

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 594 027**

51 Int. Cl.:

**B29C 73/26** (2006.01)

**B24C 1/04** (2006.01)

**G01N 21/88** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2013 PCT/EP2013/001066**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.10.2013 WO13156124**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2013 E 13720778 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.06.2016 EP 2838712**

54 Título: **Procedimiento y sistema de mecanización capa por capa de una pieza de material compuesto por aporte de energía**

30 Prioridad:

**20.04.2012 FR 1253665**

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

**15.12.2016**

73 Titular/es:

**JEDO TECHNOLOGIES (100.0%)  
Rue du Chêne Vert  
31682 Labege, FR**

72 Inventor/es:

**DELERIS, MICHEL y  
CENAC, FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 594 027 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de mecanización capa por capa de una pieza de material compuesto por aporte de energía

### DOMINIO TÉCNICO

5 La invención se refiere a un procedimiento de mecanización capa por capa de piezas de material compuesto en el marco de una puesta en práctica por cualquier tecnología de mecanización que aporta la cantidad de energía apropiada para retirar un volumen de material dado, en particular por chorro de agua a alta presión. La invención se refiere igualmente a un sistema de optimización apto para poner en práctica tal procedimiento.

10 La invención se aplica a los paneles de cajón, de marcos o de paredes, destinados en particular pero no exclusivamente a la industria aeronáutica. La invención se refiere en particular, pero no exclusivamente, a la reparación de estos paneles. Se aplica también a mecanizaciones de forma de estos paneles, con capas constantes.

El material compuesto está constituido de manera general por un apilamiento de capas de fibras impregnadas de resina - fibras de carbono, de vidrio, de kevlar o equivalente - orientadas según diferentes direcciones de una capa a la capa siguiente. Las capas son impregnadas de una resina con el fin de formar un conjunto que presente una gran solidez independientemente de cuál sea la orientación de las tensiones.

15 Sin embargo, estos paneles están particularmente expuestos y pueden sufrir choques, en particular por impactos con el suelo, o malformaciones creadas en la fabricación. Estos defectos se extienden en las capas y su reparación es particularmente importante debido a la resistencia mecánica garantizada por estas estructuras.

20 En lo que se refiere a la reparación, existen varias técnicas. Una técnica convencional consisten en reforzar la zona dañada por una placa metálica pegada y remachada. Esta técnica es rápida pero presenta el principal inconveniente de provocar turbulencia que genera defectos de circulación de aire y por tanto perturbaciones aerodinámicas, debido a que la pieza postiza no presenta la misma geometría y modifica el dimensionamiento aerodinámico.

### ESTADO DE LA TÉCNICA

25 Una técnica más evolucionada consiste en retirar material alrededor de la zona dañada formando escalones o gradas concéntricas entre las capas sucesivas con la ayuda de un sistema de aporte de energía, por ejemplo de chorro de agua bajo presión. La zona así vaciada es recreada por polimerización de nuevas capas de geometría adaptada. La pieza de material compuesto de reparación viene a adaptarse a continuación al contorno de los bordes de la zona vaciada.

Esta técnica necesita una gran adaptabilidad para no sufrir las tensiones, no cuantificables de antemano, resultantes de las singularidades de los materiales tales como las relajaciones, las recuperaciones de capas (desplazamiento,...), los daños a reparar, la variabilidad en el grosor de las capas (defectos internos), o la presencia de diferentes materiales.

30 Con el fin de adaptar la cantidad de material a tratar, el vaciado se hace entonces generalmente por mecanización a mano: capas crudas impregnadas de resina epoxi son añadidas capa por capa y el endurecimiento de la resina es realizado a continuación a temperatura ambiente o acelerado por un tratamiento térmico u otro según la naturaleza de la resina.

35 Sin embargo, esta mecanización manual es difícilmente reproducible y es fuertemente penalizadora en el tiempo. Se han desarrollado diferentes tecnologías por tanto con el fin de automatizar esta mecanización, tales como el chorro de agua abrasiva, el láser, las herramientas de corte o los ultrasonidos. Estos vaciados controlados por mecanizaciones de profundidad constante son entonces realizados. Pero estos vaciados son difícilmente adaptables a las singularidades consideradas más arriba.

40 Entre los defectos encontrados en el seno de los materiales compuestos, la formación de « wrinkles » (arrugas en terminología inglesa) es corriente: estas arrugas provienen de la formación de capas de espesor variable. Además, las tensiones internas en los materiales compuestos, inducidas durante la fabricación, hacen variable la geometría de la pieza antes, durante y después de la mecanización. Estas variaciones de geometría penalizan la utilización de herramientas de forma, tales como la mecanización convencional, debido a que requieren un conocimiento preciso de la geometría de la pieza.

45 El documento WO 2011/018163 A1 describe un procedimiento y un sistema de mecanización capa por capa de defectos de una pieza de material compuesto mediante un apilamiento de capas según los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 8.

### EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

50 La invención tiene por objeto lograr un mecanización optimizada capa por capa de piezas compuestas capaz de controlar automáticamente una profundidad variable dependiendo de las singularidades y de otros defectos o daños, y por tanto realizar mecanizaciones con la capa constante. En otros términos, la invención tiene por objeto permitir una adaptabilidad

de la cantidad de material a retirar, al tiempo que garantiza una reproductibilidad de la mecanización con un sistema automático de aporte de energía. Para hacer esto, se propone identificar las capas, los defectos y su topología por un análisis de imagen de las zonas barridas y ajustar los parámetros de velocidad de mecanización en función de esta identificación para eliminar los defectos por compensaciones sucesivas convergentes de la mecanización de las capas sobre las zonas barridas.

Más precisamente, la presente invención tiene por objeto un procedimiento de mecanización capa por capa de una pieza de material compuesto, compuesto de un apilamiento de capas, por un aporte de energía por flujo según un barrido por zona de la pieza a mecanizar. En este procedimiento, una detección de al menos un flujo de luz reflejado sobre las zonas mecanizadas por barrido de la pieza proporciona niveles de brillos locales correspondientes a orientaciones de capas. Al menos un parámetro de control de la variación de profundidad de material a mecanizar es entonces indexado en función de los capas de la pieza detectadas en las zonas de barrido por su nivel de brillo y su posición relativa con relación a un nivel de interfaz entre las capas. La indexación es calibrada sobre incrementos predefinidos en un intervalo que enmarca un valor de referencia y correspondiente a grados de profundidad de retirada de material, de manera que los niveles de brillo de los barridos convergen hacia una uniformización de brillo con la capa constante.

Por « zonas barridas », conviene entender las unidades de superficie sucesivamente mecanizadas en el curso de un barrido de superficie de un panel, así como las zonas obtenidas sucesivamente por la mecanización de una misma unidad de superficie realizada por barridos sucesivos de la superficie del panel. Igualmente, por « barridos sucesivos » se entienden pasos de barrido (un paso correspondiente a una longitud de barrido sobre una misma línea) realizados sucesivamente para cubrir la superficie de un panel, o bien pasos de barrido realizados localmente para retirar sucesivamente material sobre una misma línea.

La convergencia de la mecanización hacia un estado de superficie sin defecto proporcionada por los datos de brillo del modelo de correspondencia es así realizada por una adaptación de al menos un parámetro de variación de profundidad de material mecanizada, tal como la velocidad de barrido, el caudal de abrasivo, el paso de barrido, la intensidad eléctrica de comando del flujo de energía o la presión proporcionada por el aporte de energía. Esta convergencia se traduce por una disminución de la desviación de datos de brillos luminosos de dicho barrido y de los datos de correspondencia del modelo.

Según puestas en práctica ventajosas:

- una comparación entre niveles de brillo de la superficie mecanizada por el barrido precedente y datos de correspondencias tipológicos predeterminados selecciona y/o actualiza una tipología e indexaciones de velocidad adaptadas a esta tipología para el barrido siguiente;

- las indexaciones del parámetro de control de un barrido dado son comparadas con las indexaciones del barrido precedente, y una parada del flujo de energía puede ser provocada si localmente una variación de indexación entre los barridos excede una desviación de límite superior dado, de preferencia cuando esta variación corresponde a un cambio de nivel de brillo de al menos capa;

- el valor de referencia del parámetro de control es modificable para un barrido dado partiendo del valor nominal de retirada de un capa de material en función de las indexaciones reguladas para al menos un paso de barrido precedente;

- la detección de flujo luminoso es polarizada con el fin de proporcionar detecciones de brillo suficientemente contrastadas para elaborar datos de niveles de brillo localizados minimizando el riesgo de error para diferentes orientaciones del flujo de luz.

- una parada del flujo de aporte de energía es provocada cuando el valor del parámetro de control es regulado localmente sobre un valor situado fuera de un intervalo predefinido.

La invención se refiere igualmente a un sistema de mecanización capa por capa de defectos de una pieza de material compuesto, apto para poner en práctica tal procedimiento. Este sistema comprende una unidad de tratamiento digital de datos en unión con un comando de barrido de una máquina de aporte de energía por flujo en zonas a mecanizar, y un conjunto de formación de imágenes. Este conjunto incluye al menos una fuente luminosa dispuesta para emitir un flujo de luz que puede ser reflejado por una superficie mecanizada de la pieza según al menos dos ángulos diferentes con relación a una referencia de orientación de las fibras de cada capa, así como un medio de toma de vistas de la superficie de la pieza así iluminada en unión con la unidad de tratamiento de datos para proporcionar niveles de brillo. La unidad de tratamiento comprende medios de regulación de indexación de las velocidades de barrido locales de la pieza, variando las velocidades en un intervalo determinado de manera que los niveles de brillo de los barridos sucesivos, proporcionados por el conjunto de formación de imágenes, convergen hacia una uniformización de brillo correspondiente a una misma profundidad en « unidad de capa » de la zona mecanizada. Esta « misma profundidad » puede ser definida como un nivel de capa constante que coincide con una misma interfaz entre las capas.

Según modos de realización preferidos:

- la unidad de tratamiento digital incluye medios de comparación entre niveles de brillo de la superficie mecanizada por el barrido precedente y datos de correspondencias tipológicas predeterminadas, siendo almacenados los datos de correspondencias y de niveles de brillo después de cada barrido en módulos de memoria de la unidad de tratamiento;

5 - una biblioteca de modelos de estados de capas de piezas proporciona un modelo de referencia semejante a la pieza tratada según los brillos detectados después de los primeros barridos, siendo transmitido el modelo a la memoria de datos de correspondencias tipológicas de la unidad de tratamiento;

- el medio de toma de vistas es un aparato fotográfico digital, siendo disparadas al menos dos fotografías para dos ángulos de orientación de la fuente correspondiente a dos orientaciones de fibras de capas de la pieza;

10 - el medio de toma de vistas incluye al menos un objetivo equipado con un filtro polarizador.

#### PRESENTACIÓN DE LAS FIGURAS

Otros datos, características y ventajas de la presente invención aparecerán con la lectura de la descripción no limitativa que sigue, en referencia a las figuras adjuntas que representan, respectivamente:

15 La fig. 1, un esquema funcional del sistema de puesta en práctica del procedimiento según la invención en forma de diagrama funcional;

La fig. 2, una vista en corte esquematizado de un perfil de barrido de un ejemplo de mecanización de capas de un panel en función de una interfaz de capa a alcanzar y,

20 La fig. 3, un primer esquema en corte (a0) de un panel de material compuesto antes de tratamiento y esquemas en corte (a1), (b1), (c1) y en vistas superiores (a2), (b2), (c2) de este panel en un ejemplo simplificado de tratamiento según la invención sobre una profundidad de tres capas;

La fig. 4, vistas superiores esquematizadas (a1 a a3, b1 a b3, c1 a c3) de un ejemplo de mecanización de capas de un panel por tres barridos sucesivos, acompañadas de esquemas de perfiles de barridos (a4, b4, c4) e indexaciones de velocidades de barrido correspondientes (a5, b5);

25 La fig. 5, una vista en corte (a) y en vista superior (b) del panel compuesto de borde curvado tratado clásicamente con un primer barrido a velocidad constante; y

La fig. 6, una vista en corte (a) y en vista superior (b) del panel compuesto de borde curvado de la fig. 7, tratado conforme al invento con un segundo barrido a velocidad variable.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

30 En referencia al diagrama de la fig. 1, un sistema 10 según la invención comprende una unidad de tratamiento digital de datos 1 equipada con un procesador y memorias. Esta unidad proporciona una señal de velocidad Sv de barrido con un comando de barrido 2 de una máquina de chorro de agua abrasivo a alta presión 20. La velocidad de barrido es, en este ejemplo no limitativo, el parámetro utilizado para hacer variar la profundidad de mecanización. Un conjunto de formación de imágenes digitales 3 de una superficie de panel 6 de material compuesto a mecanizar es igualmente mandado en señales SI de orientación y emisión luminosa por la unidad de tratamiento digital 1. Este conjunto de formación de imágenes digitales 3 proporciona niveles de brillo NB de la superficie del panel iluminado a la unidad de tratamiento de datos 1.

40 Esta unidad de tratamiento 1 entrega indexaciones de incrementos i% para elaborar la señal de velocidad Sv por regulación de potenciómetros 13. El comando 2 recibe la señal Sv y proporciona señales de velocidades locales de barrido vB a la máquina 20. Los incrementos i% (i1, i2, ...) son definidos en porcentajes de una velocidad de referencia v0 igual, en principio, a la velocidad nominal apta para retirar el material correspondiente a la profundidad de una capa, por ejemplo 0,2 mm. Sin embargo, la velocidad de referencia es modificable para tener en cuenta el conjunto de los incrementos de velocidad de un paso de barrido precedente, por ejemplo de su valor medio, cuando este conjunto se desvía sensiblemente del valor nominal. Esta reinicialización de la velocidad de referencia, realizable en cada paso, permite entonces seguir la evolución del conjunto de los incrementos continuando la utilización directamente de todos los incrementos a disposición para el paso siguiente, en particular los incrementos extremos (200%, 150%, 50%, 30%). Esta reinicialización permite por tanto evitar barridos suplementarios que, si no, han de preverse para desembocar en una retirada de material correspondiente a incrementos extremos que no estarían directamente a disposición.

En los ejemplos no limitativos a continuación, los límites de incremento de la velocidad vB son el 50% o el 30% para el límite inferior y el doble (200%) para el límite superior.

50 La indexación de la señal de velocidad Sv es de hecho regulada por la aplicación de una iteración convergente 8 generada por los datos de niveles de brillo NB proporcionados por el conjunto de formación de imágenes 3,

correspondiente a una profundidad de retirada de material del barrido precedente. Por comparación después de cada barrido, entre estos niveles de brillo NB y los niveles de brillo de una tipología de defecto identificado y correspondiente a uno de los modelos de referencia Mr, la unidad de tratamiento 1 selecciona los incrementos de velocidad  $i\%$  a aplicar localmente. Los datos de correspondencias de brillos/tipologías BT y de los niveles de brillo medidos NB son almacenados en módulos de memoria de datos 12 y 14 de la unidad de tratamiento 1 y proporcionados a los medios de comparación 11.

Ventajosamente, las velocidades indexadas por un barrido dado son igualmente comparadas en los medios de comparación 11 con las velocidades que han sido indexadas en el barrido precedente para una misma localización. Si, para una localización de superficie de panel dada, la variación de indexación de las velocidades es superior a una desviación de límite superior dado  $\Delta v$ , aquí 200% del valor de referencia  $v_0$ , una señal de parada A del flujo de chorro de agua es disparada ( $A = 1$ ). Por ejemplo, la presencia de un defecto importante puede provocar la exposición de una capa situada a dos unidades de capa bajo la capa mecanizada. En este caso, la señal de parada A detiene el chorro abrasivo para la zona correspondiente.

Estos medios de comparación seleccionan los incrementos de velocidad correspondiente a los grados de profundidad en número entero de capas, de semi-capas o de fracciones de capas de material a retirar localmente para alcanzar una interfaz de capas en función de la tipología del defecto identificado. La convergencia es cuantificada por el número de barridos correspondientes. Esta determinación tiene en cuenta variaciones de velocidad locales  $\Delta v$  que no deben ser sobrepasadas entre dos barridos. Ejemplos de convergencia de los niveles de brillo son dados a continuación.

El ajuste de la velocidad puede ser regulado para satisfacer un compromiso entre la precisión de la mecanización, dependiendo de las dimensiones de corte en zonas a mecanizar, y la duración de la operación, favoreciendo una o la otra o adoptando una posición intermedia entre precisión y duración. La convergencia puede ser entonces cuantificable en número de iteraciones a realizar, por ejemplo sobre tres, cuatro o cinco barridos por defecto, para satisfacer el compromiso.

Unos modelos de referencia Mr pueden ser proporcionados por una biblioteca 4 a la memoria 12 de las correspondencias BT con estados de brillo variables de los escalones de paneles en función de los diferentes tipos de defectos tratados. Esto permite elegir el modelo de referencia Mr para el panel a tratar por comparación de los brillos aportados por los primeros barridos. Este modelo puede ser cambiado en el curso del tratamiento si se confirma una divergencia por un resultado de brillo contrario al modelo. Los medios de comparación 11 de la unidad de tratamiento 1 disparan una señal de parada  $A = 1$  del sistema 10 cuando es confirmada la divergencia, por ejemplo para dos barridos sucesivos. Si la convergencia es respetada globalmente, por ejemplo no más de una divergencia sobre cinco barridos, no se dispara ninguna parada ( $A = 0$ ).

El brillo de una capa es medido por la intensidad luminosa de un flujo reflejado por la capa. Esta intensidad es obtenida por un análisis de la luz reflejada a partir de una imagen tomada por un aparato fotográfico digital.

Más precisamente, la velocidad de barrido es inversamente proporcional a la cantidad de material retirada y por tanto a su profundidad. El intervalo de velocidades está por tanto directamente ligado al intervalo de profundidad de capa que puede ser retirada por el barrido corriente, que está así comprendido, en el ejemplo descrito a continuación, entre  $\frac{1}{2}$  y 2 capas cuando la velocidad varía respectivamente entre 2 veces y la mitad de la velocidad de referencia.

La velocidad de barrido  $v_B$  es entonces indexada localmente sobre uno de los incrementos  $i_1, i_2, \dots$ , (expresados en %) - clasificados de manera decreciente en función de las configuraciones de capas predeterminados. Para un barrido corriente  $B_n$ , la comparación entre datos de configuración, en particular de los niveles de brillo NB del barrido precedente  $B_{n-1}$  y datos de correspondencias tipológicas predeterminados BT, permite a la unidad de tratamiento 1 seleccionar, para el barrido corriente, una tipología y actualizarla si ya ha sido seleccionada, así como las indexaciones de velocidad  $v_B$  más adaptadas a la tipología seleccionada o actualizada.

Los datos de configuración se refieren al nivel de brillo NB de la superficie y, de preferencia, igualmente a los datos de barrido, en particular a los incrementos de velocidad indexados al o a los barridos precedentes. Ventajosamente, otros datos más precisos de profundidad de retirada en la capa concernida por el barrido corriente permiten afinar la selección a partir de un mayor número de incrementos. Estos datos de profundidad son por ejemplo suministrados por un escáner láser 3D. Los datos de correspondencias se refieren aquí a correspondencias de brillos/tipologías BT. Estos datos BT son ventajosamente enriquecidos en el curso de la operación por el histórico de la mecanización que corrige la tipología seleccionada o cambia de tipología.

La indexación de los incrementos de velocidad es determinada por el grado de precisión adquirido progresivamente a medida de la mecanización. La velocidad es indexada en primer lugar sobre el incremento máximo  $i_1$ , con el fin de retirar el mínimo de material. Esta situación resulta de una información de nivel de brillo NB poco precisa que, comparada con los datos de correspondencia de brillos/tipologías BT - por ejemplo al comienzo del tratamiento - no permite a la unidad de tratamiento 1 regular este valor sobre un incremento más fino. Pero durante de la mecanización de las capas, la velocidad de barrido adopta progresivamente incrementos ajustados, por ejemplo más próximos al 100%, ya que las comparaciones sucesivas de niveles de brillo permiten ajustar lo más próximo posible la profundidad de mecanización

para tender hacia una misma interfaz entre capas. La velocidad de barrido  $v_B$  converge entonces globalmente y de manera incremental hacia la velocidad nominal  $v_0$  con el fin de proseguir la mecanización capa por capa: la desviación entre la velocidad de barrido y la velocidad nominal tiende globalmente hacia 0 para cada defecto.

5 En el ejemplo de mecanización ilustrado por el corte esquemático de la fig. 2, el perfil indicado  $B_{n-1}$  es el del barrido precedente. Corresponde a una retirada de material sobre las capas en profundidad creciente +2P, +1P y -1P, -2P referidas respectivamente por encima y por debajo de la interfaz 0P entre capas +1P/-1P, que es el tipo de nivel de interfaz a alcanzar después de un número de barridos suplementario apropiado para corregir el defecto por mecanización sucesiva. Las capas han sido identificadas por su nivel de brillo, capa por capa, sin hacer intervenir datos más precisos sobre los grados de profundidad de retirada de material en cada capa.

10 El análisis de brillo del perfil de barrido  $B_{n-1}$  indica profundidades de mecanización al nivel de la capa -2P, +2P, +1P y -1P. La velocidad de barrido para el barrido a efectuar en el barrido siguiente  $B_n$  es regulada:

- al nivel de la capa -2P, sobre el incremento más elevado, aquí  $i_1 = 200\%$ , con el fin de retirar la menor cantidad material posible para acercarse lo más rápidamente a la interfaz vista;

15 - al nivel de la capa -1P, la velocidad es incrementada sobre un valor superior a la velocidad nominal, por ejemplo  $i_4 = 110\%$  con el fin de retirar menos de un capa de profundidad para alcanzar la interfaz;

- para los niveles +2P y +1P, la velocidad es indexada sobre incrementos inferiores a 100% de la velocidad nominal, de manera que se retire más material que un capa: al nivel +2P, la velocidad es incrementada en  $i_7 = 50\%$  y, al nivel +1P, en  $i_5 = 90\%$  de la velocidad nominal.

20 En el curso de la operación, las informaciones de brillo NB comparadas con las informaciones de correspondencia de tipología BT (fig. 1) permiten aumentar la fiabilidad del procedimiento por la utilización, en cada barrido, del incremento más adaptado. La unidad de tratamiento 1 genera entonces señales Sv de mando de velocidades de barrido que tienden hacia la señal de velocidad de referencia  $v_0$  con indexaciones de incrementos sucesivos que convergen globalmente hacia el 100%.

25 Cuando los datos de brillo se cruzan con datos de profundidad de capa, proporcionados por ejemplo por el escáner láser 3D, el grado de profundidad de capa retirada es cuantificado, por semi-capa o por fracciones de capa. La regulación de la velocidad de barrido puede ser entonces afinada multiplicando el número de incrementos correspondientes a estas fracciones de capa. El número de capas necesario para la convergencia es globalmente disminuido.

30 Por ejemplo, la velocidad de barrido, que es aumentada al comienzo de la operación sobre un solo valor elevado: 200% para la detección de una capa de nivel una vez (tal como -1P) o dos veces (tal como -2P) inferior al nivel de referencia 0P es asignado, respectivamente, sobre varios valores ajustados en el curso de operación para estas mismas capas:  $i_1 = 200$ ,  $i_2 = 150$ ,  $i_3 = 130$  e  $i_4 = 110\%$  para la detección de una capa de nivel dos o una vez inferior;  $i_5 = 90\%$ ,  $i_6 = 70$ ,  $i_7 = 50$  e  $i_8 = 30$ , para la detección de una capa de nivel una o dos veces superior. Todos estos valores son regulados previamente en la unidad de tratamiento 1.

35 En virtud de los defectos de tipo « wrinkle » o « nervadura », el esquema (a0) de la fig. 3 ilustra la vista en corte de un panel 6b de material compuesto. Las capas P5 a P8 de este panel 6b incluyen defectos en forma de una arruga W1 y de una nervadura N1. Los esquemas (a1, a2) a (c1, c2) de la fig. 3 ilustran respectivamente vistas en corte y superiores del panel 6b en un ejemplo simplificado de tratamiento según la invención. El tratamiento está basado sobre el reconocimiento de las capas y el seguimiento de los defectos, sobre una profundidad que forma gradas concéntricas sobre cuatro capas.

40 Sobre el esquema (a1), un primer barrido B1 del chorro de agua abrasivo y velocidad constante  $v_1$ , elimina la primera capa P5 a profundidad constante según un disco central formando un escalón M5. Al menos un defecto ha sido detectado por un primer análisis de brillo de imagen y una elección de modelo de referencia para este defecto. El esquema (a2) en vista superior muestra mejor el disco central d6 de la interfaz de capas P5/P6 correspondiente a una primera retirada de material de la capa P5. El análisis de brillo identifica una zona Z1 de brillo diferente del resto del disco d6 y correspondiente tipológicamente a la presencia de una arruga W1 formada en las capas. A causa de este defecto, la primera capa P5 no ha desaparecido de forma total localmente al nivel de la zona Z1 durante la mecanización a profundidad constante de la primera capa P5.

45 El segundo barrido B2 (esquemas b1 en corte y b2 en vista superior) forma un vaciado en gradas concéntricas (escalones M5 y M6) y tiene en cuenta las enseñanzas proporcionadas durante el primer barrido B1: la unidad de tratamiento digital 1 (fig. 1) compara el brillo de la zona Z1 del primer barrido B1 con el de un modelo de arruga W1 almacenado del mismo tipo. El estado sucesivo de las capas de esta arruga correspondiente a este brillo es así identificado. Este estado induce que el grado de profundidad de capa P5 restante tal como referencia por su brillo es del orden = 10% y que es probable que la deformación de la capa siguiente sea del orden del 30%. La unidad de tratamiento 1 indexa entonces la velocidad al 70% de la velocidad nominal (indexación  $i_6$ ) a aplicar en el segundo barrido B2 cuando el chorro de agua abrasivo sobrevuela de forma precisa la zona Z1, unión con el comando de barrido 2 (véase la Fig. 1).  
50 Esta zona es mecanizada y toda la capa P6 es eliminada en una zona de barrido de disco central d7. Después de haber  
55

verificado que la capa P6 es bien eliminada por un nivel de brillo uniforme, la indexación es regulada al 100% de la velocidad nominal  $v_0$ .

5 Por otra parte, el segundo barrido B2 hace aparecer una nueva zona Z2 de brillo constatada con relación al del resto del disco central d7 correspondiente con la interfaz de capas P6/P7, apareciendo el disco d6 ahora en forma de una corona (esquema b2). Por comparación de brillo con un modelo de defecto de nervadura N1 y, habida cuenta de la diferencia de brillo de la zona Z2 con el de la zona Z1 del defecto W1, la unidad de tratamiento identifica el estado del capa P7 correspondiente y la presencia de fibras de la capa P7 en esta zona Z2. Por otro lado, la interfaz P6/P7 ha sido bien alcanzada pues el brillo ha desaparecido en el disco d7.

10 Estas enseñanzas son utilizadas en las indexaciones de velocidad del tercer barrido B3 (esquemas c1 y c2). Unidad de tratamiento indexa una velocidad de 110% (incremento  $i_4$ ) para la retirada de toda la capa P7 sobre una profundidad inferior a una capa en la zona de la arruga W1, por el hecho de que el modelo de arruga prevé una disminución del defecto según este orden de magnitud. Prevé igualmente una velocidad de barrido indexada sobre 110% a aplicar sobre una profundidad inferior a una capa cuando el chorro de agua abrasivo sobrevuela la zona Z2 con el fin de alcanzar y de quedarse en la interfaz de capas P7/P8. Después del paso del tercer barrido, el disco central d8 (esquema c2) corresponde con la interfaz de capas P7/P8, sin defecto aparente.

15 Los esquemas (a1) a (a3), (b1) a (b3) y (c1) a (c3) de la fig. 4 ilustran, en un ejemplo simplificado, el seguimiento de los niveles de brillo NB para reconocer las capas. El control de los niveles de brillo de una superficie del panel de material compuesto 60 es efectuado respectivamente por tres barridos de mecanización y, para cada barrido, según tres ángulos de exposición  $0^\circ$ ,  $-45^\circ$  y  $+45^\circ$ . Después de haber alcanzado la interfaz entre capas P3/P4, el mecanización es proseguida capa por capa siguiendo el mismo método, expandiendo después la eliminación del defecto sobre las capas P1 a P3. Para simplificar, esta convergencia es realizada por la ejecución de estos tres barridos. Los esquemas (a4), (b4) y (c4) muestran en corte los perfiles de barrido, la toma de vistas por un aparato fotográfico 31, y las capas sucesivamente mecanizadas después de cada uno de los tres barridos sucesivos Ba, Bb y Bc. Además, los esquemas (a5) y (b5) muestran los incrementos de velocidad indexados para los barridos Bb y Bc.

25 El conjunto de formación de imágenes comprende una fuente luminosa 30 montada sobre un soporte giratorio 7 y un aparato de fotografía digital 31 situado por encima del panel. Para mejorar la precisión de detección de la orientación de las fibras de las capas, el objetivo está equipado con un filtro polarizador 34 montado sobre un anillo giratorio (no representado). Tal detección es entonces suficientemente precisa para definir zonas de brillo (véase más adelante) sobre cada barrido, lo que permite una mecanización de reparación o de corrección de defecto extremadamente fina.

30 Este aparato 31 está dispuesto por encima de la superficie del panel 6 de manera que su eje óptico A1 es perpendicular al panel 6. La fuente 30, su eje óptico A2 y el flujo luminoso 33 procedente de la fuente 30 son orientados sucesivamente según las tres direcciones  $0^\circ$ ,  $-45^\circ$  y  $+45^\circ$  después de cada barrido. Las capas cada vez más profundas que se suceden - P1, P2, P3 y P4 - están orientadas según la serie o sucesión  $0^\circ/+45^\circ/-45^\circ/0^\circ$  con relación a la misma referencia angular que sirve para la identificación de las direcciones de la fuente 30.

35 En referencia a los esquemas (a1) a (a3), parece que el barrido no ha retirado toda la capa P1: una porción del capa superior P1, que refleja el flujo luminoso 33 orientado a  $0^\circ$ , es visible sobre el esquema a1. El esquema a2 muestra que ningún capa de orientación  $-45^\circ$  está presente a este nivel de barrido. La capa P2 es referenciada por el reflejo del flujo luminoso 33 orientado a  $+45^\circ$  (esquema a3). Además, una extensión de resina oscurecida 6, situada en la interfaz de las capas P1/P2 (esquema a4) aparece cualquiera que sea la orientación. El esquema a4 confirma bien la coherencia entre los reflejos formados por los capas P1, P2 así como su interfaz P1/P2 y el trazado del barrido Ba entre las capas P1 y P2.

40 En este estado, el objetivo de converger la mecanización hacia una interfaz de capas no es alcanzado. Para tender a ello, las velocidades de barridos del próximo barrido Bb (esquema b4) son indexadas sobre los incrementos (esquema a5), que permiten modular el grado de profundidad de retirada de material en función de la posición de la capa por encima o por debajo de una interfaz.

45 Para la capa superior P1, la velocidad es indexada sobre el incremento  $i_5 = 90\%$  correspondiente una velocidad inferior a la velocidad nominal de retirada de una capa. Está por tanto prevista una retirada de material más importante (de aproximadamente el 10%) que la correspondiente a la profundidad de un capa. Esta indexación va a permitir acercarse más a la próxima interfaz P2/P3 (esquema b4) después del próximo barrido.

50 Para la capa inferior P2, la velocidad es indexada sobre un incremento  $i_4 = 110\%$  correspondiente una velocidad superior: el grado de profundidad de retirada de material previsto es inferior a una capa con el fin de acercarse a dicha próxima interfaz P2/P3 después del barrido siguiente.

55 En cuanto a la extensión de resina 9 situada en la interfaz P1/P2, conviene conservar una mecanización de un grado de profundidad igual a una capa con el fin de encontrar la interfaz P2/P3. Una indexación de velocidad de barrido sobre la velocidad nominal (indexación del 100%) permite alcanzar esta interfaz durante el próximo barrido Bb.

Después de la ejecución de este barrido Bb, conforme a los incrementos de velocidad indicados sobre el esquema a5 - a

saber el 100% (mecanización entre interfaces), el 90% (mecanización de la capa P1) y el 110% (mecanización de la capa P2) - la mecanización obtenida es identificada por el brillo de la superficie 60 tal como se ha fotografiado según las orientaciones 0°, -45° y +45°, conforme a los esquemas b1 a b3.

5 Sobre estos esquemas, parece que la mecanización ha permitido tender hacia la interfaz P2/P3: la extensión de resina 9' es sensiblemente más importante que la de la resina 9 de la interfaz superior P1/P2 (esquemas a1 a a3) por el hecho de la adaptación de las velocidades de barrido por incrementos apropiados (90% y 110%) permitiendo a las mecanizaciones de las capas P2 y P3 « recuperar » parcialmente la interfaz P2/P3 concernida. Como corolario, la extensión de las capas P2 y P3 puesta en evidencia por la orientación del flujo luminoso 33 a -45° (esquema b2) y +45° (esquema b3) es más reducida que la de las capas P1 y P2 del barrido precedente (esquemas a1 a a3). Estas evoluciones se traducen  
10 igualmente sobre el perfil del barrido Bb (esquema b4) que se aproxima a la interfaz P2/P3.

Las indexaciones de las velocidades de barrido son mantenidas para el barrido siguiente Bc (esquema b5), a saber el 100% (mecanización de la interfaz P2/P3), el 90% (mecanización de la capa P2) y el 110% (mecanización de la capa P3).

15 La ejecución del barrido Bc permite converger la mecanización hacia la interfaz P3/P4: además la mecanización de una capa (indexación del 100% sobre la velocidad nominal) de la interfaz P2/P3 que desemboca en la interfaz P3/P4, la mecanización de la capa P2 con una velocidad de barrido inferior a la velocidad nominal (indexación al 90%) - que mecaniza sobre un grado de profundidad superior a una capa - permite alcanzar igualmente la interfaz P3/P4. Igualmente, la mecanización de la capa P3 con una velocidad de barrido superior a la velocidad nominal (indexación al 110%) - que mecaniza sobre un grado de profundidad inferior a una capa - permite desembocar en la interfaz P3/P4.

20 Los esquemas c1 a c3 muestran que, cualquiera que sea la orientación del flujo luminoso 33, es obtenida una misma reflexión de resina 9' en la interfaz P3/P4. El perfil de mecanización del barrido Bc tal como se ha ilustrado por el esquema c4 confirma bien el posicionamiento de este perfil sobre la interfaz P3/P4.

En ciertos casos, la mecanización puede provocar a su vez la aparición de singularidades a eliminar. Un caso conocido se refiere a los paneles curvos, tal como el panel 6d ilustrado por la fig. 5, visto en corte sobre el esquema (a) y en vista superior parcial sobre el esquema (b). El principio de mecanización con aporte de energía que proviene de una fuente se desplaza a distancia constante, por ejemplo por chorro de agua de flujo F1 que proviene de una boquilla S1 que se desplaza en un plano P<sub>F</sub>, induce un desplazamiento de mecanización progresivo cuando la mecanización es efectuada sobre partes inclinadas. En efecto, la profundidad de mecanización es constante, por ejemplo sobre una profundidad nominal E<sub>p</sub> de una capa. Un defecto D4 de material no retirado se forma entonces en la extremidad « E » del panel 6d durante la retirada de la primera capa Pa por un primer barrido Bi de chorro de agua abrasivo. La vista superior (b) muestra la conservación de la capa Pa sobre una gran parte de la superficie, fuera de la interfaz Pa/Pb.  
25  
30

La invención remedia este defecto conforme a la fig. 6 que retoma las vistas de los esquemas (a) y (b) de la fig. 5 en el marco de la invención. El segundo barrido Bj « borra » el defecto de extremidad « E » disminuyendo la velocidad por aumento al 90% de la velocidad nominal de barrido al nivel de esta extremidad « E ». Más material que una profundidad de capa es así retirado para compensar la falta de retirada de material del barrido precedente. De ello se deduce que el disco central d9 de la interfaz de capas Pb/Pc (vista superior (b)) no presenta ya defecto.  
35

La invención no está limitada a los ejemplos de realización descritos y representados. El procedimiento según la invención puede ser total, semi o parcialmente automatizado, o incluso seguir siendo manual reemplazando por ejemplo el aparato fotográfico por el ojo de un especialista. Así, los modelos de referencia pueden ser modelos empíricos basados sobre la experiencia visual de los brillos. Además, el sistema de aporte de energía puede ser distinto del chorro de agua abrasivo a alta presión. Es por ejemplo posible utilizar sistemas de láser o por ultrasonidos.  
40

Por otra parte, es igualmente posible prever una cámara o un aparato fotográfico asegurado a la máquina de emisión de flujo de energía. En este caso, los niveles de brillo pueden ser seguidos localmente sobre zonas elementales de dimensiones tan débiles como tecnológicamente posibles. La regulación de las indexaciones de velocidad puede entonces ser realizada para cada zona elemental con una retirada de material ajustada.  
45



## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de mecanización capa por capa de singularidades (W1; N1; D4) de una pieza (6, 6b, 6d) de material compuesto, compuesto de un apilamiento de capas (P1 a P4; P5 a P8; Pa a Pc) por un aporte de energía por flujo según un barrido por zona de la pieza a mecanizar, caracterizado por que una detección de al menos un flujo de luz (33) reflejada sobre las zonas mecanizadas (Z1, Z2; 60) por barrido de la pieza (6) proporciona niveles de brillos locales (NB) correspondientes a orientaciones de capas, y porque al menos un parámetro de control ( $v_B$ ) de la variación de profundidad de material a mecanizar es indexado entonces en función de las capas de la pieza (6) detectadas en las zonas barridas (Z1, Z2; 60) por su nivel de brillo (NB) y por su posición relativa con relación al nivel de interfaz entre capas (OP, P2/P3, P3/P4), siendo calibrada la indexación sobre incrementos (i1 a i4; i5 a i8) predefinidos en un intervalo que enmarca un valor de referencia ( $v_0$ ) y correspondiente a grados de profundidad de retirada de material, de manera que los niveles de brillo de los barridos sucesivos convergen hacia una uniformización de brillo con la capa constante.
2. Un procedimiento de mecanización capa por capa según la reivindicación 1, en el que el parámetro de control es elegido entre la velocidad de barrido ( $v_B$ ), el caudal de abrasivo, el paso de barrido, la intensidad eléctrica de comando de flujo de energía, y la presión suministrada por el aporte de energía.
3. Un procedimiento de mecanización capa por capa según la reivindicación 2, en el que, para cada barrido, una comparación entre niveles de brillo (NB) de la superficie mecanizada por el barrido precedente ( $B_{n-1}$ ) y de los datos de correspondencias tipológicas predeterminados (BT) selecciona y/o actualiza una tipología e indexaciones de velocidad adaptadas a esta tipología para el barrido siguiente ( $B_n$ ).
4. Un procedimiento de mecanización capa por capa según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que las indexaciones del parámetro de control de un barrido dado ( $B_n$ ) son comparadas con las indexaciones de velocidad del barrido precedente ( $B_{n-1}$ ), y una parada (A) del flujo de energía puede ser provocada si localmente una variación indexación entre los barridos sobrepasa una desviación de límite superior dado, de preferencia cuando esta variación corresponde a un cambio de nivel de brillo de al menos un capa.
5. Un procedimiento de mecanización capa por capa según una de las reivindicaciones precedentes, en el que el valor de referencia ( $v_0$ ) del parámetro de control es modificable para un barrido dado partiendo del valor nominal de retirada de una capa de material en función del conjunto de las indexaciones reguladas para al menos paso de barrido precedente.
6. Un procedimiento de mecanización según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la detección de flujo luminoso (33) es polarizada (35) con el fin de proporcionar detecciones de brillo suficientemente contrastadas para elaborar datos de niveles de brillo (NB) localizados minimizando el riesgo de error para diferentes orientaciones (-45, 0, +45) del flujo de luz (33).
7. Un procedimiento optimizado de reparación según una de las reivindicaciones precedentes, en el que una parada (A) del flujo de aporte energético es disparada ( $A = 1$ ) cuando el valor del parámetro de control es regulado localmente sobre un valor situado fuera de un intervalo predefinido.
8. Un sistema de mecanización capa por capa (10) de defectos (W1; N1) de una pieza (6, 6b, 6d) de material compuesto, apto para poner en práctica el procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que incluye una unidad de tratamiento digital de datos (1) en unión con un comando de barrido (2) de una máquina de aporte de energía (20) por flujo en zonas a mecanizar, y un conjunto de formación de imágenes (3) que incluye al menos una fuente luminosa (32) dispuesta para emitir un flujo de luz (33) que puede ser reflejado por una superficie mecanizada (60) de la pieza (6, 6b, 6d) según al menos dos ángulos diferentes (-45°, 0°, +45°) con relación a una referencia de orientación de las fibras de cada capa (-1P, -2P, +1P, +2P; P1 a P4), así como un medio de toma de vistas (31) de la superficie (60) de la pieza (6, 6b, 6d) así iluminada y unido a la unidad de tratamiento de datos (1) para proporcionar niveles de brillo (NB) y por que la unidad de tratamiento (1) incluye medios de regulación (11, 13) de indexación de las velocidades de barrido locales de la pieza (6, 6a, 6b), variando las velocidades en un intervalo determinado ( $\Delta v$ ) de manera que los niveles de brillo (NB) de los barridos sucesivos, proporcionados por el conjunto de toma de vistas de imágenes (3), convergen hacia una uniformización de brillo correspondiente a una misma profundidad en « unidad de capa » (OP, P2/P3, P3/P4) de la zona mecanizada.
9. Un sistema de mecanización capa por capa (10) según la reivindicación precedente, en el que la unidad de tratamiento digital (1) incluye medios de comparación (11) entre los niveles de brillo (NB) de la superficie mecanizada por el barrido precedente ( $B_{n-1}$ ) y datos de correspondencias tipológicas predeterminadas (BT), siendo almacenados los datos de correspondencias (BT) y de niveles de brillo (NB) después de cada barrido en módulos de memoria (12, 14) de la unidad de tratamiento (1).
10. Un sistema de mecanización capa por capa según una de las reivindicaciones 8 o 9, en el que una biblioteca (4) de modelos de estados de capas de piezas proporciona un modelo de referencia ( $M_r$ ) semejante a la pieza tratada por comparación de los brillos detectados después de los primeros barridos, siendo transmitido el modelo ( $M_r$ ) a la memoria (12) de datos de correspondencias tipológicas (BT) de la unidad de tratamiento digital (1).

11. Sistema de mecanización capa por capa según una de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el medio de toma de vistas es un aparato fotográfico (31), siendo disparadas al menos dos fotografías para dos ángulos de orientación de la fuente luminosa (31) correspondientes con dos orientaciones de fibras de capas de la pieza (6).

5 12. Un sistema de mecanización capa por capa según una de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el medio de toma de vistas incluye al menos un objetivo equipado con un filtro polarizador (34).

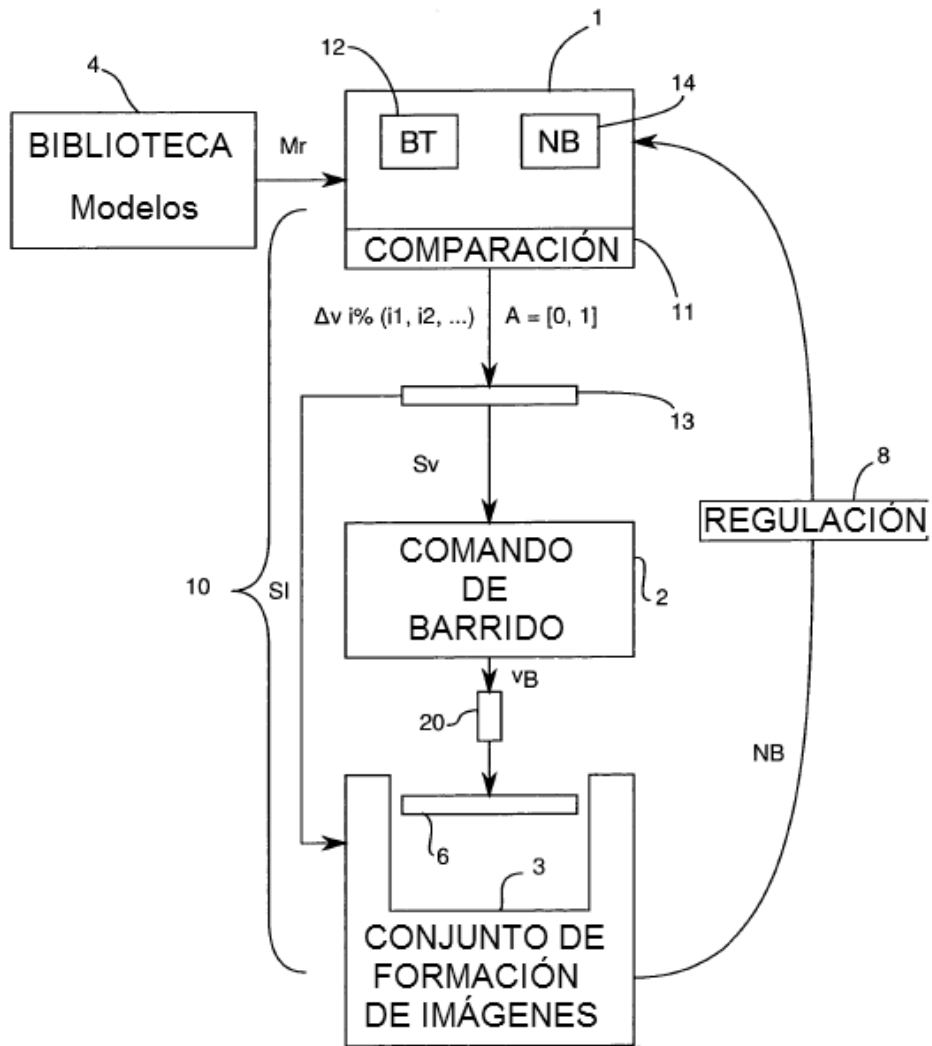


Figura 1

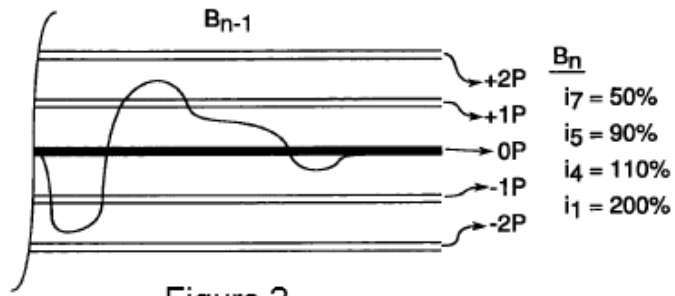


Figura 2

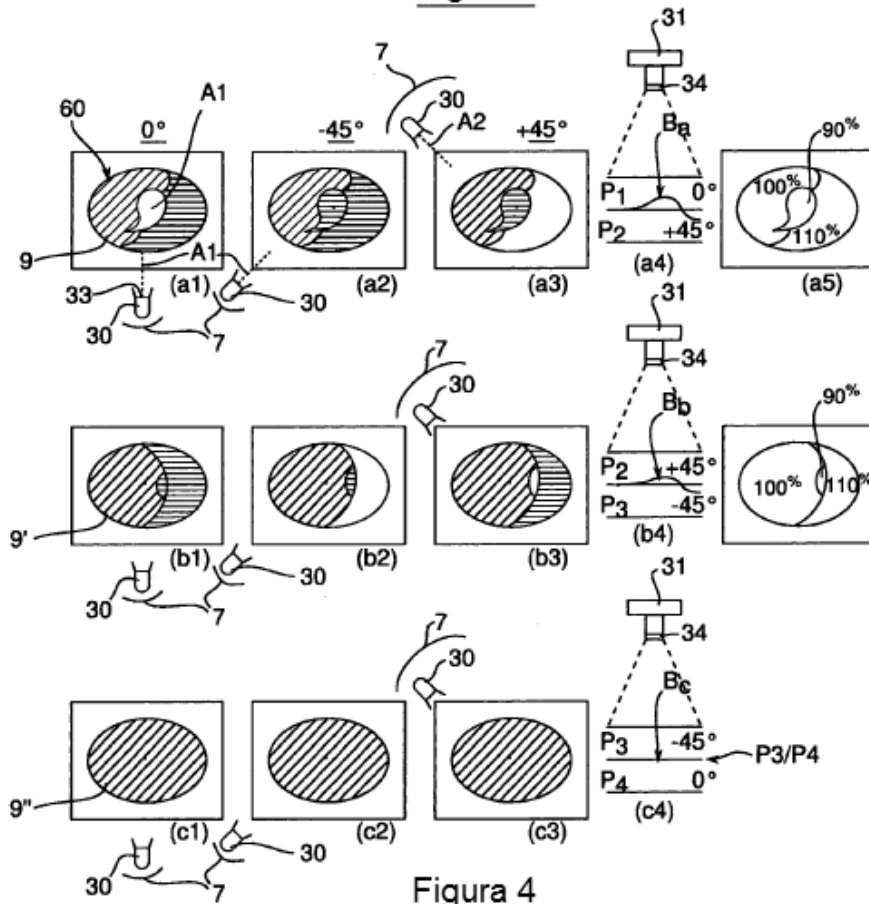
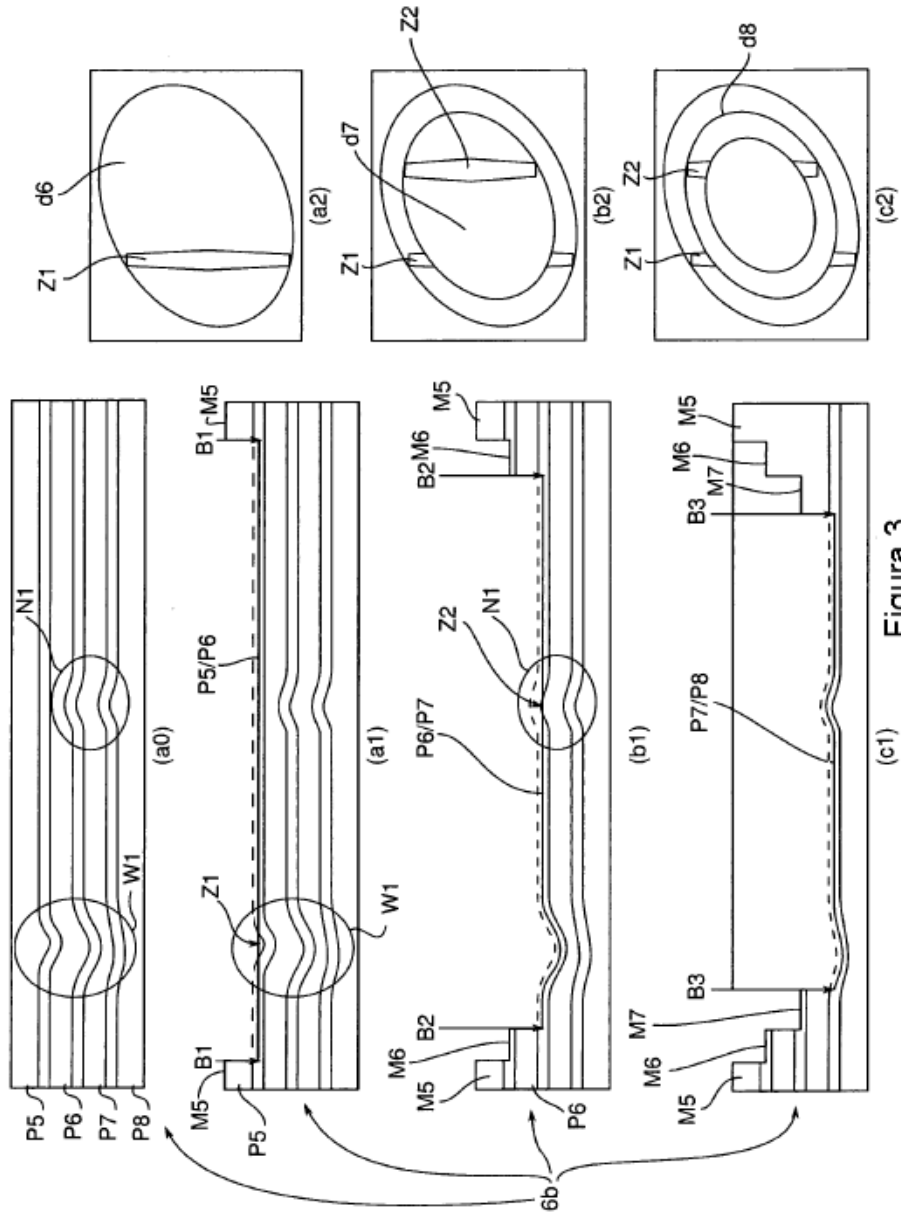


Figura 4



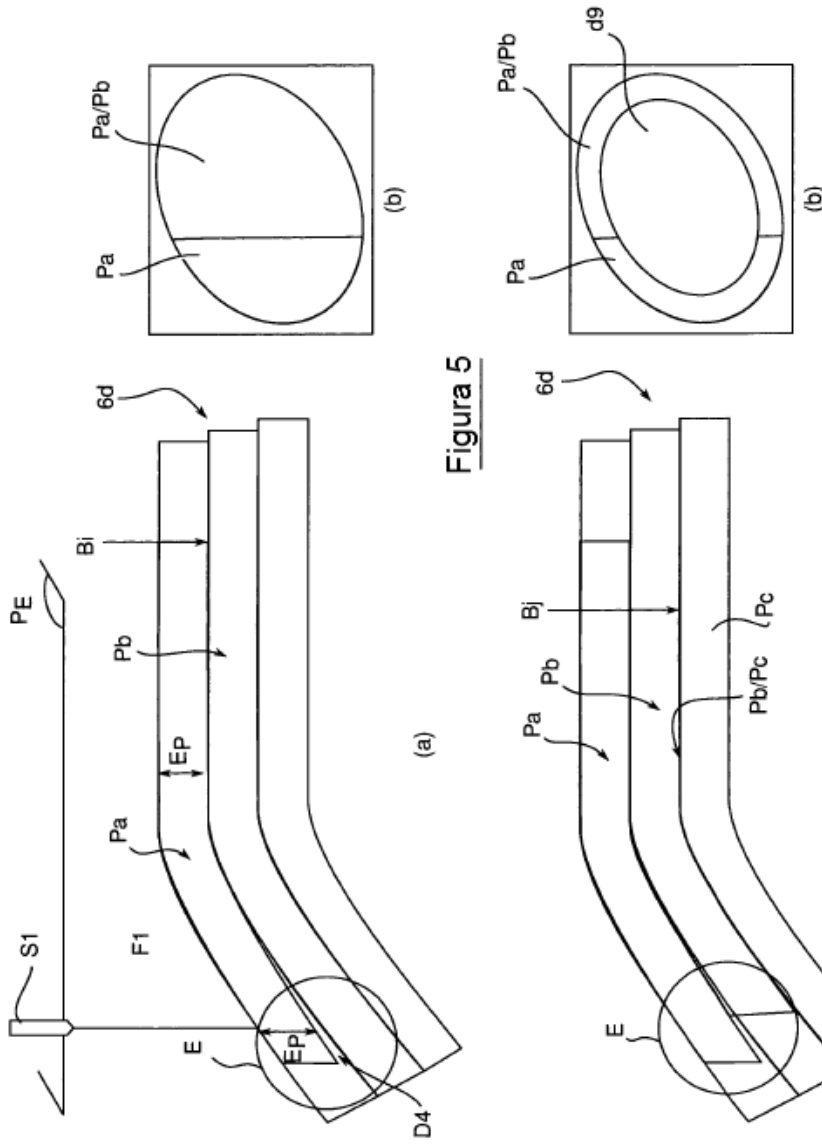


Figure 5

Figure 6