conjuntos de datos de entrenamiento predefinidos, **caracterizado por que** dicho al menos un conjunto de datos de entrenamiento predefinido comprende una lista con una pluralidad de registros, mientras que cada registro comprende
- una imagen de referencia y al menos una característica superficial conocida asociada a dicha imagen de referencia; o
 - una imagen de referencia y un defecto característico conocido.
4. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** dicho uno o más conjuntos de datos de entrenamiento predefinidos y/o dichos uno o más algoritmos de reconocimiento de patrones están almacenados:
- en una unidad de control de máquina herramienta de la máquina herramienta (1); o
 - remotamente, y son accesibles para una unidad de control de la máquina herramienta de la máquina herramienta (1) por medio de una red.
5. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** un algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-S) está entrenado para estimar al menos una de las siguientes características superficiales:
- Parámetro de rugosidad del perfil (Ra, Rz, Rmax, RSm); o
 - Parámetro de rugosidad por unidad de superficie (Sa, Sq, Sz); o
 - Rasgo específico de una superficie de pieza de trabajo funcional.
6. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** dicho rasgo específico de superficies funcionales está asociado a una de las siguientes propiedades de la superficie de la pieza de trabajo: superhidrofóbica-, oleofóbica-, antibacteriana.
7. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** un algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D) está entrenado para identificar defectos sobre la superficie de la

pieza de trabajo procesada, siendo los defectos uno o más de una marca de picaduras, una microgrieta, una marca de quemadura, una marca de vibración, una rebaba, una rotura, un error microgeométrico, un defecto de material, un residuo de mecanizado.

5 8. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la superficie de la pieza de trabajo procesada se inspecciona dentro de la interrupción del proceso de mecanizado de un proceso de mecanizado en ejecución, en donde dicha interrupción del proceso de mecanizado es:

- 10 - una pausa del proceso de mecanizado; o
- el final del proceso de mecanizado.

15 9. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** la superficie de la pieza de trabajo procesada se inspecciona dentro de una pausa del proceso de mecanizado, y por que al menos una característica de la superficie de la pieza de trabajo mecanizada se estima mediante el algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-S; PRA-D) y se compara con una característica objetivo, y porque basándose en dicha comparación se reanuda, se finaliza o se aborta el proceso de mecanizado.

20 10. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** el proceso de mecanizado se reanuda y por que los parámetros de mecanizado se dejan inalterados o se modifican en consideración de la estimación del algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D; PRA-S).

25 11. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** la superficie de la pieza trabajo procesada se inspecciona dentro de una pausa del proceso o tras la finalización del proceso, y porque al menos una característica estimada de la superficie de la pieza de trabajo mecanizada se compara con una característica objetivo, y por que se adoptan una o más de las siguientes acciones:

- 30 - se documenta la al menos una característica estimada y la comparación con la característica objetivo;
- la pieza de trabajo se maneja de acuerdo con el resultado de la comparación como buena o defectuosa.

35 12. Método para mecanizado de piezas de trabajo (11) e inspección de la superficie de la pieza de trabajo procesada en una máquina herramienta (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** dicha interrupción del proceso de mecanizado comprende uno o más ciclos de limpieza y secado en vista de la captura de imagen con una cámara digital (12), mientras que el ciclo de limpieza y secado se repite si el algoritmo de reconocimiento de patrones (PRA-D; PRA-S) estima que uno o más defectos son residuos del mecanizado.

40 13. Máquina herramienta (1) para el mecanizado de piezas de trabajo (11), que incluye un sistema de control numérico computerizado (CNC) para controlar el procesamiento de una pieza de trabajo (11), en donde el sistema de control numérico computerizado (CNC) está equipado con un sistema de inspección integrado para la determinación de las características superficiales y/o defectos característicos de la superficie de la pieza de trabajo procesada, estando el sistema de inspección equipado con una cámara digital (12), montado preferiblemente de forma desmontable dentro de la máquina herramienta (1), en donde, lo más preferiblemente, la máquina herramienta (1) es una máquina de electroerosión, una máquina de procesamiento por láser, una rectificadora o una fresadora; estando la máquina herramienta (1) **caracterizada por que**
45 el sistema de control numérico computerizado (CNC) con su sistema de inspección integrado está configurado para mecanizar e inspeccionar la pieza de trabajo (11) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes del método.
50

14. Máquina herramienta (1) para el mecanizado de piezas de trabajo (11) de acuerdo con la reivindicación 13 que incluye un cargador de herramientas (2) asociado, **caracterizada por que** la cámara digital (12) es una cámara digital inalámbrica, y por que dicha cámara digital inalámbrica (12) está almacenada en el cargador de herramientas (2) asociado a la máquina herramienta (1).
55

15. Célula de fabricación que incluye más de dos máquinas herramienta (1) de acuerdo con la reivindicación 13, incluyendo además la célula de fabricación un cargador de herramientas (2) compartido por las máquinas herramienta de la célula de fabricación, **caracterizado por que** la cámara digital es desplegable por una pluralidad de máquinas herramienta de dicha célula de fabricación.
60

Fig. 1b

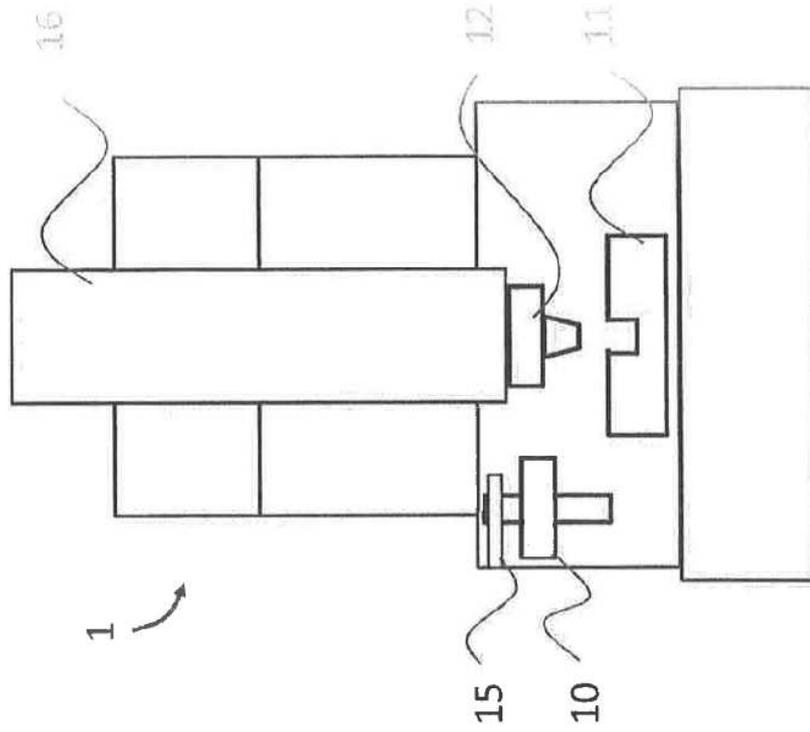


Fig. 1a

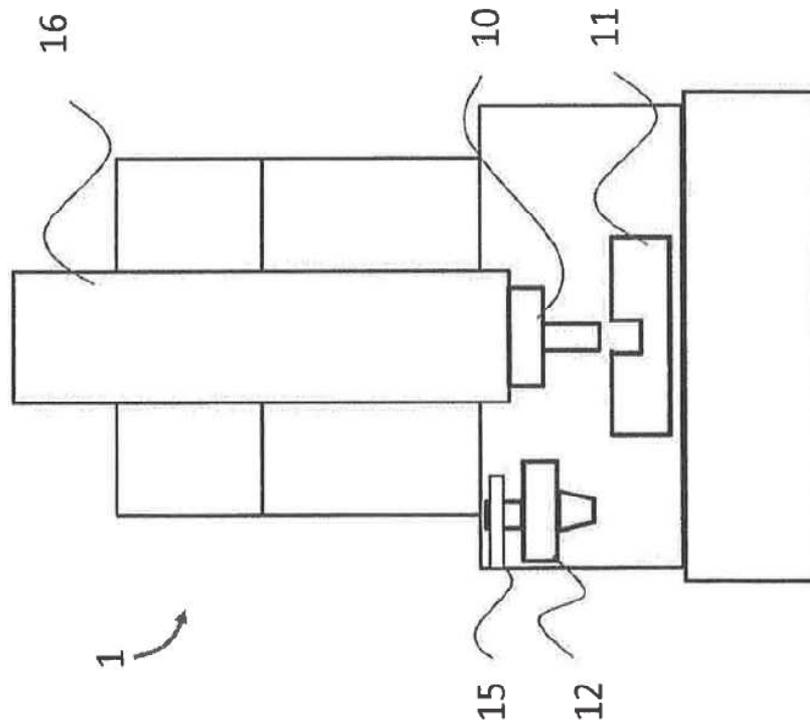


Fig. 2

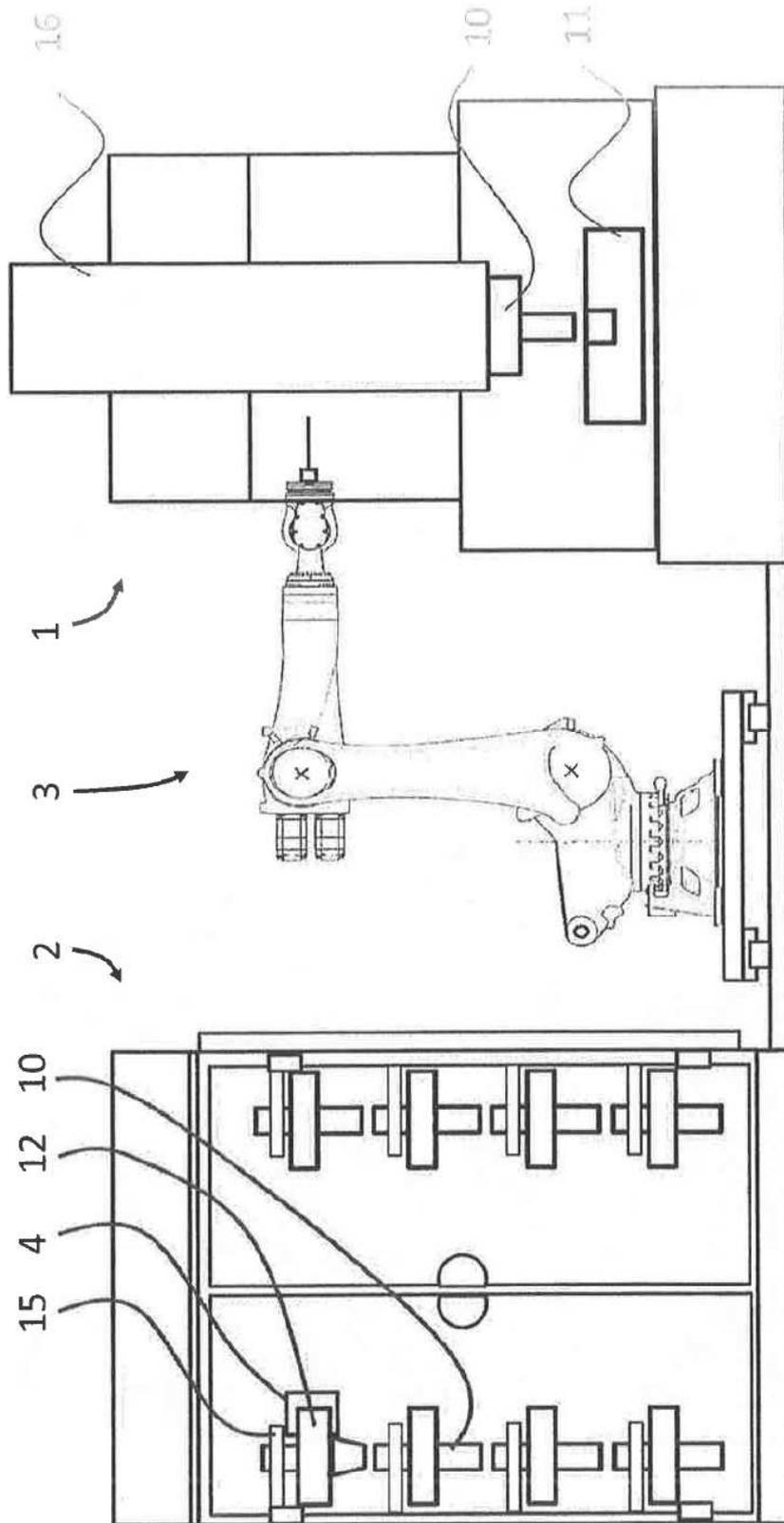
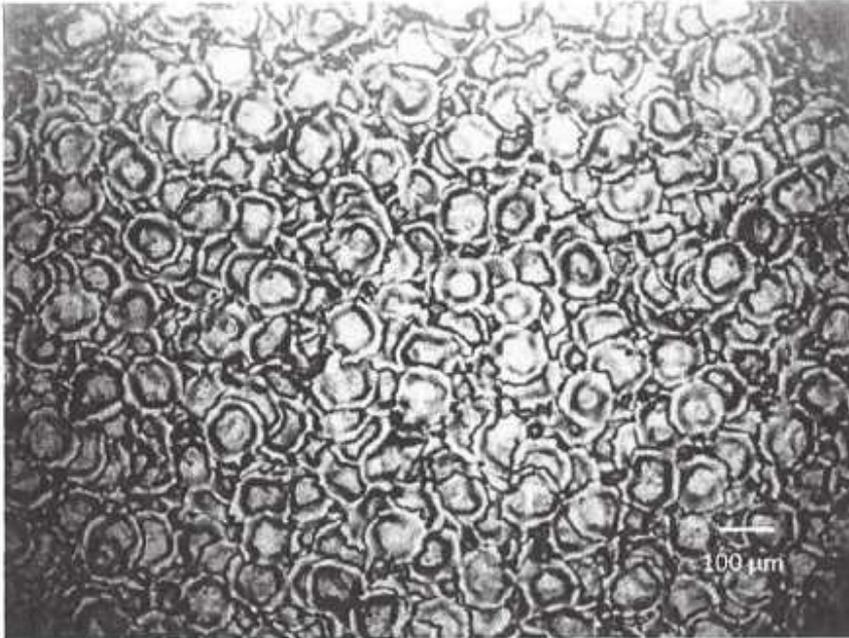
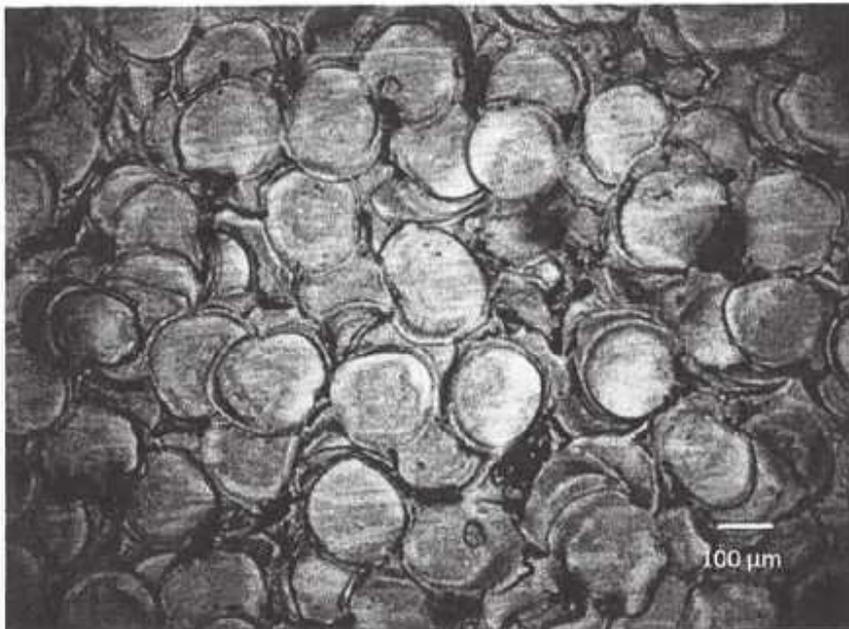


Fig. 3



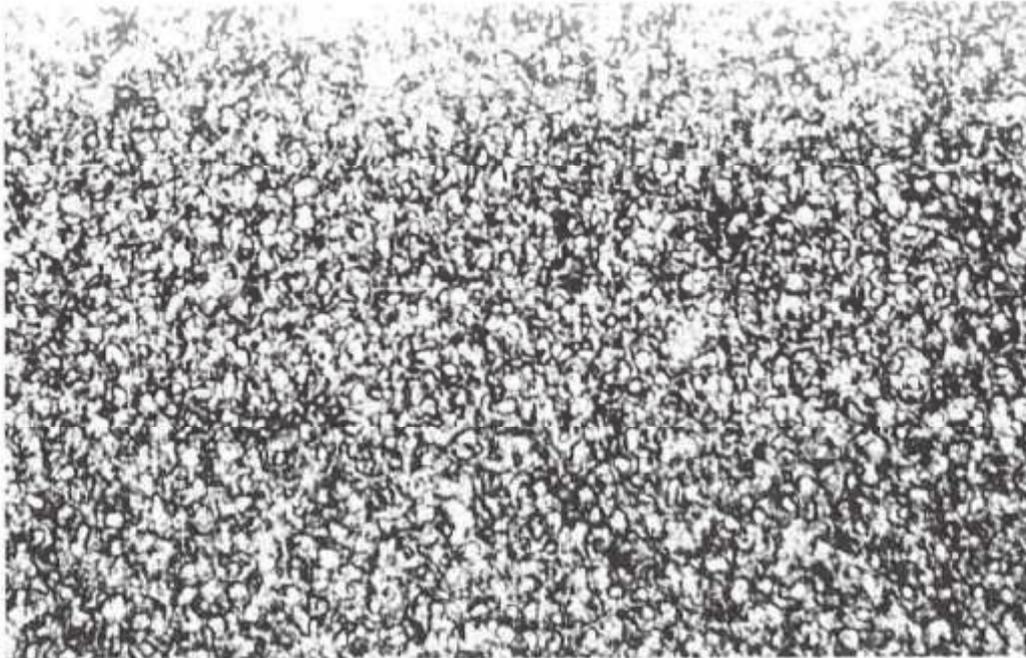
Ra = 1.26 μm RSm = 78 μm

Fig. 4



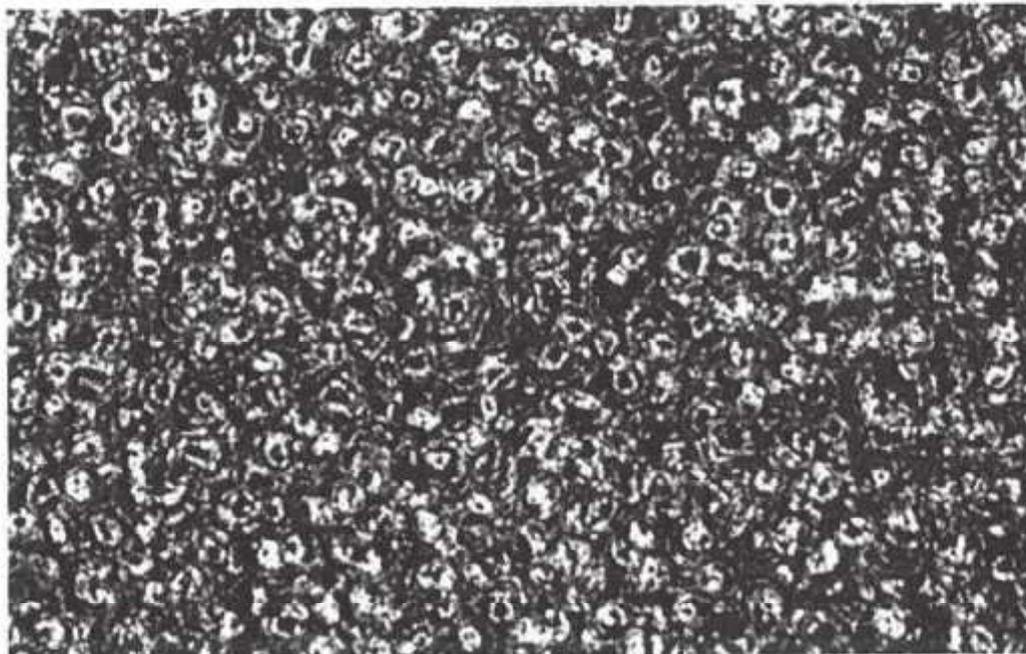
Ra = 1.26 μm RSm = 188 μm

Fig. 5



Ra = 1 μm

Fig. 6



Ra = 1 μm

Fig. 7

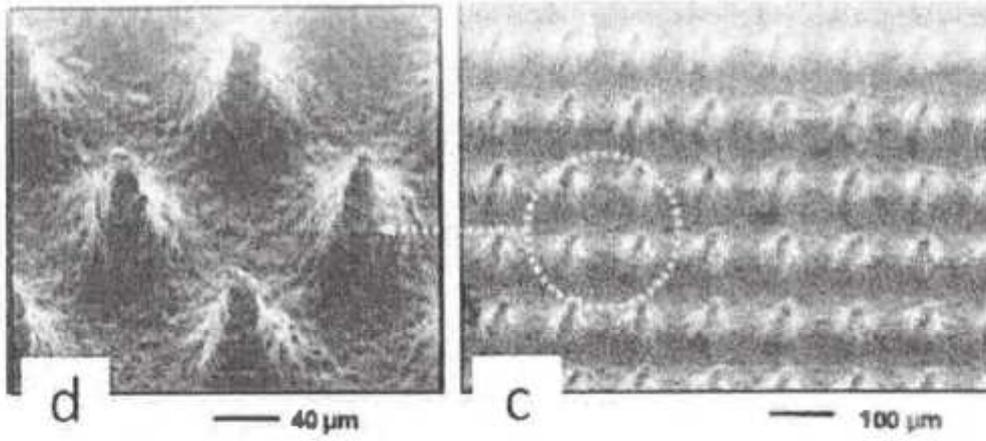


Fig. 8

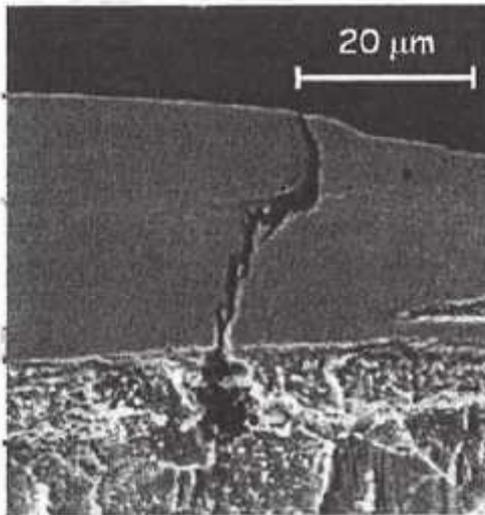
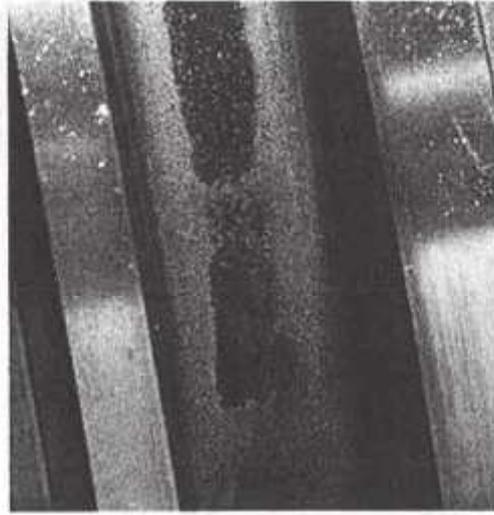


Fig. 9



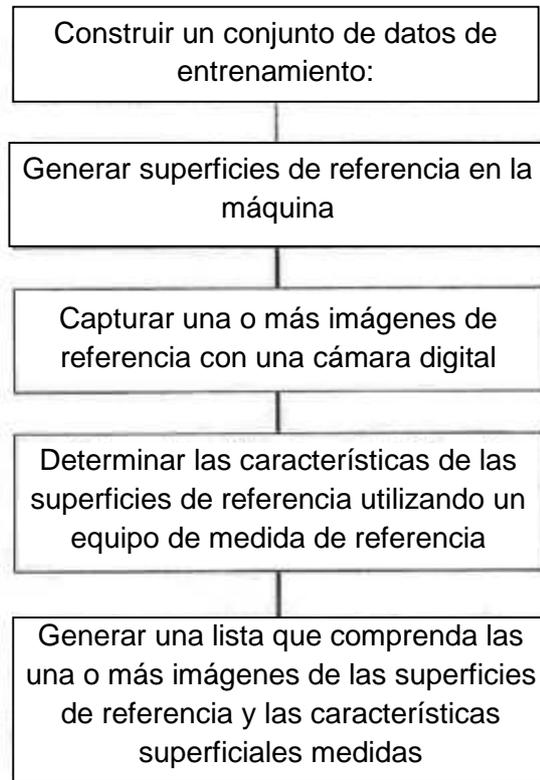


Fig. 10

Fig. 11

