

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 567 777**

51 Int. Cl.:

B64F 5/00 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

G05B 19/418 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2009 E 09796727 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2016 EP 2374046**

54 Título: **Procedimiento de optimización de los ajustes de un ensamble de piezas bajo presión**

30 Prioridad:

22.12.2008 FR 0858945

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

26.04.2016

73 Titular/es:

**AIRBUS GROUP SAS (50.0%)
2 Rond-Point Emile Dewoitine
31700 Blagnac, FR y
ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**FRICERO, BENOIT;
FALGARONE, HUGO;
CHEVASSUS, NICOLAS;
BRETEAU, PIERRE;
THIEBAUT, FRANÇOIS y
LARTIGUE, CLAIRE**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 567 777 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 de optimización de los ajustes de un ensamble de piezas bajo presión

- 5 La presente invención pertenece al dominio de las estructuras. Esta se refiere más particularmente a la realización de un ajuste de piezas mecánicas de las cuales al menos una es flexible. Aún más particularmente esta se dirige a la búsqueda de ajustes óptimos que se efectúan para obtener un ensamble conforme a las condiciones.
- 10 Esta encuentra su aplicación por ejemplo en el dominio del ajuste de piezas de aeronaves, parcialmente flexibles sobre una estructura de soporte.
- 15 La geometría de cada una de las piezas que intervienen en un ensamble que se desee realizar, presenta la mayor parte del tiempo variaciones con relación a un modelo geométrico teórico y estas variaciones geométricas hacen que cada realización de este ensamble sea única.
- 20 La mayoría de los métodos de ensamble actuales son aún manuales pero algunos son métodos asistidos por computadora. Los métodos manuales de ensamble se basan en la experiencia del experto en la técnica y necesitan cierta calificación con el fin de llevar a cabo un ensamble dado.
- 25 El experto en la técnica debe por tanto administrar las variaciones geométricas de cada una de las piezas con el fin, ya sea de encontrar los ajustes que permitan el ensamble, ya sea, si este no encuentra los ajustes, desprender ciertas piezas o volver a ajustarlas. Estos ajustes consisten en efectuar en ciertos ambientes acciones como por ejemplo un desplazamiento, atornillado, destornillado con el fin de llevar a cabo este ensamble. Es evidente que tales ajustes no siempre se obtienen con el primer intento y que por tanto son necesarios intentos sucesivos.
- 30 El tiempo de ensamble es por tanto función particular del alcance de las variaciones geométricas de las piezas, de la búsqueda de los ajustes que deben realizarse y de su puesta en funcionamiento. Este tiempo de ensamble y el número de piezas que se desprenden dependen por tanto de la conveniencia de las opciones dadas por el experto en la técnica.
- 35 El documento US 5,380,978 describe un procedimiento de ajuste de piezas mecánicas de carrocería de automóviles.
- Los métodos de ensamble asistidos por computadora se basan sobre un algoritmo que permite calcular uno o varios desplazamientos que se efectúan para cada una de estas piezas con el fin de reducir las desviaciones entre estas y por tanto de ensamblarlas.
- 40 Este algoritmo necesita parámetros de entrada, proporcionados por el experto en la técnica, que consisten en una medición de cada una de las piezas antes del ensamblaje en los sistemas de referencia separados (es decir para una pieza dada en un sistema de referencia local que corresponda a esta pieza) o sistemas de referencia globales.
- 45 En algunos de estos métodos de ensamble asistidos por computadora, puede intervenir una ponderación para privilegiar el desplazamiento de algunas piezas con respecto a otras. Se observa por tanto que los métodos de ensamble asistidos por computadora facilitan el trabajo del experto en la técnica ya que estos proporcionan una posición calculada óptima que se da a cada una de las piezas.
- 50 Estas posiciones sin embargo no se calculan sino a partir de la geometría de las piezas, lo que puede ser limitativo con respecto a la física de los materiales.
- Además medir cada una de las piezas toma un tiempo considerable al experto en la técnica para que este proporcione los parámetros de entrada necesarios para el algoritmo y necesita algunos instrumentos adaptados a las dimensiones de las piezas que se miden o a su geometría específica, lo cual participa en el costo del ensamble.
- 55 El objetivo de esta invención es disminuir el costo y el tiempo de ensamble.
- Un segundo objetivo es mejorar la calidad del ensamble para proporcionar los ajustes óptimos que toman en cuenta un comportamiento realista de las piezas y en particular de su flexibilidad.
- 60 Con este propósito, la invención se dirige en primer lugar a un procedimiento para determinar los ajustes que deben efectuarse cuando se ensamblan dos o varias piezas entre sí, dichas piezas que se conciben a partir de un modelo geométrico teórico que permite dicho ensamble, dichas piezas que pueden presentar defectos geométricos con respecto a dicho modelo geométrico teórico, dichas piezas que comprenden al menos una pieza flexible, una parte al menos de dichas piezas que comprenden puntos de ajuste geométrico, dicho ensamble que debe respetar las condiciones de ensamble en valores máximos de fuerzas y desplazamientos, para el cual determinar los ajustes que se prefiere efectuar que permiten realizar el ensamble, se hace a partir de las mediciones de los parámetros que caracterizan la geometría con defectos, dichas mediciones que se realizan en el ensamble, los parámetros medidos que se constituyen por desviaciones geométricas en un conjunto de puntos de piezas del ensamble suficiente para caracterizar el ensamble real.
- 65

Es evidente que la determinación automática de un buen ajuste efectuado para llevar a cabo un ensamble por el experto en la técnica resulta en una ganancia de tiempo en el ensamble y una calidad previsible y medible de dicho ensamble.

5 De acuerdo con un modo de realización preferido, los parámetros medidos que caracterizan la geometría con defecto de piezas que se ensamblan se constituyen por desviaciones geométricas en un conjunto de puntos de piezas del ensamble suficientes para caracterizar el ensamble real.

10 Más particularmente, las mediciones efectuadas caracterizan la geometría con defecto que consisten por una parte en una medición de las desviaciones entre los puntos de contacto dichos puntos de contacto de ensamble o los puntos o las condiciones de ensamble se realizan situados respectivamente sobre una pieza del ensamble y sobre otra pieza antes de ensamblarse a la primera, en un estado inicial del ensamble fuera de presión y por otra parte en una medición de las desviaciones de estos mismos puntos en un estado bajo presión.

15 Ventajosamente, los puntos medidos en el estado bajo presión pueden restringirse a los puntos de contacto de ensamble.

20 Si los parámetros medidos son únicamente desviaciones en ambientes sensibles para el ensamble, se simplifica el instrumento necesario para estas mediciones, al limitarlo a instrumentos adaptados únicamente para medir las desviaciones y se optimiza de este modo el tiempo de ensamble afectado por estas mediciones.

De acuerdo con un modo de realización ventajoso, las mediciones tomadas pueden ser mediciones de las desviaciones de ciertas piezas y esto en un sistema de coordenadas local a la pieza medida.

25 Se entiende que de acuerdo con los instrumentos del sitio que realiza el ensamble, que puede ser más fácil efectuar las mediciones de ciertas piezas en lugar de una desviación entre los puntos.

De acuerdo con un modo de realización preferido, los ajustes preferidos se calculan al crear un modelado del comportamiento mecánico de las piezas, a partir de los datos de entrada que comprenden:

- 30 – una malla y una matriz de rigidez para cada una de las piezas flexibles del modelo teórico,
- las condiciones de frontera del modelo teórico,
- los puntos de condiciones funcionales, que consisten en puntos de contacto teórico entre las piezas y puntos donde se realizan las condiciones de ensamble,
- los puntos de ajustes y su rango de variaciones geométricas máximas estimadas,
- 35 – así como los parámetros medidos,
- el modelado que consiste en definir un sistema lineal que permite por tanto calcular las deformaciones de la estructura de las piezas flexibles y las acciones exteriores aplicadas en cada punto de la malla de las piezas flexibles.

40 Al tomar en cuenta la geometría de cada una de las piezas y su flexibilidad, se obtiene un modelo matemático que permite simular la influencia de diferentes ajustes.

Más particularmente, los ajustes óptimos se seleccionan al comparar las condiciones de ensamble obtenidas al recorrer un rango de valores específico para cada ajuste para el conjunto de ajustes.

45 Se entiende que al utilizar el modelo matemático que permite simular la influencia de los ajustes y al hacer recorrer un rango de valores a cada uno de tales ajustes, se obtienen los ajustes óptimos que se realizan que permiten garantizar que el ensamble respete las condiciones de ensamble.

Alternativamente, los ajustes óptimos se seleccionan al aplicar un algoritmo de optimización.

50 Ventajosamente en ese caso, el algoritmo de optimización es un algoritmo de mínimos cuadrados o un algoritmo de acuerdo con una función de optimización bajo presión.

55 La invención se dirige igualmente a un software, que permite la implementación de un procedimiento como el que se describe.

En otro aspecto, la invención se dirige igualmente a un procedimiento de ensamble de dos o varias piezas entre sí, dichas piezas que se conciben a partir de un modelo geométrico teórico que permite dicho ensamble, dichas piezas que pueden presentar defectos geométricos con respecto a dicho modelo geométrico teórico, dichas piezas que comprenden al menos una pieza flexible, una parte al menos de dichas piezas que comprenden puntos de ajuste geométrico, dicho ensamble que debe respetar las condiciones de ensamble en valores máximos de fuerzas y desplazamientos, que contiene las etapas de:

- 60 – ensamblar todas las piezas que puedan ensamblarse entre sí sin necesidad de aplicar presión mecánica, formando de este modo un conjunto de elementos ensamblados previamente,

- posicionar los elementos ensamblados previamente unos con respecto a los otros para acercarse al ensamble final referido,
- medir las desviaciones geométricas (distancia y orientación) entre ciertos puntos de al menos una parte de las piezas, en la ausencia de presiones mecánicas,
- 5 – aplicar presión, en la cual los elementos se ensamblan entre sí, al realizar todas las uniones mecánicas entre piezas que se ensamblan, al aplicar las fuerzas mecánicas necesarios para asegurar tales uniones,
- medir las desviaciones geométricas bajo presión,
- determinar los ajustes preferidos al minimizar el resultado de las fuerzas y desplazamientos en un conjunto de puntos de malla de piezas flexibles, esta determinación que se realiza por un procedimiento tal como el descrito a continuación,
- 10 – aplicar estos ajustes preferidos a las piezas ajustables.

La descripción siguiente, dada únicamente a título de ejemplo de un modo de realización de la invención, se hace con referencias a las figuras anexas en las cuales:

- 15 – la figura 1 representa las etapas del procedimiento cuando se realiza un ensamble.
- la figura 2 representa un esquema de condición de frontera de desplazamientos impuestos.
- la figura 3 representa un esquema de condición de frontera de fuerza impuesta.
- la figura 4 representa un esquema de condición de frontera de una unión que implica una rigidez.
- 20 – La figura 5 ilustra los parámetros que definen las deformaciones de la estructura de una pieza flexible en un punto.
- la figura 6a representa de manera esquemática un compuesto flexible y un compuesto rígido antes del ensamble en un estado no presionado.
- la figura 6b representa además un compuesto flexible puesto en condición de ensamble y un compuesto rígido en un estado presionado antes del ajuste.
- 25 – La figura 6c representa además un compuesto flexible y un compuesto rígido ensamblados en un estado presionado y sometidos a un ajuste.

La invención se destina para su uso cuando se realiza un ensamble de un conjunto de piezas mecánicas.

Se denomina, en la presente invención, ensamble a la realización de un conjunto de uniones mecánicas predefinidas entre las piezas. Cada unión corresponde a fijar una distancia y una orientación elegidas previamente entre dos piezas en un punto dado. Lo más común es que tales uniones creen entre las piezas que se ensamblan un conjunto hiperestático.

El conjunto de estas uniones forma las condiciones del ensamble.

La geometría, que reagrupa en la presente definición, el conjunto de piezas que intervienen en un ensamble que se realiza, presenta la mayor parte del tiempo variaciones con respecto a un modelo geométrico teórico.

Estas variaciones geométricas hacen que cada realización de tal ensamble sea única.

Para continuar la descripción, se denominará ensamble real, a un ensamble que se realiza sobre piezas reales, que comprenden por tanto eventualmente defectos geométricos de fabricación, que sigue a un ensamble modelado teórico.

La concepción del ensamble teórico (pieza que se fija sobre una estructura de soporte cuya geometría teórica se conoce) es una función conocida por experto en la técnica, y por tanto no se detalla en esta descripción.

La invención tiene como objetivo proporcionar los ajustes que prefiere aplicarse para llevar a cabo una realización de dicho ensamble en función de las variaciones geométricas de las piezas reales que constituyen dicho ensamble con respecto a su modelo geométrico teórico y en función de los parámetros físicos de las piezas y del ensamble teórico.

Se considera en la presente invención que al menos ciertas piezas, conocidas, que constituyen el ensamble sean flexibles (puedan deformarse bajo el efecto de fuerzas mecánicas), el resto se consideran como rígidas.

Se considera que al menos una pieza se supone flexible y que al menos una pieza se considera como rígida. No existen límites conocidos para el número de piezas flexibles.

Una implementación preferida del procedimiento de acuerdo con la invención comprende un software que implementa un algoritmo de cálculo, una interfaz de entrada de dicho software que permite registrar los datos de entrada y una interfaz de salida que permite proporcionar los datos de salida.

Dicho algoritmo se codifica preferiblemente en un lenguaje informático y se implementa en una computadora estándar tipo PC, en forma de una aplicación utilizada por el experto en la técnica.

Los datos de entrada de dicho algoritmo comprenden datos de dos tipos:

5 El primer tipo de datos de entrada del algoritmo corresponde a los datos relacionados con la concepción de dicho ensamble teórico. Tales datos de primer tipo son:

- una malla y una matriz de rigidez para cada una de las piezas flexibles del modelo teórico.
- las condiciones de frontera (matriz y valores en cada punto de la malla) del modelo teórico.
- 10 – puntos de contacto (uniones) entre las piezas y puntos donde se realizan las condiciones de ensamble. El conjunto de tales puntos de denominan puntos de condiciones funcionales. Los puntos de contacto se denominan a continuación puntos de contacto teórico para distinguirlos de los puntos de contacto reales durante un ensamble real. Tales puntos se reagrupan por familia de condiciones. Por ejemplo si un punto C_{11} sobre una pieza 11 debe estar en contacto con un punto C_{12} sobre una pieza 12 diferente de la pieza 11, la pareja (C_{11}, C_{12}) forma una misma familia con la condición de que la desviación entre C_{11} y C_{12} debe ser teóricamente igual a cero, y por tanto,
- 15 – puntos de ajuste y su rango de variaciones geométricas máximas estimadas. Un punto de ajuste es un punto por el cual se autoriza al experto en la técnica a modificar la posición de dicho punto de contacto.

20 Estos datos de primer tipo que son específicos para el ensamble teórico pueden cargarse previamente en el algoritmo o en una biblioteca de datos asociados a dicho algoritmo.

El segundo tipo de datos de entrada del algoritmo corresponde a los datos relacionados con el ensamble real.

25 Estos se constituyen de mediciones efectuadas al principio y/o en el transcurso del ensamble real, que caracterizan el ensamble real con respecto al ensamble teórico.

Los datos de salida del software se constituyen de ajustes preferidos que se aplican a los puntos ajustables para realizar el ensamble real, al minimizar por ejemplo el resultado de las fuerzas y/o los desplazamientos de ciertos puntos.

30 Con el fin de describir el algoritmo utilizado en el procedimiento de acuerdo con la invención, es útil definir en un primer momento los datos « condiciones de frontera », luego en un segundo momento describir el modelo matemático utilizado en el algoritmo y en un tercer momento el método utilizado por el algoritmo con el fin de obtener ajustes óptimos para suministrarlos como datos de salida.

35 Dicho algoritmo se describe, con el objetivo de simplificar la explicación y las ecuaciones matemáticas, al tomar el caso particular del ensamble de una pieza flexible 11 sobre una pieza rígida 12. La generalización de dicho algoritmo a un número arbitrariamente grande de piezas flexibles 11 y de piezas rígidas 12 es únicamente una cuestión de posibilidad de cálculo.

40 Se considera que se ha obtenido un ensamble ideal si la pieza flexible 11 está en contacto con la pieza rígida 12 sobre todos sus puntos de contacto teórico y que los puntos que deben realizar las condiciones de ensamble responden a tales condiciones.

45 Para este problema existen tres tipos de condiciones de frontera.

CL1 - El primer tipo de condición de frontera se refiere a los desplazamientos impuestos. Este se ilustra en la figura 2. Cuando se impone un desplazamiento, por ejemplo en dos puntos A y B de una pieza flexible 11, para que esta pieza 11 esté en contacto con una pieza rígida 12, es necesario provocar un desplazamiento δU_c en el punto C de la pieza flexible 11 para que la pieza flexible 11 esté también en contacto con la pieza rígida 12 en ese punto C.

50 Se crean por tanto sistemas hiperestáticos a partir del momento donde la pieza 11 no tiene exactamente la misma curvatura que la pieza rígida 12.

55 CL2 - El segundo tipo de condición de frontera se refiere a las fuerzas impuestas. Este se ilustra en la figura 3. Cuando se impone una fuerza exterior F en un punto C de la pieza flexible 11, las condiciones de frontera en C traducen el comportamiento de C.

60 CL3 - El tercer tipo de condición de frontera se refiere a las uniones que implican una rigidez como por ejemplo una unión. Este tercer tipo ilustrado en la figura 4 traduce la relación lineal entre la fuerza impuesta y el desplazamiento en este tipo de unión.

El modelo matemático consiste en definir el sistema lineal que permitirá calcular las deformaciones de la estructura de la pieza flexible 11 y las acciones exteriores aplicadas y esto en cada punto de la malla de la pieza flexible 11, malla que forma parte de los datos de entrada del algoritmo.

Por convención los vectores de línea o columna se representan en letra mayúscula subrayados por una línea y las matrices se representan en letra mayúscula subrayadas por dos líneas.

5 Por convención si no se especifica el tipo de vector, dicho vector es un vector de columna.

Sea $\underline{\underline{K}}$ la matriz de rigidez de la estructura de la pieza flexible 11, dicho parámetro forma también parte de los datos de entrada del algoritmo.

10 Sea \underline{U} el vector de columna que representa las deformaciones de la estructura de la pieza flexible 11 en cada punto de la malla de la pieza flexible 11. \underline{U} vector de columna que contiene los desplazamientos U_x, U_y, U_z representados en un sistema de coordenadas (O, X, Y, Z) definido sobre la pieza rígida 12 y que contiene los ángulos de rotación α, β, γ con respecto a este mismo sistema de coordenadas.

15 La figura 5 ilustra dichos parámetros.

Sea por tanto \underline{F} el vector de columna que representa las acciones exteriores aplicadas en cada punto de la malla de la pieza flexible 11. En general \underline{F} representa las fuerzas y los momentos aplicados en cada punto de la malla de la pieza flexible 11.

20

La rigidez que une la carga (conjunto de fuerzas y momentos) aplicada y los desplazamientos puede traducirse con el modelo de elementos terminados en forma matricial de la manera siguiente: $\underline{F} = \underline{\underline{K}} \cdot \underline{U}$ Esta relación puede escribirse además al concatenar la matriz $\underline{\underline{K}}$ y la matriz identidad $\underline{\underline{Id}}$:

25

$$\left(\underline{\underline{K}} \quad \underline{\underline{-Id}} \right) \cdot \begin{pmatrix} \underline{U} \\ \underline{F} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{0} \\ \underline{0} \end{pmatrix} \quad (Ec. 1)$$

Puede añadirse a esta relación una fórmula matricial que traduce las condiciones de frontera siguientes (hiperestaticidad, presión de la unión, fuerzas exteriores ...):

30

$$\underline{\underline{Condiciones de Frontera}} \cdot \begin{pmatrix} \underline{U} \\ \underline{F} \end{pmatrix} = \underline{Valores}. \quad (Ec. 2)$$

35 Se observa que $\underline{Valores}$ es un vector de columna

De ahí la fórmula matricial global:

40

$$\begin{pmatrix} \underline{\underline{K}} & \underline{\underline{-Id}} \\ \underline{\underline{Condiciones de Frontera}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{U} \\ \underline{F} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{0} \\ \underline{Valores} \end{pmatrix} \quad (Ec. 3)$$

Esta fórmula permite escribir un sistema de ecuaciones lineales y su resolución permite calcular la totalidad de los valores de \underline{U} y \underline{F} , es decir calcular los valores de los desplazamientos y de las fuerzas en cada punto de la malla de la pieza flexible 11.

45

El algoritmo utiliza el método siguiente, al considerar tres estados de la pieza 11.

1/ El primer estado E1 es el estado inicial que es un estado « libre ». Libre en el sentido donde dicho estado es un estado isostático del cual se conocen las tensiones, y la gravedad. Este se representa en la figura 6a. Por ejemplo en la etapa 101 de la figura 2, la puerta que representa la pieza flexible 11 en el algoritmo se posiciona en una posición lo más próxima posible de su posición final ensamblada en la armadura sin imponer presiones a la pieza flexible (la puerta en el presente ejemplo) o a la pieza rígida (la armadura en ese mismo ejemplo).

50

2/ El segundo estado E2 es un estado con presión de la pieza 11 en la pieza 12. La pieza flexible 11 se coloca en este estado en configuración de ensamble con el conjunto de sus presiones.

55

El paso del estado inicial E1 a este estado con presión E2 se representa en la figura 6b; en esta figura la línea de puntos representa la pieza flexible 11 en ese segundo estado E2 y la línea continua representa la pieza flexible 11 en el estado inicial E1. Existe por tanto en este estado inicial E1 una deformación posible de la pieza flexible 11 para ensamblarse con la pieza rígida 12.

60

En el ejemplo de la figura 2, la puerta se posiciona en la armadura de manera que la posición de la puerta corresponde perfectamente en ciertos puntos con la posición final de la puerta en la armadura. La puerta con respecto al estado inicial E1 se « fuerza » por tanto en la armadura, es un estado con presión.

3/ El tercer estado E3 corresponde con el estado final.

Este estado final E3 es ideal cuando la pieza flexible 11 está en contacto con la pieza rígida 12 sobre todos sus puntos de contacto teóricos y los puntos en los que se realizan las condiciones de ensamble, realizan esas condiciones.

El estado final E3 se obtiene al efectuar ajustes a partir del estado con presión E2.

El paso del estado con presión E2 a dicho estado final E3 se representa en la figura 6c. En esta figura la línea de puntos representa la pieza flexible 11 en este estado final E3, y la línea continua representa la pieza flexible 11 en el estado con presión E2.

El objetivo del algoritmo es calcular los ajustes que se realizan para obtener un estado final E3 óptimo, es decir, que más se aproxima a un estado ideal. Se define aquí la palabra óptima como caracterizada por un resultado mínimo de desplazamiento y/o de fuerzas.

Ya sea un conjunto de ajustes cualquiera efectuado sobre un conjunto cualquiera de puntos de la malla de la pieza flexible 11, los desplazamientos y las fuerzas en cada punto de la malla de la pieza flexible 11 son fenómenos considerados lineales, por tanto pueden modelarse de la siguiente manera:

$$\underline{U}_{final} = \underline{U}_0 + \underline{U}_{def} + \underline{U}_{fit} \quad (Ec. 4)$$

$$\underline{F}_{final} = \underline{F}_0 + \underline{F}_{def} + \underline{F}_{fit} \quad (Ec. 5)$$

donde:

\underline{U}_0 y \underline{F}_0 son los desplazamientos y las fuerzas en cada punto de la malla de la pieza flexible 11 (deformada) inducidos por la puesta en posición isostática y por la puesta bajo presión de la pesadez de la pieza 11 (estado « libre » E1).

\underline{U}_{def} y \underline{F}_{def} son los desplazamientos y las fuerzas en cada punto de la malla de la pieza flexible 11 (deformada) inducidos por la puesta bajo presión de la pieza 11 (que está bajo presión E2).

\underline{U}_{fit} y \underline{F}_{fit} son los desplazamientos y las fuerzas en cada punto de la malla de la pieza flexible 11 inducidos por el conjunto de ajustes.

\underline{U}_{final} y \underline{F}_{final} que corresponden a los desplazamientos y a las fuerzas en cada punto de la malla de la pieza flexible 11 (estado final E3).

El algoritmo tiene por función optimizar el estado final E3 para responder a las exigencias del ensamble. Esto vuelve a optimizar los valores de las exigencias en función de \underline{U}_{fit} y \underline{F}_{fit} que a su vez dependen de los ajustes.

A continuación de esta implementación, se reducen los puntos de estudio a los puntos de condiciones funcionales, entre los puntos de la malla de la pieza flexible 11. Se recuerda que estos puntos de condiciones funcionales se constituyen de puntos de contacto teórico entre las piezas y los puntos donde las condiciones de ensamble se realizan.

Sea \underline{U}_0 la desviación medida entre la pieza flexible 11 y la pieza rígida 12 cuando la pieza flexible 11 está en el estado inicial E1 (estado libre). Como este estado E1, donde se realizan las condiciones de ensamble, está en un estado de tensiones conocidas, se conoce igualmente \underline{F}_0 . Estas mediciones se realizan en la etapa 102.

Sea \underline{U}_{ref} la desviación medida entre la pieza flexible 11 y la pieza rígida 12 cuando la pieza 11 está en un estado con presión E2. Estas mediciones se realizan en la etapa 104. Se obtiene por tanto la siguiente fórmula:

$$\underline{U}_{def} = \underline{U}_{ref} - \underline{U}_0 \quad (Ec. 6)$$

Las fuerzas en los puntos de condiciones funcionales \underline{F}_{def} se calculan al considerar la geometría general de la pieza flexible 11 que puede establecerse con los métodos de los elementos finalizados al considerar las mediciones \underline{U}_{def} como condiciones de frontera.

Al imponer los ajustes como condiciones de frontera, se establece:

$$\underline{U}_{i \ fit} = \sum_{j=1}^n a_{ij} R_j \quad (Ec. 7)$$

$$\underline{F}_{i \ fit} = \sum_{j=1}^n b_{ij} R_j \quad (Ec. 8)$$

y en esas fórmulas:

n representa el número de puntos de ajustes,

i representa el $i^{\text{ésimo}}$ punto de condiciones funcionales,

R_j representa el $j^{\text{ésimo}}$ ajuste, es decir el ajuste sobre el $j^{\text{ésimo}}$ punto de condiciones funcionales,

$U_{i \text{ fit}}$ es la restricción de U_{fit} en el $i^{\text{ésimo}}$ punto de condiciones funcionales,

5 $F_{i \text{ fit}}$ es la restricción de F_{fit} en el $i^{\text{ésimo}}$ punto de condiciones funcionales,

a_{ij} y b_{ij} son los coeficientes de la influencia del $j^{\text{ésimo}}$ ajuste sobre el $i^{\text{ésimo}}$ punto de las condiciones funcionales. Estos coeficientes son vectores de línea, que permiten distinguir las influencias en función de los ejes (un ajuste sobre el componente X de R_j puede tener una influencia diferente sobre cada uno de los ejes X, Y, Z de $U_{i \text{ fit}}$ o $F_{i \text{ fit}}$)

10 Al utilizar las ecuaciones anteriores y las ecuaciones $U = U_{\text{ref}} + U_{\text{fit}}$ y $F = F_{\text{ref}} + F_{\text{fit}}$ restringidas en un $i^{\text{ésimo}}$ punto de condiciones funcionales, se obtiene por tanto las ecuaciones para cada punto i de las condiciones funcionales:

$$U_i = U_{i \text{ def}} + \sum_{j=1}^n a_{ij} R_j \quad (\text{Ec. 9})$$

15

$$F_i = F_{i \text{ def}} + \sum_{j=1}^n b_{ij} R_j \quad (\text{Ec. 10})$$

20 Los vectores de desplazamiento y de fuerzas U_i y F_i « ideales » pueden deducirse del ensamble teórico. (se recuerda que el estado final E3 es ideal cuando la pieza flexible 11 está en contacto con la pieza rígida 12 sobre todos sus puntos de contacto teórico y los puntos donde se realizan las condiciones de ensamble, realizan tales condiciones).

La búsqueda de un ajuste óptimo $\{R_j^{\text{óptimo}}\}$ consiste en aproximarse más a esos valores U_i y F_i « ideales » para modificar las R_j .

25

Esta búsqueda puede efectuarse al hacer variar en valores discretos las R_j en su rango de variaciones posibles

(datos de entrada 4) y al comparar las U_i y F_i con respecto a sus valores « ideales ». El juego de ajustes $\{R_j^{\text{óptimo}}\}$ que

30 proporciona un resultado más próximo de los valores « ideales » se proporcionan por tanto como dato de salida por medio de la interfaz de salida.

En la presente descripción en lo absoluto limitativa, la búsqueda óptima del juego de ajustes $\{R_j^{\text{óptimo}}\}$ efectúa al

35 utilizar las condiciones de ensamble C_q que se representan en ese caso sobre las U_i y por tanto en función de las R_j . Esas condiciones de ensamble C_q son específicas del ensamble teórico.

Sea p el número de condiciones de ensamble C_q representadas.

40

$$C_q = C_{q0} + \sum_{j=1}^n c_{qj} R_j \quad \text{para } q \in [1, p] \quad (\text{Ec. 11})$$

con C_{q0} condición de ensamble correspondiente a la condición de ensamble C_q , en el estado inicial E2.

45 El objetivo acá es encontrar una solución al problema de optimización. Es por ello que se define un parámetro k que es un indicador de respeto de las condiciones de ensamble. Las condiciones de ensamble se consideran como limitadas por los valores mínimos y máximos $[A_q, B_q]$.

Por tanto, puede usarse el parámetro k de manera que tales intervalos se vuelvan $[A_q + k(B_q - A_q), B_q - k(B_q - A_q)]$.

50

El problema de optimización se resume por tanto al optimizar k por:

$$C_{q0} + \sum_{j=1}^n c_{qj} R_j \leq B_q - k(B_q - A_q) \quad (\text{Ec. 12})$$

55

$$C_{q0} + \sum_{j=1}^n c_{qj} R_j \geq A_q + k(B_q - A_q) \quad (\text{Ec. 13})$$

60 La implementación del procedimiento de acuerdo con la invención (figura 1), que utiliza el algoritmo de cálculo descrito anteriormente, se describirá al utilizar el ejemplo no limitativo del ensamble de una puerta deslizante sobre un armazón.

El procedimiento que debe implementar el experto en la técnica para llevar a cabo un ensamble de acuerdo con la invención comprende seis etapas (101 a la 106).

65 Una primera etapa 101 consiste en efectuar el montaje de las piezas que se ensamblan en un estado no presionado. Esta etapa consiste en ensamblar todas las piezas que puedan ensamblarse entre sí sin tener que aplicar presión

mecánica, que forma de esta manera un conjunto de elementos ensamblados, y después los posiciona unos con respecto a los otros para aproximarse al ensamble final referido. Se obtiene por tanto un conjunto compuesto de N elementos ensamblados cada uno a partir de un cierto número de piezas.

5 Estos elementos se aproximan unos junto a los otros en una posición global más próxima del estado final a esperar por el ensamble referido, pero sin aplicar ninguna presión a estos elementos.

10 En el ejemplo del ensamble de una puerta deslizante sobre un armazón, en la etapa 101, todas las piezas de la puerta se ensamblan para formar un elemento de puerta sin aún fijarse a un elemento constituido por la armadura (en este ejemplo el número de elementos N es igual a 2). La puerta se lleva en una posición la más próxima posible de la posición que esta ocupará al final del ensamble con respecto a la armadura, pero sin ninguna presión.

15 Una segunda etapa 102 consiste en medir por tanto las desviaciones geométricas entre las piezas (cada una que forma parte de un elemento ensamblado en la etapa 101) que será necesario ensamblar entre estas para ensamblar tales N elementos entre sí.

20 Estas mediciones deben efectuarse sobre los puntos considerados como puntos de condiciones funcionales. Tales desviaciones se miden entre los puntos que pertenecen a una misma familia de condiciones (es decir entre los puntos que deben encontrarse finalmente confundidos si el ensamble es perfecto).

25 Se retoma el ejemplo de la familia (C_{11} , C_{12}) citado anteriormente, el punto C_{11} que se coloca sobre la pieza 11 y el punto C_{12} que se coloca sobre la pieza 12, la implementación del algoritmo que necesita el conocimiento de esta desviación en un sistema de coordenadas cartesiano así como la orientación de cada una de las dos piezas 11 y 12, el número de parámetros necesarios para la familia (C_{11} , C_{12}) es igual a seis. La medición para esta familia puede por tanto efectuarse al medir las seis desviaciones entre seis puntos alrededor de C_{11} sobre la pieza 11 y los seis puntos respectivos sobre la pieza 12. El modo de realización de tales mediciones se conoce por el experto en la técnica y sale del marco de la presente invención.

30 Una tercera etapa 103 consiste en una puesta a presión de las piezas. Los N elementos creados en la etapa 101 anterior se ensamblan al realizar todas las uniones mecánicas, al aplicar por tanto las fuerzas mecánicas necesarias para estas uniones.

35 Una cuarta etapa 104 consiste en medir las desviaciones obtenidas entre las piezas bajo presión. En este ejemplo de un modo de realización de la invención, las mediciones se realizan de una manera idéntica a la etapa 102 y sobre una parte de tales puntos. Los errores de fabricación de las piezas conducen a que tales desviaciones permanezcan eventualmente no nulas para una parte de entre estos.

40 En la presente descripción, las mediciones que se efectúan en el estado con presión E2, durante la etapa 104, se limitan a los puntos de contacto teórico. Los valores de los puntos donde las condiciones de ensamble se realizan se deducen en el algoritmo de la geometría general de la pieza flexible 11, que puede establecerse con un método de elementos finalizados al considerar las mediciones de los puntos de contacto teórico realizadas en la etapa 104 como condiciones de frontera.

45 Una quinta etapa 105 consiste en ejecutar el algoritmo con los datos de entrada del segundo tipo, constituidos por las mediciones efectuadas en las etapas 102 y 104.

50 El algoritmo busca los mejores ajustes (datos de salida) a realizar en función de las mediciones y los datos de entrada relacionados con la física de las piezas. Tales datos de entrada no se ilustran sobre la figura 1 ya que estos se consideran entradas previas en la interfaz y por tanto no se piden al operador en esta etapa.

55 El algoritmo señala igualmente en esta etapa si los ajustes posibles no son suficientes para garantizar la calidad del ensamble, en vista de las mediciones realizadas y de las condiciones de ensamble que deben respetarse, y por tanto identificar la o las piezas que se desprenden o se arreglan. De la misma manera, este identifica el caso donde el número de piezas flexibles o el número de puntos de ajustes es insuficiente para permitir un ensamble conforme a los criterios predeterminados.

Una sexta etapa 106 consiste en efectuar los ajustes propuestos por el software que implementa el algoritmo por medio de su interfaz de salida o a recomenzar el ensamble real con otras piezas.

60 Se resalta claramente que en el presente procedimiento, la fase de medición se realiza únicamente sobre las desviaciones entre las piezas previamente ensambladas (y no ajustadas). Las posiciones iniciales relativas de las piezas que se ensamblan no se han especificado ni conocido.

65 Esto permite reducir significativamente el tiempo y el costo de la medición al elegir los instrumentos adaptados para medir únicamente dichas desviaciones. Las desviaciones de tiempo de ensamble de 75% se han medido con la utilización del presente procedimiento.

Por otro lado, el algoritmo de optimización de ajustes toma en cuenta las presiones del ensamble y la rigidez de las piezas. Este algoritmo permite por tanto minimizar las interfaces geométricas y las fuerzas de ensamble.

5 Además, las informaciones de los ajustes antes del ensamble se trazan y pueden explotarse a continuación por la oficina de estudios para los estudios de no conformidad o para permitir una mejora continua de las piezas.

El alcance de la presente invención no se limita a los detalles de las realizaciones consideradas a continuación a título de ejemplo, pero abarca al contrario de las modificaciones el alcance del experto en la técnica.

10 En una variante, las mediciones tomadas en la etapa 102, en el estado inicial E1, pueden ser mediciones absolutas de las piezas flexibles 11, efectuadas por ejemplo en el sistema de coordenadas local de cada pieza.

15 Si sobre el sitio donde se efectúa el ensamble real es más fácil medir las dimensiones de las piezas en lugar de las desviaciones entre dos puntos, la interfaz puede proponer este tipo de entrada y el algoritmo deduce las desviaciones geométricas al aplicar las fórmulas adecuadas (fórmulas de transformación geométrica).

20 En otra variante, la interfaz de entrada del software puede proponer al experto en la técnica una lista de opciones de mediciones que pueden realizarse lo cual permite adaptarse a la estrategia y a los medios de medición existentes del sitio que realiza dicho ensamble. El algoritmo deduce aún las desviaciones por aplicación de las fórmulas de transformación geométrica adecuadas.

En una variante, las mediciones efectuadas en el estado con presión E2, durante la etapa 104, se efectúan sobre los mismos puntos que las mediciones efectuadas en el estado inicial en la etapa 102.

25 En una variante la búsqueda del juego de ajuste óptimo $\left\{ R_j^{optima} \right\}$ puede efectuarse al usar un método de mínimos cuadrados o cualquier otro método que optimiza una función bajo presión.

Reivindicaciones

1. Procedimiento para determinar los ajustes que deben realizarse durante un ensamble de dos o varias piezas entre sí, dichas piezas se conciben a partir de un modelo geométrico teórico que permite dicho ensamble, dichas piezas pueden presentar defectos geométricos con respecto a dicho modelo geométrico teórico, dichas piezas comprenden al menos una pieza flexible (11), una parte al menos de dichas piezas comprende puntos de ajuste geométrico, dicho ensamble debe respetar las condiciones de ensamble en valores máximos de fuerzas y de desplazamientos,

5

10 la determinación de los ajustes preferido $\{R_j^{óptima}\}$ a efectuar permiten realizar dicho ensamble, que se realiza a partir de las mediciones de parámetros que caracterizan la geometría con defecto, dichas mediciones efectuadas durante el ensamble, los parámetros medidos son constituidos por las desviaciones geométricas (U_0 , U_{def}) en un conjunto de puntos de las piezas del ensamble suficientes para caracterizar el ensamble real,

15 caracterizado porque las mediciones que deben efectuarse que caracterizan la geometría con defecto consisten: por una parte (102) en una medición de la desviación geométrica (U_0) entre los puntos de contacto de ensamble, o entre los puntos donde se realizan las condiciones de ensamble, tales puntos se colocan respectivamente sobre una pieza del ensamble y sobre otra pieza que debe ensamblarse en la primera, en un estado inicial (E1) del ensamble fuera de presión,

20 y por otra parte (104) en una medición de la desviación geométrica (U_{ref}) de esos mismos puntos en un estado con presión (E2).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado porque los puntos medidos en el estado con presión (E2) se restringen a los puntos de contacto de ensamble.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado porque las mediciones efectuadas son mediciones de las dimensiones de ciertas piezas, en un sistema de coordenadas local a la pieza medida.
4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los ajustes preferidos $\{R_j^{óptima}\}$ se calculan al crear una modelización del comportamiento mecánico de las piezas, a

30

35 partir de datos de entrada que comprenden:

 - una malla y una matriz de rigidez para cada una de las piezas flexibles del modelo teórico,
 - las condiciones de frontera (desplazamientos impuestos CL1, fuerzas impuestas CL2, uniones que implican una rigidez CL3) del modelo teórico,
 - los puntos de condiciones funcionales, que consisten en puntos de contacto teórico entre las piezas y los puntos donde se realizan las condiciones de ensamble,
 - los puntos de ajustes y su rango de variaciones geométricas máximas estimadas,
 - así como los parámetros medidos.

40 el modelado consiste en definir un sistema lineal que permite por tanto calcular las deformaciones de la estructura de las piezas flexibles y las acciones exteriores aplicadas en cada punto de la malla de las piezas flexibles.
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 caracterizado porque los ajustes preferidos $\{R_j^{óptima}\}$ se

45

50 seleccionan al comparar las condiciones de ensamble obtenidas al recorrer un rango de valores específico para cada ajuste para el conjunto de ajustes.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 caracterizado porque los ajustes preferidos $\{R_j^{óptima}\}$ se

55

60 seleccionan al aplicar un algoritmo de optimización mediante el método de mínimos cuadrados.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 caracterizado porque los ajustes preferidos $\{R_j^{óptima}\}$ se

65

seleccionan al aplicar un algoritmo de optimización de acuerdo con una función de optimización bajo presiones.
8. Software, caracterizado porque permite la implementación de un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
9. Procedimiento de ensamble de dos o varias piezas entre sí, dichas piezas que se conciben a partir de un modelo geométrico teórico que permite dicho ensamble, dichas piezas que pueden presentar defectos geométricos con respecto a dicho modelo geométrico teórico, dichas piezas que comprenden al menos una pieza flexible (11), una parte al menos de dichas piezas que comprende puntos de ajuste geométrico, dicho ensamble que debe

respetar las condiciones de ensamble en valores máximos de fuerzas y desplazamientos, caracterizado porque este comprende las etapas de:

- 5 – ensamblar (101) todas las piezas que puedan ensamblarse entre sí sin tener que aplicar presión mecánica, que forma de este modo un conjunto de elementos previamente ensamblados,
- posicionar los elementos ensamblados previamente unos con respecto a los otros para acercarse al ensamble final referido,
- medir (102) las desviaciones geométricas (U_0) entre ciertos puntos de al menos una parte de las piezas, en la ausencia de presiones mecánicas,
- 10 – colocar bajo presión (103), en la cual los elementos se ensamblan entre sí, al realizar todas las uniones mecánicas entre las piezas ensambladas, al aplicar las fuerzas mecánicas necesarias para asegurar las uniones,
- medir (104) las desviaciones geométricas (U_{ref}) bajo presión en al menos una parte de los puntos de medición de desviación geométrica fuera de presión,
- 15 – determinar (105) los ajustes preferidos $\left\{ R_{j, \text{óptima}} \right\}$ que minimizan las fuerzas resultantes y los desplazamientos en un conjunto de puntos de malla de las piezas flexibles, esta determinación que se realiza por un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a la 8,
- 20 – aplicar (106) dichos ajustes preferidos a las piezas ajustables.

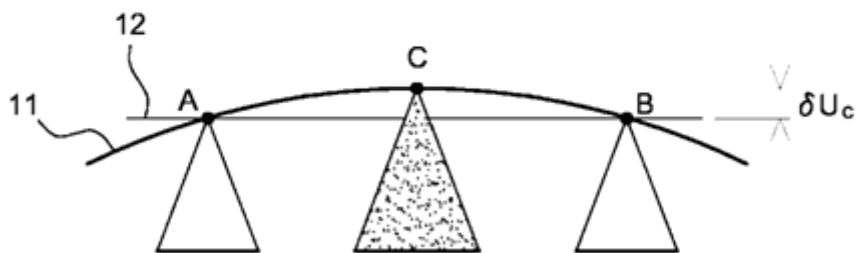
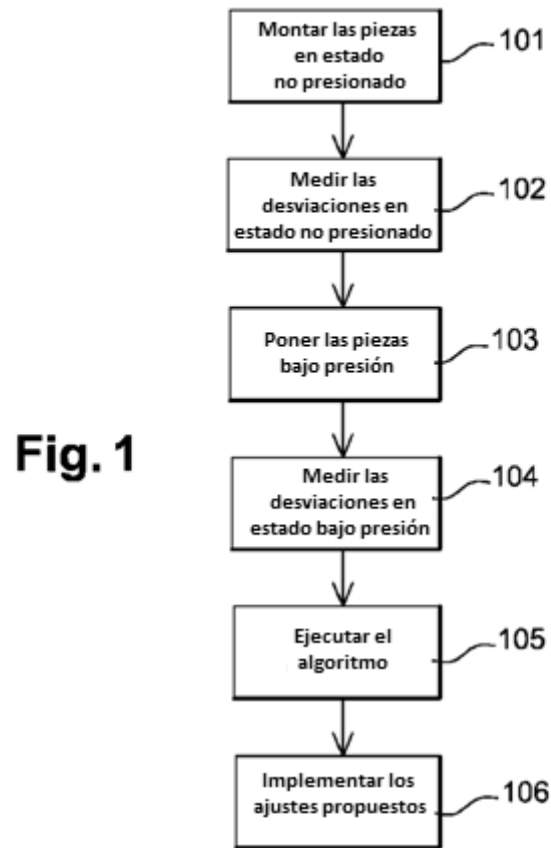


Fig. 2

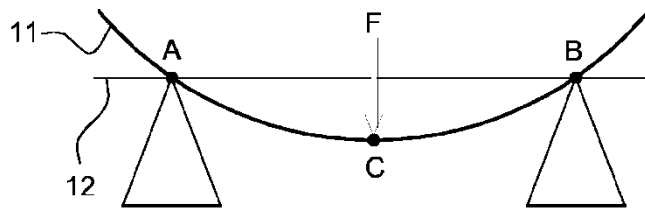


Fig. 3

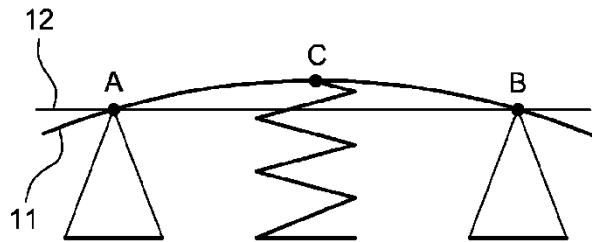


Fig. 4

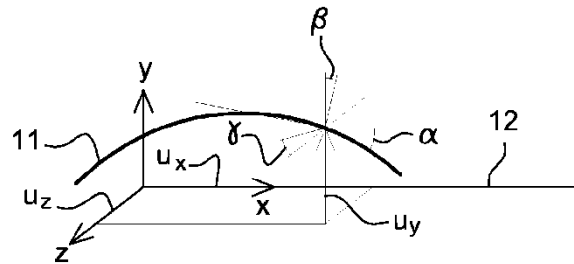


Fig. 5

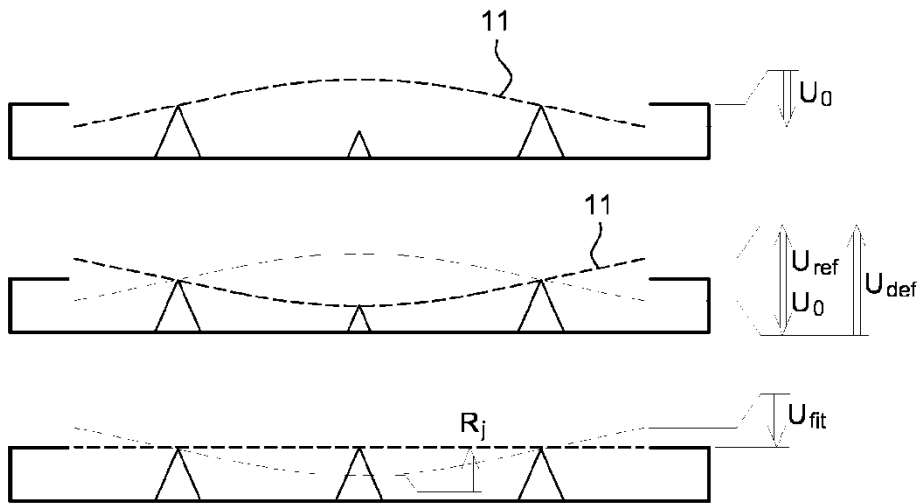


Fig. 6a,6b,6c