



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 357 466**

51 Int. Cl.:
B23P 6/00 (2006.01)
F01D 5/00 (2006.01)
G05B 19/425 (2006.01)
G05B 19/4097 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08787820 .3**
96 Fecha de presentación : **19.03.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2125282**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.12.2009**

54 Título: **Procedimiento de preparación de piezas mecanizadas tales como álabes de turbomáquinas o palas de disco de álabes monobloque.**

30 Prioridad: **20.03.2007 FR 07 02021**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
26.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
26.04.2011

73 Titular/es: **SNECMA**
2, boulevard du Général Martial Valin
75015 Paris, FR

72 Inventor/es: **Derrien, Gérard;**
Kerneis, Stéphane;
Gasne, Ludovic y
Leonetti, Claude

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 357 466 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

La invención se refiere al ámbito de la reparación de piezas mecanizadas tales como álabes de turbomáquinas o palas de Disco de Álabes Monobloque.

5 En particular, la invención se refiere a un procedimiento de reparación por mecanizado de una pieza que hay que mecanizar de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. Un procedimiento de este tipo está descrito en el documento JIANMING ZHENG Y OTROS: "Worn area modeling for automating the repair of turbine blades" THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER-VERLAG, BE, vol. 29, no. 9-10, 7 de junio de 2006 (07-06-2006), páginas 1062-1067, XP019418863 ISSN: 1433-3015.

10 Un turborreactor comprende diferentes rotores, que giran alrededor de su eje. Estos rotores comprenden un disco, con una llanta a lo largo de la cual están fijados álabes. Tradicionalmente, los álabes están retenidos por su pie en un alojamiento previsto a tal efecto. Con el fin de responder a las exigencias cada vez mayores en prestaciones de los motores, estos rotores pueden ser ahora monobloques. Se habla de discos de álabes monobloques (DAM). En un DAM, los álabes y el disco forman únicamente una sola pieza. A tal efecto, se mecaniza una pieza en bruto forjada para formar el disco, extendiéndose los álabes radialmente a su circunferencia, siendo 15 todo monobloque. Es posible igualmente soldar ciertas piezas, siendo el DAM resultante monobloque. Las ventajas de los rotores monobloques son numerosas, especialmente en términos de masa

20 Durante su utilización, los álabes experimentan desgastes (erosión, rozamientos) pero también impactos de diversas naturalezas que se traducen en daños severos (desgarrones, soplos, fisuras, etc.). El perfil de los álabes queda entonces modificado, lo que disminuye sus prestaciones aerodinámicas. Siendo el DAM monobloque, no es posible extraer un álabe desgastado para reemplazarlo. Es necesario entonces repararlo para volver a dar al álabe un perfil aerodinámico adecuado.

25 Refiriéndose a la figura 1, para reparar un álabe 1 de un DAM, es necesario reemplazar la parte dañada por una parte de material sano o añadir material para rellenar los desgastes 11. Esta aportación de material es designada habitualmente por el especialista en la materia con la denominación inglesa « patch ». Este patch 2 es soldado a la superficie del álabe 1 y ésta debe ser mecanizada para recobrar su perfil aerodinámico. El mecanizado de la pieza dañada 1 es una operación delicada que necesita una parametrización específica y muy precisa de la máquina de mecanizado. En efecto, el DAM que hay que reparar presenta una geometría diferente de la de origen en razón de las deformaciones y de los desgastes aparecidos durante su vida de servicio útil. Esta parametrización se obtiene tradicionalmente de manera empírica, ésta es compleja porque debe volver a dar al álabe dañado su 30 forma original al tiempo que se tenga en cuenta el estado de desgaste medio del DAM. Es importante entonces comprender cómo queda definida la forma de origen de un álabe para poder repararla.

♦ Cálculo de un modelo teórico

35 Refiriéndose a la figura 2, un cálculo aerodinámico 21, realizado en ordenador, permite definir un modelo teórico de los álabes 22. Este cálculo aerodinámico 21 permite obtener los perfiles del álabe en elevaciones dadas (secciones de apilado), denominadas secciones aerodinámicas. El Bureau d'Études Mécaniques (B.E.M) convierte estas secciones aerodinámicas en curvas de Bézier y completa un volumen lineal predefinido durante el cálculo aerodinámico. A partir de este volumen lineal, el B.E.M construye un volumen específico fijando cuadrículas matemáticas de Bézier a estas curvas con el fin de controlar lo mejor posible la tangencia y la curvatura del perfil buscado. Esta construcción es realizada con la ayuda de un software cualquiera de Concepción Asistida por 40 Ordenador (CAO) capaz de tratar curvas de Bézier.

45 Este conjunto de cuadrículas forma una malla teórica B. La malla B se calcula para definir de manera precisa el volumen en tres dimensiones (3D) del álabe. Éste está constituido por cuadrículas que pueden ser triángulos, cuadriláteros u otros polígonos. La malla es más densa a nivel de las zonas del álabe que presenten una gran curvatura. Esta malla teórica B sirve de modelo de estudio para el conjunto de la industrialización, del mecanizado y para el control de las piezas nuevas.

La malla teórica B no puede servir de modelo para la reparación porque ésta no integra los desgastes y las deformaciones que ha experimentado la pieza durante toda la duración de funcionamiento. Hay que apoyarse en un modelo práctico que represente el estado actual de la pieza.

♦ Medición de la pieza real

50 Refiriéndose a la figura 1, se realiza una medición volúmica 12 de la pieza dañada 1 midiendo las coordenadas de los puntos de la superficie de la pieza con máquinas de mediciones tridimensionales (MMT), por palpación o por medición sin contacto. Se obtiene, así, una nube de puntos A que corresponde a la forma de la pieza dañada 1, denominada real de puntos A.

♦ Mecanizado de la pieza dañada

Para reparar la pieza dañada, los softwares de FAO (Fabricación Asistida por Ordenador) utilizan funciones denominadas « MORPHING » que permiten deformar el modelo teórico B en modelo práctico adaptado al desgaste y a la deformación constatada en la pieza dañada 1.

5 La « FUNCIÓN RECÍPROCA » corresponde al paso de la pieza dañada a la pieza en estado nuevo. Esta función recíproca es la función buscada que permite parametrizar la máquina de mecanizado (espesor que hay que recuperar para la puesta en cotas) para mecanizar la pieza dañada 1.

El objetivo de la invención es encontrar la función de morphing de deformación del modelo teórico y deducir la función recíproca que permita la parametrización de la máquina de mecanizado.

♦ Medición de las diferentes topologías

10 Gracias a la comparación entre la nube de puntos real A y el modelo teórico B, refiriéndose a la figura 3, se crea un modelo topológico 31 que permita identificar 32 las zonas en subespesor y las zonas en sobreespesor. A continuación, se procede al cálculo de la trayectoria de mecanizado en el modelo deformado por morphing 33 y se mecaniza la pieza 34 para obtener la pieza reparada 3.

15 El modelo topológico 31 comprende un conjunto de puntos de coordenadas (x, y, z, Δ) siendo x, y y z las coordenadas de cada punto de la nube A según tres ejes ortogonales, siendo Δ la proyección del punto sobre la normal a la cuadrícula de la malla teórica más próxima al citado punto.

20 Así, si Δ tiene un valor positivo, la pieza dañada 1 tiene un exceso de material con respecto al modelo teórico B, por el contrario si Δ tiene un valor negativo, la pieza dañada 1 tiene un defecto de material con respecto al modelo teórico B. Softwares de concepción asistida por ordenador (CAO), tales como el software comercializado con la marca registrada CATIA permiten obtener modelos topológicos 31 de manera automatizada y así visualizar las zonas en sobreespesor que deben ser mecanizadas y las zonas que deben recibir una aportación de material.

♦ Deformación teórica de la malla por morphing

25 Para deformar el modelo teórico B por morphing, es necesario señalar los mejores puntos que hay que desplazar del modelo teórico B para interpolar lo mejor posible un máximo de puntos de la nube real de puntos A. Estos puntos son denominados puntos de control. Se puede así deformar la malla teórica B y obtener una malla correspondiente a la pieza dañada 1.

♦ Complejidad de la etapa de morphing

30 El análisis del modelo topológico 32 para realizar el morphing es una etapa compleja que necesita experiencia y un alto nivel de conocimientos técnicos. En efecto, la modificación local de la posición de un punto de control de la malla teórica B tiene influencias globales sobre la forma y la posición de las superficies de Bézier deformadas y sobre la tangencia de empalme entre las superficies.

35 Condiciones de curvatura y de tangencia deben ser respetadas igualmente a nivel de las irregularidades de la forma de los álabes. Los expertos calculan los mejores puntos del modelo teórico B que hay que desplazar con el fin de que los desvíos entre el modelo teórico deformado y los puntos de la nube de puntos A sean los menores posibles.

El procedimiento de morphing es una etapa lenta y compleja que provoca una variabilidad de los resultados según el experto elegido. El cálculo de la función de morphing es por tanto muy delicado. Éste, por tanto, no está adaptado a una aplicación industrial.

La presente invención pretende paliar al menos estos inconvenientes.

40 La invención se refiere a un procedimiento de reparación por mecanizado de una pieza que hay que mecanizar, tal como un álabe de turbomáquina, a partir de un perfil conocido de la pieza, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:

- a. una adquisición de las coordenadas de puntos de una envuelta de la pieza que hay que mecanizar, formando el conjunto de los puntos una nube de puntos;
- 45 b. una comparación del perfil conocido con la nube de puntos para definir zonas en sobreespesor o subespesor en la pieza que hay que mecanizar;
- c. una deformación del perfil por un procedimiento de morphing para que el perfil deformado interpole la nube de puntos, definiendo la deformación una función de morphing y

d. el mecanizado de la pieza que hay que mecanizar por una máquina de mecanizado, parametrizada a partir de la función de morphing.

De acuerdo con la invención, el procedimiento está caracterizado por el hecho de que la deformación del perfil comprende una comparación de cada zona en sobreespesor o subespesor de la pieza que hay que mecanizar con configuraciones elementales de deformación (CED) que se presentan, cada una, en forma de una porción de malla, que simula el perfil (B), y de puntos que simulan puntos de la nube de puntos (A), siendo clasificadas las configuraciones elementales de deformación (CED) en una base de datos, asociando a la base de datos para cada configuración elemental de deformación (CED) parámetros de la función de morphing.

El procedimiento de la invención permite ventajosamente mecanizar una pieza de manera automática, siendo conocidos los parámetros de la función de morphing en la base de datos.

A partir de esta función de morphing, se deduce la función de parametrización de la máquina que va a mecanizar la pieza que hay que reparar. La automatización del proceso de morphing permite establecer un proceso industrial estable y perfectamente repetible de estas operaciones en piezas cuyos desvíos y defectos de forma no son repetibles. De donde una ganancia de tiempo, de calidad y por tanto de coste.

Preferentemente, el perfil de la pieza se presenta en forma de una malla de puntos.

Preferentemente todavía, las coordenadas y los vectores de desplazamiento de los puntos de la malla que hay que desplazar para interpolar la nube de puntos, denominados puntos de controles, son parámetros de la función de morphing.

Preferentemente todavía, una máquina de medición tridimensional (MMT), con o sin palpación, realiza una adquisición de las coordenadas de los puntos de la envuelta de la pieza que hay que mecanizar.

Preferentemente también, la pieza que hay que mecanizar es una pieza que ha recibido una adición de material.

La invención se refiere igualmente, a la base de datos de la puesta en práctica del procedimiento de la invención, que asocia parámetros de la función de morphing a una configuración elemental de deformación (CED).

La invención se comprenderá mejor con la ayuda de la descripción que sigue y de los dibujos anejos, en los cuales:

la figura 1 representa la etapa de adquisición de las coordenadas de los puntos de una envuelta de la pieza que hay que mecanizar de acuerdo con la invención;

la figura 2 representa las etapas de creación de una malla teórica de acuerdo con la invención;

la figura 3 representa las etapas del procedimiento de la invención que permiten reparar una pieza dañada;

la figura 4 representa las etapas que permiten calcular la trayectoria de mecanizado sobre el modelo teórico, deformado por morphing, de acuerdo con el procedimiento de la invención;

la figura 5a representa una configuración elemental de deformación de acuerdo con la invención;

la figura 5b representa la configuración elemental de deformación de la figura 5a después de la deformación por morphing; y

la figura 6 representa una zona en sobreespesor de la pieza que hay que mecanizar.

Refiriéndose a la figura 4, después de un análisis del modelo topológico global 32, las zonas en sobreespesor o en subespesor son comparadas con configuraciones elementales de deformación (CED) 102 almacenadas en una base de datos 100 con parámetros 101 que permiten deformar por morphing 41 el modelo teórico B con el fin de calcular la trayectoria de mecanizado 33.

♦ Configuración elemental de deformación (CED)

Una configuración elemental de deformación (CED) 102 es una superficie parametrizada definida por curvas de Bézier. Una CED comprende aquí una porción de malla, formada por cuadrículas que pueden tener diferentes motivos, y puntos que representan el perfil real de la superficie parametrizada. La distancia entre los puntos y las cuadrículas de la malla representan los desvíos de distancias entre el perfil teórico y real de la superficie parametrizada.

Una configuración elemental de deformación (CED) es un análisis desde el punto de vista local de la función morphing. Una CED comprende una porción de malla, que simula una porción de malla del perfil teórico de la pieza, y varios puntos que simulan puntos de medición de la pieza real. Una configuración elemental CED es una representación de las diferencias que pueden existir localmente entre una pieza real y un perfil teórico.

Con el fin de definir mejor la CED, refiriéndose a la figura 5a, la CED 5 comprende una porción de malla que comprende nueve cuadrículas, dispuestas en tres líneas y tres columnas, teniendo cada cuadrícula cuatro lados. La CED 5 comprende cuatro puntos A1, A2, A3, A4.

5 La distancia que separa respectivamente un punto de su cuadrícula más próxima está representada por una recta que se extiende según la normal a la citada cuadrícula partiendo de los citados puntos A1-A4. Estas distancias son similares a la medición de los desvíos Δ definida anteriormente para el modelo topológico. Cuanto menor son estas distancias, más próxima está la malla a estos puntos.

10 Es evidente que sería conveniente igualmente una CED que se presente en forma de una superficie parametrizada, que para cada punto de la superficie asocie un valor que represente un desvío de deformación. Es evidente que sería conveniente igualmente una representación matemática de la CED tanto matricial como analítica.

♦ Almacenamiento en la base de datos de los parámetros de deformación de las CED

15 En la porción de malla de la CED 5, continuando refiriéndose a la figura 5a, están representados cuatro puntos de controles B1-B4. Estos corresponden a los vértices de la cuadrícula central de la malla. El desplazamiento de un punto de control provoca una modificación global de las curvas de Bézier de la malla, que afectan tanto a la longitud de los diferentes lados de las cuadrículas como a su tangencia de una con respecto a otra.

La selección de los puntos de control que hay que desplazar así como sus vectores de desplazamiento permiten deformar la malla por morphing e interpolar lo mejor posible los puntos A1-A4.

20 Para cada CED de la base de datos 100, estos parámetros han sido calculados previamente por un experto e insertados en la base de datos 100. Refiriéndose a la figura 4, la base de datos 100 pone en relación cada CED 102 con estos parámetros 101. A título de ejemplo, la figura 5b representa la deformación por morphing de la malla de la CED de la figura 5a. El punto de control B2 es desplazado según el vector V al punto B2', permitiendo así a la malla interpolar los puntos A1-A4. Se significa, por ejemplo, que los desvíos entre los puntos A1-A4 y la malla han disminuido en la figura 5b. En la base de datos 100, la CED 5 está asociada con las coordenadas del punto B2 que hay que desplazar y su vector de desplazamiento V.

25 En este ejemplo, un solo punto de control, en este caso B2, está desplazado. Sin embargo, varios puntos de control pueden ser desplazados, de manera similar, para interpolar los puntos A1-A4.

30 La base de datos 100 comprende numerosas CED 102, que tienen mallas y posiciones de puntos variados, para el cual la deformación óptima de la malla ha sido calculada con el fin de interpolar lo mejor posible los puntos. Las CED 102 se distinguen una de otra por su curvatura, concavidad, número de cuadrículas de la malla, conexión de los empalmes y tangencia de las cuadrículas.

♦ Ejemplo de puesta en práctica

Después de haber descrito la estructura de los medios de la invención, se va a abordar ahora su funcionamiento y su puesta en práctica.

35 Refiriéndose a la figura 3, una nube de puntos A de una pieza dañada 1, que eventualmente ha recibido una adición de material 2, es comparada con el modelo teórico B con el fin de crear un modelo topológico global 31 de la pieza 1.

40 El análisis del modelo teórico global 32 permite identificar zonas topológicas locales correspondientes a las zonas en subespesor o en sobreespesor. Después del análisis, se realiza una etapa de cálculo de la trayectoria de mecanizado 33 y una etapa de mecanizado 34 de la pieza 1. Refiriéndose a la figura 6, estas zonas topológicas 20 se comparan respectivamente con las CED 102 de la base de datos 100.

Esta comparación se realiza por diferencia de formas, por relación de escala y por análisis en función de la posición de las cuadrículas de la malla teórica B.

45 La base de datos 100 comprende una gran variedad de CED 102 para permitir identificar la zona topológica local seleccionada 20, constituyendo las CED 102 una base en el sentido matemático. Cuando la CED queda identificada, se leen en la base de datos 100 los parámetros 101 asociados a la CED 102, permitiendo estos parámetros 102 deformar la malla B de la zona topológica 20.

50 Esta etapa de comparación se realiza para cada zona topológica local 20 con el fin de obtener el conjunto de los parámetros 101 locales necesarios para la deformación de la malla teórica B. Estos parámetros 101 son necesarios para el cálculo de la trayectoria de mecanizado 33 sobre el modelo teórico B para volver a dar a la pieza dañada 1 su perfil aerodinámico.

Cuando una zona topológica local no puede ser identificada en la base de datos 100, la deformación de la malla de la citada zona 20 es realizada por un experto que determina los puntos de control que hay que desplazar así como su vector de desplazamiento

La zona topológica local y los parámetros de deformación de esta zona son insertados en la base de datos 100, permitiendo reutilizar los parámetros calculados por el experto posteriormente. El enriquecimiento de la base de datos 100 permite evitar a un experto resolver varias veces problemas similares. La deformación por morphing está automatizada.

5	1	Pieza que hay que mecanizar
	2	Adición de material (patch)
	3	Pieza mecanizada
	4	Configuración elemental de deformación
	11	Etapa de adición de material
10	12	Etapa de medición volúmica de la pieza
	20	Zona topológica local
	21	Etapa de cálculo aerodinámico
	22	Etapa de realización del modelo teórico
	31	Creación del modelo topológico
15	32	Análisis del modelo topológico global
	33	Cálculo de la trayectoria de mecanizado
	34	Mecanizado
	41	Deformación del modelo teórico por morphing
	100	Base de datos
20	101	Configuraciones elementales de deformación
	102	Parámetros de la función de morphing

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de reparación por mecanizado de una pieza que hay que mecanizar (1), tal como un álabe de turbomáquina, a partir de un perfil conocido de la pieza (B), comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:

5 a. una adquisición de las coordenadas de puntos de una envuelta de la pieza que hay que mecanizar (1), formando el conjunto de los puntos una nube de puntos (A);

b. una comparación (31) del perfil conocido (B) con la nube de puntos (A) para definir zonas en sobreespesor o subespesor (20) en la pieza que hay que mecanizar (1);

10 c. una deformación (32) del perfil (B) por un procedimiento de morphing para que el perfil deformado interpole la nube de puntos (A), definiendo la deformación del perfil una función de morphing y

d. el mecanizado (34) de la pieza que hay que mecanizar (1) por una máquina de mecanizado, parametrizada a partir de la función de morphing.

15 caracterizado por el hecho de que la deformación del perfil (B) comprende una comparación de cada zona en sobreespesor o subespesor (20) de la pieza que hay que mecanizar (1) con configuraciones elementales de deformación (CED) (5) que se presentan, cada una, en forma de una porción de malla, que simula el perfil (B), y de puntos que simulan puntos de la nube de puntos (A), estando clasificadas las configuraciones elementales de deformación (CED) (5) en una base de datos (100) que asocia para cada configuración elemental de deformación (CED) (102) los parámetros de la función de morphing (101).

20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el perfil de la pieza se presenta en forma de una malla de puntos (B).

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual las coordenadas y los vectores de desplazamiento de los puntos de la malla (B) que hay que desplazar para interpolar la nube de puntos (A), denominados puntos de controles, son parámetros de la función de morphing (101).

25 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual una máquina de medición tridimensional (MMT), con o sin palpación, realiza la adquisición de las coordenadas de los puntos de la envuelta de la pieza que hay que mecanizar.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual la pieza que hay que mecanizar (1) es una pieza (1) que tiene una adición de material (2).

30 6. Base de datos (100) para la puesta en práctica del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, que asocia a una configuración elemental de deformación (CED) (102) parámetros de la función de morphing (101).

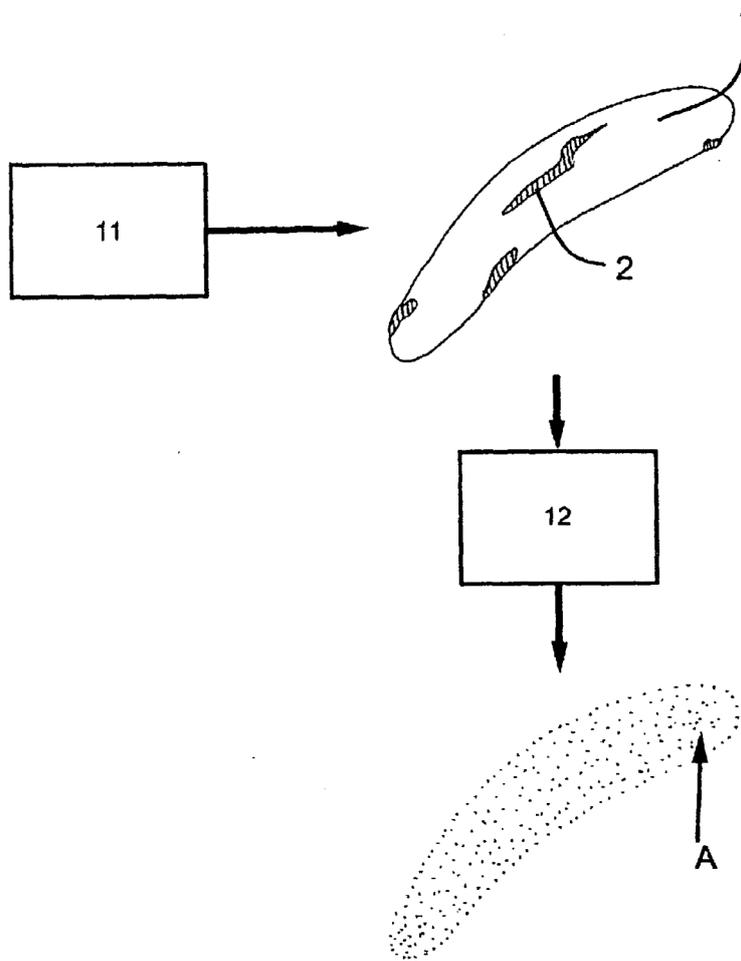


Figure 1

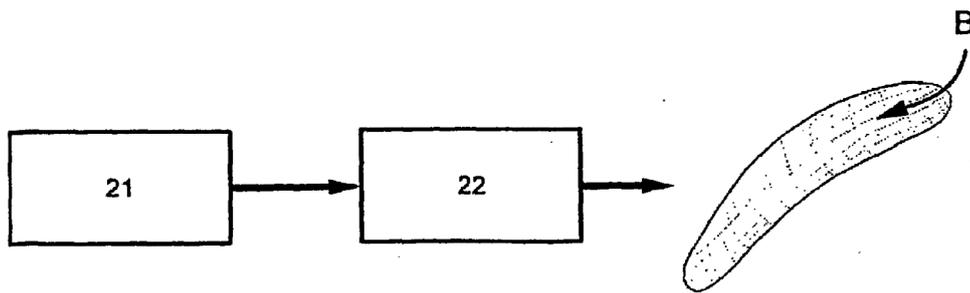


Figure 2

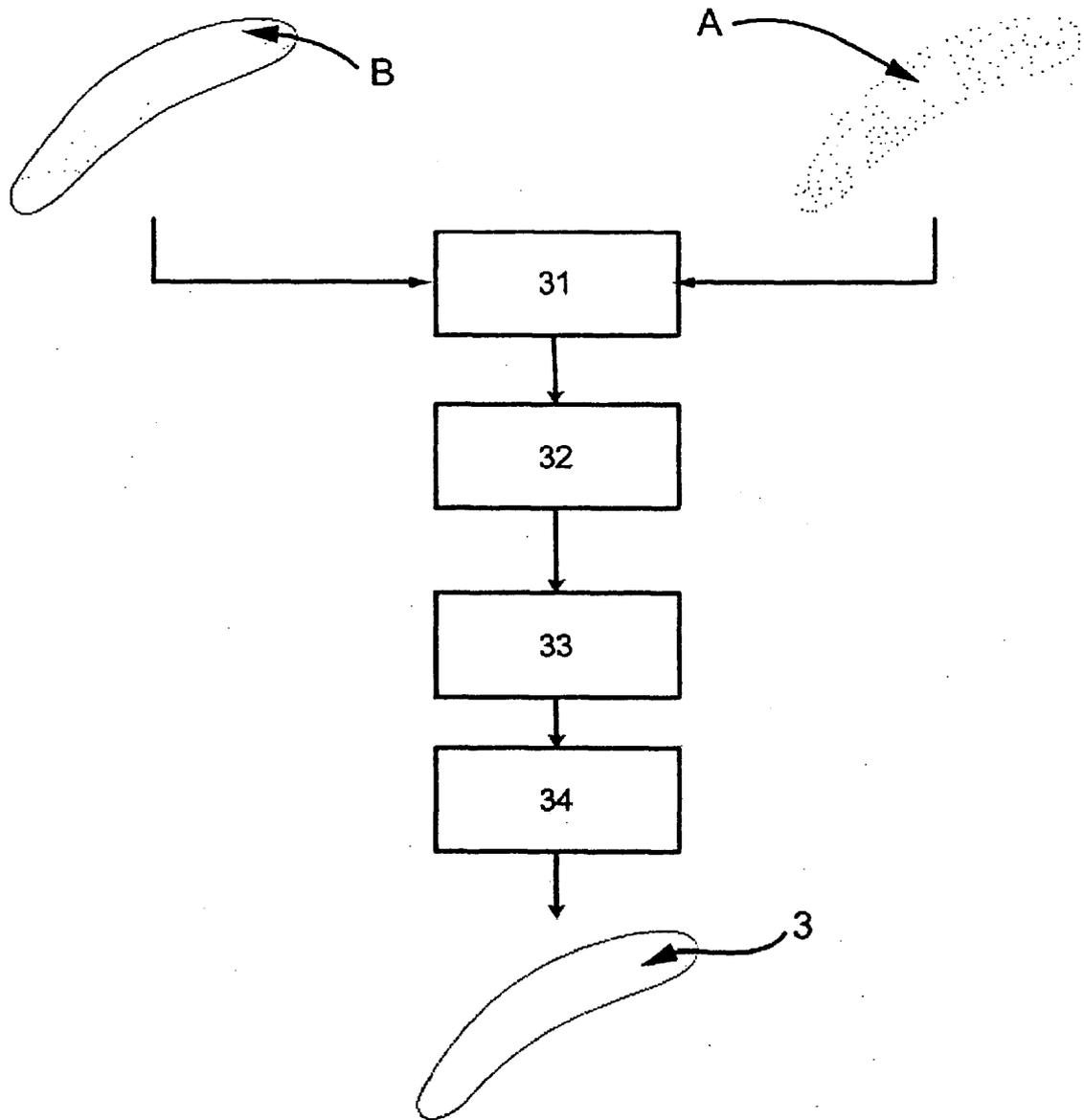


Figure 3

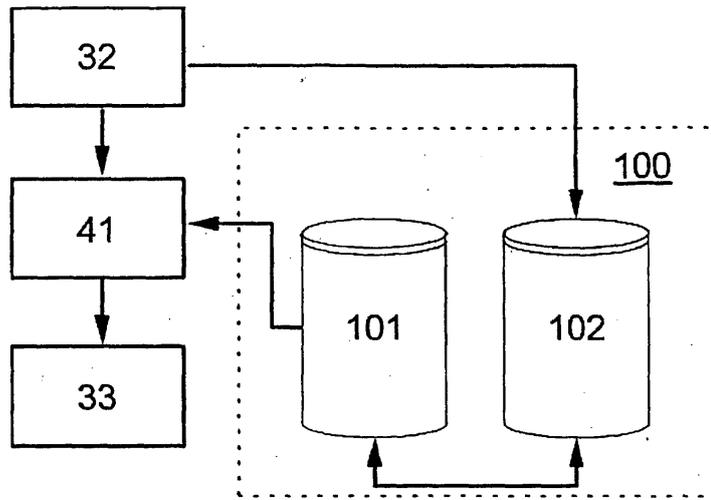


Figure 4

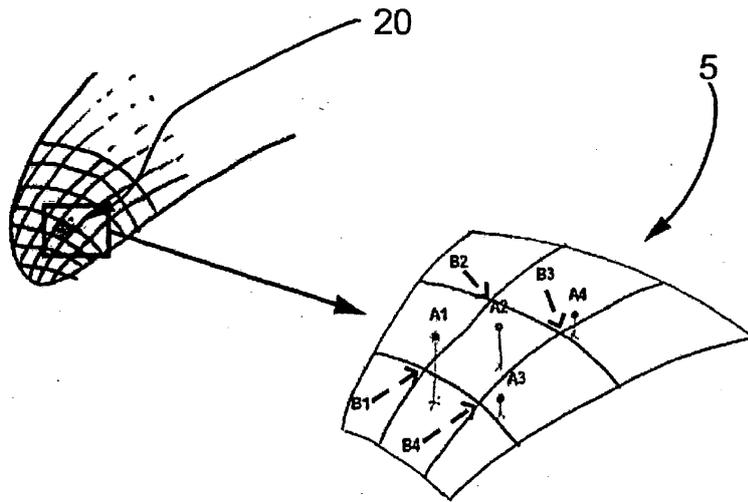
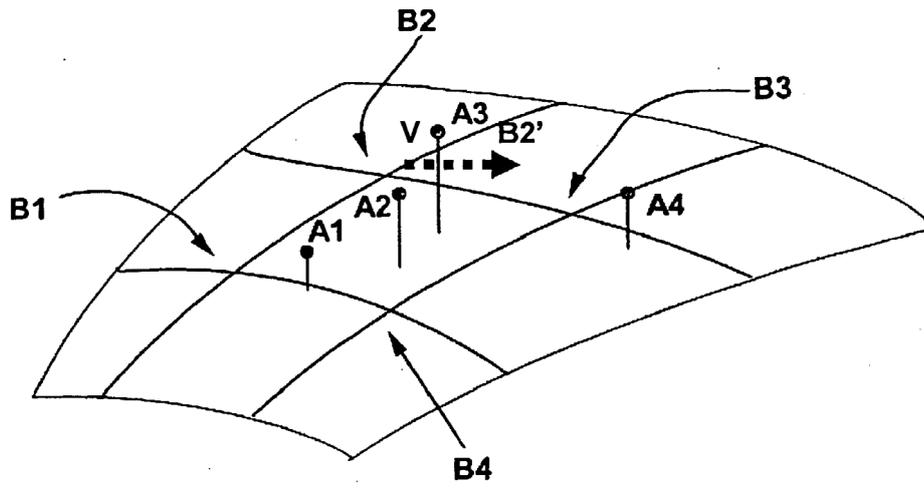
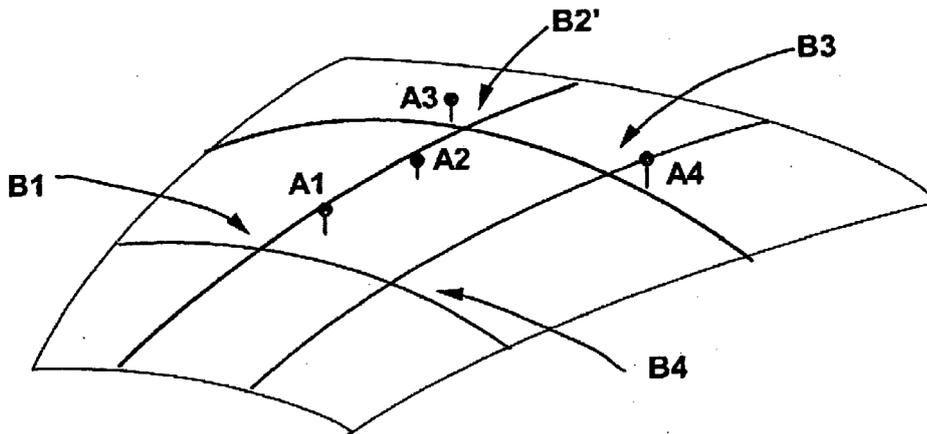


Figure 6



(5a)



(5b)

Figure 5