

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 320**

51 Int. Cl.:

G05B 19/402 (2006.01)

B64C 1/26 (2006.01)

G05B 19/418 (2006.01)

G05B 19/42 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2016 E 16198151 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2020 EP 3196720**

54 Título: **Métodos y sistemas de unión ala-fuselaje**

30 Prioridad:

22.01.2016 US 201615004808

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

24.09.2020

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**BODE, AKSEL;
BUI, PETER HOANG;
COOKE, BARRY THEOPHILE;
LEANDER, JOSEPH ALAN;
DINH, NGAN MINH;
KOOPMAN, PAUL ALAN y
PUZEY, KEVIN RONALD**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 784 320 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

Métodos y sistemas de unión ala-fuselaje

Campo

La presente divulgación se refiere a sistemas y métodos de montaje automatizados.

5 Antecedentes

El montaje de una aeronave incluye el ajuste de muchos componentes complejos y, a menudo, de gran tamaño, en relaciones precisas. Por ejemplo, los planos de las alas y de la cola (por ejemplo, el estabilizador vertical, el estabilizador horizontal) pueden montarse sustancialmente en un conjunto y después engranarse con la sección correspondiente del fuselaje de la aeronave. Por poner otro ejemplo, el fuselaje de una aeronave puede ser la combinación de varios conjuntos de fuselaje donde cada conjunto de fuselaje es una sección cilíndrica del fuselaje. Algunos componentes, incluyendo algunos componentes de gran tamaño tales como las alas, secciones de fuselaje y conjuntos de cola, están diseñados para ser montados con alta precisión, por ejemplo, con tolerancias de posicionamiento relativas entre partes de menos de aproximadamente 1 milímetro (mm) (0,05 pulgadas (pulg.)).

Para lograr el ajuste relativo deseado con la precisión adecuada, las posiciones de los componentes normalmente se inspeccionan en los puntos que conducen a la posición de ajuste final. Por ejemplo, cuando se ajusta un conjunto de ala al conjunto de fuselaje correspondiente de una aeronave, el conjunto de ala se puede mover secuencialmente a ubicaciones y a las posiciones relativas de los conjuntos de ala y de fuselaje inspeccionados para determinar si los conjuntos han entrado en contacto entre sí. La inspección puede ser visual cuando los conjuntos están suficientemente separados. Cuando los conjuntos se aproximan a la posición final, la inspección puede requerir el uso de galgas manuales o electrónicas alrededor de las interfaces de acoplamiento para determinar si existe suficiente espacio libre. Tales procesos pueden ser muy tediosos y lentos para lograr las tolerancias exactas requeridas de los componentes críticos.

Las cuñas se utilizan de manera extensa en la industria aeronáutica para ajustar y unir componentes de gran tamaño. Las cuñas, también denominadas rellenos, se utilizan para rellenar espacios (o huecos) entre partes unidas. Los espacios pueden ser espacios diseñados que están diseñados de modo que permiten las tolerancias de fabricación, la alineación de componentes y el montaje aerodinámico adecuado de la aeronave. El uso de cuñas para rellenar los espacios entre las partes de acoplamiento da como resultado una aeronave montada con mayor exactitud y más sólida estructuralmente.

Las cuñas generalmente tienen un tamaño personalizado para los espacios que se forman entre las partes. Medir, preparar e instalar las cuñas puede ser un proceso muy lento y tedioso. En algunas circunstancias, algunas cuñas pueden estar preformadas de acuerdo con los espacios esperados, en un proceso denominado acuñado predictivo. Si el espacio real formado por las partes unidas no es el mismo que el espacio esperado (por ejemplo, si las partes no se ubican con exactitud), la cuña preformada necesitaría ser modificada o reemplazada de manera similar al acuñado manual.

El documento EP 0 957 336 A2 se titula "sistema y método para alinear sistemas de coordenadas para montar una aeronave".

El documento EP 2 368 799 A1 se titula "método para el ajuste de conjuntos de partes".

El documento US 2005/0172470 A1 se titula "métodos y sistemas para el montaje de fuselaje a gran escala".

Sumario

Los métodos de unión ala-fuselaje divulgados incluyen controlar un conjunto de ala de una aeronave a una primera posición de control y luego repetir de manera iterativa un movimiento de primera fase. El movimiento de primera fase incluye determinar la posición de primera fase del conjunto de ala midiendo automáticamente las ubicaciones tridimensionales de una pluralidad de objetivos de ala en el conjunto de ala, calcular una diferencia de primera fase entre la posición de primera fase y la primera posición de control, y controlar el conjunto de ala para reducir la magnitud de la diferencia de primera fase. La repetición de manera iterativa del movimiento de primera fase se realiza hasta que la magnitud de la diferencia de primera fase es menor que, o igual a, una tolerancia de error de primera fase. Tales métodos incluyen además controlar el conjunto de ala a una segunda posición de control y luego repetir de manera iterativa un movimiento de segunda fase. El movimiento de segunda fase incluye determinar una posición de segunda fase del conjunto de ala midiendo automáticamente las ubicaciones tridimensionales de la pluralidad de objetivos de ala en el conjunto de ala, determinar una posición de segunda fase del conjunto de fuselaje midiendo automáticamente ubicaciones tridimensionales de una pluralidad de objetivos de fuselaje en el conjunto de fuselaje, calcular una posición

relativa de segunda fase basada en la diferencia entre la posición de segunda fase del conjunto de ala y la posición de segunda fase del conjunto de fuselaje, calcular una diferencia de segunda fase entre la posición relativa de segunda fase y la posición relativa de control de segunda fase, y controlar el conjunto de ala para reducir la magnitud de la diferencia de segunda fase. La repetición iterativa del movimiento de segunda fase se realiza hasta que la magnitud de la diferencia de segunda fase es menor que, o igual a, una tolerancia de error de segunda fase. El método incluye además: calcular un ajuste virtual entre un conjunto de ala y un conjunto de fuselaje de la aeronave; y medir un perfil 3D de una superficie de interfaz de raíz del ala del conjunto de ala, midiendo un perfil 3D de una superficie de interfaz del adaptador del ala del conjunto de fuselaje, y en donde el cálculo del ajuste virtual incluye calcular el ajuste virtual basado en el perfil 3D de la superficie de interfaz de raíz del ala y el perfil 3D de la superficie de interfaz del adaptador del ala; en donde la posición de acoplamiento se define por el ajuste virtual, y en donde la trayectoria de movimiento está basada en las formas conforme a obra reales del conjunto de ala y del conjunto de fuselaje, en donde las formas reales se modelan realizando una exploración 3D basada en el perfil 3D de la superficie (22) de interfaz de raíz del ala y el perfil 3D de la superficie de interfaz del adaptador del ala. Algunas realizaciones incluyen realizar las etapas de segunda fase (por ejemplo, controlar la segunda posición de control y luego repetir de manera iterativa el movimiento de segunda fase) sin realizar las etapas de primera fase. Algunas realizaciones incluyen realizar un movimiento hacia el lado de babor para un conjunto de ala de babor de la aeronave y realizar un movimiento hacia el lado de estribor para un conjunto de ala de estribor de la aeronave.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una representación esquemática de métodos de unión ala-fuselaje de acuerdo con la presente divulgación.

La figura 2 es una representación esquemática de métodos de movimiento de primera fase.

La figura 3 es una representación esquemática de métodos de movimiento de segunda fase.

La figura 4 es una representación esquemática de métodos para determinar las ubicaciones de referencia de objetivo.

La figura 5 ilustra un ejemplo de un sistema de unión ala-fuselaje estando las alas separadas de la aeronave antes del montaje.

La figura 6 ilustra un ala y un fuselaje en una posición inicial, desde una perspectiva que muestra los detalles del adaptador del ala.

La figura 7 ilustra el ala y el fuselaje en la posición inicial de la figura 6, desde una perspectiva que muestra los detalles de la raíz del ala.

La figura 8 ilustra un conjunto de fuselaje con ejemplos de ubicaciones de objetivos de fuselaje primarios y ubicaciones de objetivos de fuselaje secundarios.

La figura 9 ilustra una raíz del ala con ejemplos de ubicaciones de objetivos de ala primarios.

La figura 10 ilustra un conjunto de ala con ejemplos de ubicaciones de objetivos de ala secundarios.

La figura 11 ilustra el ala y el fuselaje de las figuras 6-7 en una posición intermedia.

La figura 12 ilustra el ala y el fuselaje de las figuras 6-7 en una posición final con el ala acoplada al fuselaje.

La figura 13 representa esquemáticamente una sección transversal de una raíz del ala y un adaptador del ala unidos con cuñas.

Descripción

Los métodos y sistemas de unión ala-fuselaje de acuerdo con la presente divulgación permiten un montaje más rápido y preciso del ala al fuselaje de una aeronave y el montaje de otras estructuras de gran tamaño. Los métodos incluyen la medición de la ubicación 3D (tridimensional) de objetivos ópticos en las interfaces que se van a unir (por ejemplo, la raíz del ala y el adaptador del ala de una aeronave) y el uso de estas ubicaciones para seguir las posiciones del ala y el fuselaje. Las ubicaciones de los objetivos ópticos en las interfaces conforme a obra pueden determinarse explorando las interfaces para producir perfiles de superficie de las interfaces para identificar las ubicaciones de objetivos ópticos. El ala se puede mover hacia el fuselaje en al menos dos fases con una serie de puntos de ruta. En la primera fase, el ala y el fuselaje están suficientemente separados para evitar el contacto probable entre los

componentes. La posición del ala en cada punto de ruta se determina midiendo los objetivos en el ala. Los errores en la posición real frente a la posición deseada se corrigen moviendo el ala en un bucle de retroalimentación. En la segunda fase, el ala está lo suficientemente cerca del fuselaje como para que exista la posibilidad de contacto. Para cada punto de ruta, la posición relativa del ala y el fuselaje se determina midiendo los objetivos en el ala y el fuselaje.
 5 Los errores en la posición relativa real frente a la posición relativa deseada se corrigen moviendo el ala con relación al fuselaje en un bucle de retroalimentación.

El proceso de retroalimentación divulgado con una serie de puntos de ruta permite un movimiento exacto del ala hacia el fuselaje (moviendo la(s) estructura(s) de gran tamaño a través de una trayectoria de movimiento precisa) y la colocación con exactitud del ala con respecto al fuselaje para el montaje final del ala en el fuselaje. La precisión del movimiento y/o la ubicación puede lograrse incluso cuando se utiliza un sistema de posicionamiento que tiene una precisión menor. Debido a la alta precisión a través de una serie de puntos de ruta, puede reducirse o eliminarse esencialmente la necesidad de una inspección manual del sistema ala-fuselaje para el montaje final, ya que el ala está acoplada al fuselaje, reduciendo así el tiempo de montaje. De manera adicional o alternativa, la alta exactitud puede permitir un acñado predictivo más exacto y/o extenso.

15 Aunque los ejemplos en esta divulgación pueden referirse a aeronaves y/o componentes de aeronaves, los sistemas y métodos de esta divulgación pueden utilizarse con otras estructuras y otros componentes. Por ejemplo, los sistemas y métodos de la presente divulgación pueden utilizarse con vehículos, maquinaria y estructuras de gran tamaño. Los sistemas y métodos pueden asociarse con el montaje de automóviles, la construcción naval, el montaje de naves espaciales y/o la construcción de edificaciones.

20 Las figuras 1-13 ilustran métodos y sistemas de unión ala-fuselaje. En general, en los dibujos, los elementos que probablemente se incluirán en una realización dada se ilustran en líneas continuas, mientras que los elementos que son opcionales o alternativos se ilustran en líneas discontinuas. Sin embargo, los elementos que se ilustran en líneas continuas no son esenciales para todas las realizaciones de la presente divulgación y un elemento que se muestra en líneas continuas puede omitirse de una realización particular sin apartarse del alcance de la presente divulgación. Los elementos que desempeñan un propósito similar, o al menos sustancialmente similar, están etiquetados con números de manera coherente entre las figuras. Los números iguales en cada una de las figuras, así como los elementos correspondientes, no se pueden tratar en detalle en el presente documento con referencia a cada una de las figuras. De manera similar, puede que no todos los elementos estén etiquetados ni se muestren en cada una de las figuras, pero se pueden utilizar los números de referencia asociados con estos con el fin de mantener la coherencia. Los elementos, los componentes y/o las características que se tratan con referencia a una o más de las figuras pueden incluirse y/o utilizarse con cualquiera de las figuras sin apartarse del alcance de la presente divulgación.

35 La figura 1 es una representación esquemática de los métodos 100 de unión ala-fuselaje. Los métodos 100 pueden incluir mover 110 el ala a al menos un punto de ruta de primera fase (posición del ala) y luego mover 120 el ala a al menos un punto de ruta de segunda fase (posición relativa del ala y el fuselaje). Con respecto a la primera y a la segunda fase, los métodos 100 pueden incluir una o ambas fases. Por ejemplo, los métodos 100 pueden incluir mover 110 al punto o puntos de ruta de primera fase, mover 120 al punto o puntos de ruta de segunda fase, o mover 110 al punto o puntos de ruta de primera fase y luego mover 120 al punto o puntos de ruta de segunda fase. Los métodos 100 pueden incluir determinar 130 ubicaciones de referencia de objetivos de objetivos ópticos en el ala y/o el fuselaje. Las figuras 2-4 detallan diversos aspectos de los métodos 100.

40 La figura 5 es una representación de un sistema 10 de unión ala-fuselaje para una aeronave 12. El sistema 10 de unión ala-fuselaje se puede configurar, adaptar y/o programar para realizar una o más etapas de los métodos 100 y/o se puede utilizar con los métodos 100. El sistema 10 está configurado para alinear y montar un ala 14 a un fuselaje 16 (por ejemplo, a una sección 18 de fuselaje del fuselaje 16) de la aeronave 12. El ala 14 (que puede denominarse un conjunto de ala) puede ser un ala completa, sustancialmente completa y/o parcialmente completa de una aeronave.
 45 Tal y como se ilustra en la figura 5, la aeronave 12 generalmente tiene dos o más alas 14. El fuselaje 16 (que puede denominarse un conjunto de fuselaje) puede ser un fuselaje de una aeronave y/o una sección de fuselaje completa, sustancialmente completa o parcialmente completa.

Los métodos 100 pueden aplicarse para unir un ala 14, ambas alas 14 (por ejemplo, alas de babor y de estribor) y/o todas las alas 14. Al unir más de un ala 14, las alas 14 pueden unirse al fuselaje 16 secuencialmente, al menos parcialmente concurrentemente y/o concurrentemente.

55 El ala 14 se acopla al fuselaje 16 en una raíz 20 del ala (del ala 14) y un adaptador 30 del ala (del fuselaje 16). La raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala son las interfaces de unión de ala del ala 14 y del fuselaje 16, respectivamente. La raíz 20 del ala también puede denominarse cajón del ala. El adaptador 30 del ala también puede denominarse cajón del fuselaje lateral. El fuselaje 16 puede incluir un adaptador 30 del ala para cada ala 14 de la aeronave 12. Por ejemplo, el fuselaje 16 puede incluir un adaptador 30 del ala del lado de babor para acoplarse a la raíz 20 del ala de un ala 14 de babor y un adaptador 30 del ala del lado de estribor para acoplarse a la raíz 20 del ala de un ala 14 de estribor.

Tal y como se utiliza en el presente documento, las referencias a direcciones y rotaciones utilizan la terminología de la industria aeronáutica. El sistema de coordenadas para la aeronave 12 se indica en la figura 5, indicando el eje x la dirección de proa a popa, indicando el eje y la dirección de babor a estribor e indicando el eje z la dirección de arriba a abajo. Las coordenadas x, y, y z con respecto a la aeronave 12 también pueden llamarse la estación (o la estación de fuselaje), la línea central y la línea de flotación, respectivamente. Cada estructura puede ubicarse en tres dimensiones y tener una orientación rotacional tridimensional. En conjunto, la ubicación y la orientación pueden denominarse la posición. Por lo tanto, la posición puede describir el aspecto tridimensional de una estructura, incluyendo tres grados de ubicación traslacional y tres grados de orientación rotacional. Con respecto a la aeronave 12, la rotación alrededor del eje x se denomina alabeo; la rotación alrededor del eje y se conoce como cabeceo; y la rotación alrededor del eje z se denomina guiñada. La posición de cada estructura puede especificarse con respecto a las coordenadas locales, en relación con la estructura en lugar de la aeronave 12. Por ejemplo, cada ala 14 puede tener una orientación especificada con respecto a las coordenadas locales con un origen en la interfaz de adaptador-raíz del ala. La orientación del ala 14 con respecto al fuselaje 16 puede denominarse el ángulo diedro (rotación alrededor de un eje local paralelo al eje x), el ángulo de incidencia (rotación alrededor un eje local paralelo al eje y, también denominado el ángulo de cabeceo del ala), y el ángulo de barrido (rotación alrededor un eje local paralelo al eje z, también denominado el ángulo de incidencia del ala).

Cada uno de la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala tienen estructuras de interfaz tales como bridas, paneles, empalmes, marcos, largueros, crestas, ranuras, clavijas, orificios, etc., que están configurados para acoplarse entre sí. Las estructuras de interfaz se acoplan con las estructuras correspondientes de la raíz 20 del ala o del adaptador 30 del ala opuestos. Las superficies que se acoplan entre sí son las superficies 22 de interfaz de raíz del ala (de la raíz 20 del ala) y las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala (del adaptador 30 del ala). Generalmente, el ala 14 se ajusta al fuselaje 16 como un enchufe y un zócalo, con superficies de interfaz tanto en la raíz 20 del ala como en el adaptador 30 del ala orientadas en diversas direcciones (por ejemplo, hacia arriba, hacia abajo, hacia proa, hacia popa, hacia dentro y/o hacia fuera). Por ejemplo, las superficies de interfaz de una placa de interfaz que se extiende desde la raíz 20 del ala pueden incluir una superficie orientada hacia arriba y una superficie orientada hacia abajo. Las estructuras de acoplamiento del adaptador 30 del ala pueden incluir superficies orientadas hacia abajo y superficies orientadas hacia arriba correspondientes. Las superficies de interfaz de acoplamiento no entran en contacto entre sí necesariamente cuando se acoplan. Las superficies de interfaz pueden definir un espacio cuando se acoplan. Generalmente, las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala están configuradas para acoplarse en una alineación de alta precisión. Por consiguiente, cualquier contacto, si lo hubiese, puede ser un ajuste estrecho (por ejemplo, un ajuste de interferencia o un ajuste de deslizamiento) y cualquier espacio, si lo hubiese, puede ser pequeño (por ejemplo, un tramo de menos de 5 mm (aproximadamente 0,2 pulg.), menos de 1 mm (aproximadamente 0,04 pulg.), menos de 0,2 mm (aproximadamente 0,008 pulg.), o menos de 0,1 mm (aproximadamente 0,004 pulg.)). Tal y como se trata en el presente documento, los espacios, en particular los espacios con un tramo mayor que un grosor umbral predefinido, pueden rellenarse con cuñas.

La raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala pueden ser estructuras relativamente de gran tamaño y tener áreas de sección transversal relativamente de gran tamaño (medidas en un plano hipotético que separa la unión). La raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala pueden tener sustancialmente las mismas dimensiones de sección transversal. El tramo de la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala (cada uno independientemente) en la dirección x puede ser más de 1 m (metro) (aproximadamente 3 ft (pies)), más de 2 m (aproximadamente 7 ft), más de 4 m (aproximadamente 13 ft), menos de 20 m (aproximadamente 66 ft) y/o menos de 10 m (aproximadamente 33 ft). El tramo de la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala (cada uno independientemente) en la dirección y puede ser más de 0,3 m (aproximadamente 1 pie), más de 0,6 m (aproximadamente 2 ft), más de 1 m (aproximadamente 3 ft), menos de 10 m (aproximadamente 33 ft) y/o menos de 5 m (aproximadamente 16 ft). La raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala, cada uno independientemente, pueden tener un área de sección transversal (en el plano de la unión) de más de 1 m² (metros cuadrados) (aproximadamente 10 ft² (pies cuadrados)), más de 2 m² (aproximadamente 20 ft²), más de 10 m² (aproximadamente 100 ft²), más de 20 m² (aproximadamente 200 ft²), menos de 100 m² (aproximadamente 1.000 ft²), y/o menos de 20 m² (alrededor de 200 ft²).

Aunque los ejemplos en el presente documento se centran en unir el ala al fuselaje de una aeronave, los sistemas y métodos de la presente divulgación pueden aplicarse a la alineación y al montaje de otros componentes de gran tamaño y/o complejos tales como, para aeronaves, unir planos de cola a un conjunto de cola y/o fuselaje, y unir secciones de fuselaje entre sí. Por este motivo, las referencias a las alas y a los fuselajes de aeronaves pueden sustituirse por referencias a una primera estructura de acoplamiento (o conjunto parcial) y una segunda estructura de acoplamiento (o conjunto parcial). Las estructuras de acoplamiento tienen interfaces (correspondientes a la raíz 20 del ala y al adaptador 30 del ala) y superficies de interfaz en las interfaces (correspondientes a las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y a las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala). Los sistemas y métodos de la presente divulgación pueden aplicarse a las estructuras de acoplamiento para unir las interfaces entre sí en una alineación precisa de las superficies de interfaz respectivas.

Durante la alineación y el montaje, el ala 14 puede ser soportada y/o posicionada por uno o más posicionadores 62 de ala, y el fuselaje 16 puede ser soportado y/o posicionado por uno o más posicionadores 60 de fuselaje. Cada ala 14 puede ser soportada y/o posicionada por un grupo independiente de uno o más posicionadores 62 de ala. Los

5 posicionadores 62 de ala y los posicionadores 60 de fuselaje también pueden denominarse herramientas de unión de ala y herramientas de unión de fuselaje, respectivamente. Los posicionadores 62 de ala y los posicionadores 60 de fuselaje pueden configurarse para manipular la posición (es decir, la orientación y/o la ubicación) del ala 14 y del fuselaje 16 respectivos. El grupo de posicionadores 62 de ala para un ala 14 y los posicionadores 60 de fuselaje pueden denominarse un sistema 58 de posicionamiento de ala. El sistema 10 puede incluir un sistema 58 de posicionamiento de ala para cada ala 14 (compartiendo opcionalmente los posicionadores 60 de fuselaje para cada sistema 58 de posicionamiento de ala) y/o puede incluir un sistema 58 de posicionamiento de ala para todas las alas 14. Generalmente, los posicionadores 62 de ala y los posicionadores 60 de fuselaje del sistema 58 de posicionamiento de ala están configurados para mover el ala 14 en relación con el fuselaje 16 con al menos seis grados de libertad (tres traslacionales y tres rotacionales). Los grados de libertad pueden dividirse entre los posicionadores 62 de ala y los posicionadores 60 de fuselaje. De manera adicional o alternativa, los posicionadores 62 de ala y los posicionadores 60 de fuselaje pueden ser capaces de realizar el mismo tipo de movimiento (por ejemplo, ambos pueden ser capaces de mover el ala 14 y el fuselaje 16 respectivos en la dirección x). Generalmente, los posicionadores 62 de ala como grupo están configurados para mover el ala 14 respectiva con respecto al fuselaje 16 con al menos cuatro grados de libertad, tres grados rotacionales y un grado traslacional a lo largo del eje y (dirección de babor hacia estribor y de dentro hacia fuera). Por ejemplo, en la figura 5, el ala 14 de babor es soportada por un posicionador 62 de ala configurado para mover el ala 14 de babor con relación al fuselaje 16 con seis grados de libertad (tres traslacionales y tres rotacionales).

20 Los posicionadores 62 de ala y/o los posicionadores 60 de fuselaje pueden incluir gatos, accionadores, dispositivos de elevación, motores, ruedas, bandas de rodamiento y/o dispositivos de locomoción. Los posicionadores 62 de ala y/o los posicionadores 60 de fuselaje pueden alimentarse mediante fuentes internas o externas a través de, por ejemplo, electricidad, presión hidráulica y/o presión neumática. Los posicionadores 62 de ala y/o los posicionadores 60 de fuselaje pueden ser autopropulsados y/o pueden describirse como vehículos. Los posicionadores 62 de ala, los posicionadores 60 de fuselaje y/o los sistemas 58 de posicionamiento de ala pueden incluir un controlador electrónico y pueden denominarse posicionadores y/o sistemas robóticos y/o controlados por computadora. Los posicionadores 62 de ala, Los posicionadores 60 de fuselaje y/o los sistemas 58 de posicionamiento de ala pueden hacerse funcionar, en última instancia, por un operador humano (por ejemplo, con un control a distancia) y/o puede funcionar de manera autónoma y/o semiautónoma (por ejemplo, siguiendo los métodos de alineación y/o posicionamiento descritos en el presente documento).

30 Volviendo generalmente a la figura 1 (con respecto a los métodos) y a la figura 5 (con respecto a las estructuras), mover 110 al punto o puntos de ruta de primera fase y mover 120 al punto o puntos de ruta de segunda fase incluye determinar la posición del ala 14 y puede incluir determinar la posición del fuselaje 16. Las posiciones del ala 14 y del fuselaje 16 pueden determinarse con objetivos ópticos instalados en el ala 14 y el fuselaje 16 respectivos. Los objetivos ópticos generalmente son objetos ópticamente distintos y pueden incluir (y/o pueden ser) un reflector, un retrorreflector, un símbolo y/o una marca que es ópticamente distinta (por ejemplo, que destaca sobre el fondo óptico cercano). Los objetivos ópticos pueden incluir materiales reflectantes, materiales absorbentes, materiales fluorescentes y/o materiales luminiscentes. Los objetivos ópticos pueden denominarse objetivos retrorreflectantes, objetivos reflectantes, objetivos codificados (por ejemplo, que incluyen códigos de barras, códigos de barras 2D (bidimensionales), caracteres alfanuméricos y/u otros símbolos), objetivos fluorescentes y/o objetivos luminiscentes. Los objetivos ópticos pueden adaptarse para fotogrametría, rastreamiento láser u otras técnicas ópticas. Por ejemplo, los objetivos ópticos pueden responder a la luz de iluminación y/o a la luz ambiente (por ejemplo, mediante la reflexión, la absorción, la dispersión y/o la fluorescencia). Los objetivos ópticos también pueden denominarse objetivos, objetivos de fotogrametría y/o objetivos de seguimiento láser.

45 En la figura 5, los objetivos ópticos se indican como objetivos 50 primarios y objetivos 54 secundarios. Los objetivos 50 primarios son objetivos ópticos ubicados en la raíz 20 del ala o en el adaptador 30 del ala. Debido a que los objetivos 50 primarios están en la raíz 20 del ala o en el adaptador 30 del ala, el acceso óptico a los objetivos 50 primarios puede oscurecerse a medida que el ala 14 y el fuselaje 16 entran en contacto entre sí para unir el ala 14 al fuselaje 16. Los objetivos 54 secundarios son objetivos ópticos asociados con el ala 14 o el fuselaje 16 y los objetivos 50 primarios correspondientes. Los objetivos 54 secundarios están ubicados de modo que permiten el acceso óptico durante el proceso de unión del ala, al menos durante la parte del proceso en la que los objetivos 50 primarios están oscurecidos, no están presentes o, por el contrario, no están disponibles.

55 Los objetivos 50 primarios se encuentran en ubicaciones que se conocen con respecto a las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y a las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala correspondientes. Por ejemplo, los objetivos 50 primarios pueden instalarse en ubicaciones predeterminadas, tales como puntos fiduciales o puntos de referencia utilizados durante el diseño y/o la construcción de la raíz 20 del ala y del adaptador 30 del ala correspondientes. De manera adicional o alternativa, las ubicaciones de uno o más de los objetivos 50 primarios pueden determinarse midiendo (por ejemplo, de manera óptica y/o automática) la ubicación 3D del objetivo en relación con la raíz 20 del ala, el adaptador 30 del ala asociados o las superficies correspondientes. La geometría de superficie de las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y/o las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala puede conocerse a partir de modelos de diseño (formas conforme a diseño) y/o de modelos de superficie derivados de la exploración de superficie (formas conforme a obra). Las ubicaciones 3D de los objetivos en la superficie de interfaz correspondiente se pueden medir

con un rastreador láser, un localizador láser, un sistema LIDAR y/o un sistema fotogramétrico. Las ubicaciones 3D de los objetivos pueden determinarse explorando los objetivos 50 primarios con la(s) superficie(s) de interfaz correspondiente(s).

5 Los objetivos 50 primarios generalmente están dispersos alrededor de la raíz 20 del ala y del adaptador 30 del ala. La dispersión (en lugar de la agrupación) de los objetivos 50 primarios alrededor de la interfaz correspondiente puede proporcionar más opciones de posición de medición (por ejemplo, más posiciones en las que un número umbral de objetivos 50 primarios son visibles) y/o una mejor representación 3D de la posición de la raíz 20 del ala o del adaptador 30 del ala correspondientes. Generalmente, cada uno de la raíz 20 del ala y del adaptador 30 del ala pueden tener 2, 3, 4, 5, 6 o más objetivos 50 primarios.

10 Los objetivos 54 secundarios están en ubicaciones que se conocen con respecto a los objetivos 50 primarios (es decir, uno o más de los objetivos 50 primarios) de la raíz 20 del ala o del adaptador 30 del ala correspondientes. Las ubicaciones de los objetivos 54 secundarios pueden medirse con respecto a los objetivos 50 primarios y/o pueden estar en relaciones predeterminadas con los objetivos 50 primarios. Por ejemplo, la ubicación de uno o más de los objetivos 54 secundarios puede determinarse midiendo la ubicación 3D del objetivo 54 secundario en relación con uno o más de los objetivos 50 primarios asociados. La ubicación 3D se puede medir con un sistema 40 de medición 3D (por ejemplo, un rastreador láser, un localizador láser, un sistema LIDAR y/o un sistema fotogramétrico). Uno o más objetivos 54 secundarios pueden estar ubicados en relaciones predeterminadas con los objetivos 50 primarios, por ejemplo, si el objetivo 54 secundario y el objetivo 50 primario se fijan entre sí en un marco y el marco con los objetivos se instala en el ala 14 o el fuselaje 16 respectivos.

20 Los objetivos 54 secundarios generalmente están dispersos alrededor del ala 14 cerca de la raíz 20 del ala y del fuselaje 16 cerca del adaptador 30 del ala. La dispersión (en lugar de la agrupación) de los objetivos 54 secundarios alrededor de la región correspondiente puede proporcionar más opciones de posición de medición (por ejemplo, más posiciones en las que un número umbral de objetivos 54 secundarios son visibles) y/o una mejor representación 3D de la posición del ala 14 o el fuselaje 16 correspondiente. Generalmente, cada uno del ala 14 y del fuselaje 16 pueden tener 2, 3, 4, 5, 6 o más objetivos 54 secundarios.

Los métodos 100 generalmente incluyen mover una o más alas 14 hacia el fuselaje 16 en un proceso de dos fases con una serie de puntos de ruta. La trayectoria de movimiento del ala 14 es una trayectoria 3D que traslada y/o rota el ala 14 desde una posición inicial a una posición final en la que el ala 14 está acoplada al fuselaje 16. La trayectoria de movimiento sigue una serie de puntos de ruta (posiciones intermedias) configurados para transportar el ala 14 hasta su posición final sin contacto significativo entre el ala 14 y el fuselaje 16. Cada punto de ruta es una posición del ala 14 con respecto al fuselaje 16 o al menos con respecto a un sistema de coordenadas fijo en relación con el fuselaje 16. En algunas realizaciones, la trayectoria de movimiento está configurada para evitar el contacto entre las partes en todos los puntos de ruta, al menos hasta el engranaje mediante acoplamiento asociado con la posición final. La posición inicial, que se puede denominar la posición separada, y la posición final, que se puede denominar posición de acoplamiento, cada una puede ser puntos de ruta independientemente.

30 Tal y como se muestra en la figura 1, los métodos 100 pueden incluir determinar 106 la trayectoria de movimiento para mover el ala 14 y el fuselaje 16 hasta una disposición de acoplamiento entre sí. La trayectoria de movimiento está configurada para mover el ala 14 y el fuselaje 16 hasta alinearlos y para ubicar el ala 14 y el fuselaje 16 en la disposición de acoplamiento de la posición final. En parte debido a la complejidad de las superficies 22 de interfaz de raíz del ala, la complejidad de las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala y la precisión deseada, la trayectoria de movimiento de las alas 14 a los fuselajes 16 generalmente implica más que un simple movimiento lineal en una dirección. Por ejemplo, la trayectoria de movimiento puede incluir segmentos de rotación, segmentos de traslación, segmentos de rotación acoplada (por ejemplo, rotación alrededor de más de un eje), segmentos de traslación acoplada (por ejemplo, traslación a lo largo de más de un eje), y/o segmentos de traslación y rotación acopladas. Con respecto a la trayectoria de movimiento, un segmento es una porción de la trayectoria de movimiento entre dos puntos de ruta. Un segmento de la trayectoria de movimiento puede incluir uno o más puntos de ruta.

40 Determinar 106 la trayectoria de movimiento puede incluir calcular una trayectoria de movimiento basada en las formas nominales conforme a diseño del ala 14 y del fuselaje 16. De manera adicional o alternativa, determinar 106 la trayectoria de movimiento puede basarse en las formas reales conforme a obra del ala 14 y del fuselaje 16. Las formas reales se modelan (por ejemplo, realizando una exploración 3D tal y como se trató con respecto a las superficies de interfaz y ajuste virtual) y puede incluir desviaciones de las partes individuales del diseño de ingeniería. En algunas realizaciones, se determina una trayectoria de movimiento preliminar en función de las formas nominales de las partes y luego se modifica de acuerdo con las formas de las partes reales medidas para producir la trayectoria de movimiento. Cada punto de ruta de la trayectoria de movimiento puede moverse independientemente desde el punto de ruta correspondiente de la trayectoria de movimiento preliminar. Tales movimientos pueden ser simples traslaciones pero, más comúnmente, los movimientos pueden incluir traslaciones y rotaciones que pueden dar como resultado una nueva forma de trayectoria y/o diferentes orientaciones de las partes.

La posición de acoplamiento final del ala 14 y del fuselaje 16 está determinada por un ajuste virtual. Por ejemplo, los

métodos 100 incluyen el ajuste virtual 180 del ala 14 al fuselaje 16 para establecer un ajuste virtual. El ajuste virtual 180 incluye la utilización de modelos virtuales (modelos conforme a diseño y/o conforme a obra) de la raíz 20 del ala y del adaptador 30 del ala y la alineación de los modelos virtuales en un ajuste virtual. El ajuste virtual puede estar basado en el diseño de ingeniería, en las partes conforme a diseño y/o conforme a obra, y/o en consideraciones aerodinámicas. Los modelos conforme a diseño de las partes pueden denominarse modelos de ingeniería y pueden tener la forma de un modelo CAD (diseño asistido por computadora) u otra representación 3D. Los modelos conforme a obra pueden ser modelos CAD u otras representaciones 3D derivadas de exploraciones de superficie 3D de las superficies que se acoplarán (por ejemplo, las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala). Por ejemplo, las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y/o las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala se exploran (por ejemplo, con exploración de superficie 3D) para determinar las formas reales conforme a obra de las superficies (también denominadas perfiles de superficie). La exploración de superficie se utiliza para crear un modelo virtual de las superficies conforme a obra, que se puede denominar un perfil 3D de la superficie. Explorar las partes en lugar de confiar en los modelos de ingeniería de las partes permite que el ajuste virtual tenga en cuenta la desviación real conforme a obra de las partes a partir de las formas diseñadas.

El ajuste virtual está configurado para ubicar el ala 14 en la posición aerodinámica diseñada y lograr espacios entre la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala de menos de un grosor umbral. La posición final de acoplamiento es la posición de ajuste virtual determinada por el ajuste virtual 180.

El ajuste virtual 180 incluye la identificación de espacios entre la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala. Así mismo, el ajuste virtual 180 se utiliza para definir y/o crear cuñas para rellenar los espacios, indicadas como acuñado 182 en la figura 1. El acuñado 182, también denominado acuñado predictivo 182, puede incluir determinar las dimensiones de cuña para rellenar sustancialmente uno o más de los espacios, formar cuñas de acuerdo con las dimensiones de cuña determinadas, y/o instalar cuñas en los espacios reales correspondientes que se forman por el ajuste real logrado por el movimiento 110 al punto o puntos de ruta de primera fase y/o el movimiento 120 al punto o puntos de ruta de segunda fase. El acuñado 182 se puede realizar antes de unir por primera vez el ala 14 y el fuselaje 16 (por ejemplo, las cuñas se forman antes de comenzar el movimiento 110 y/o el movimiento 120). Las cuñas resultantes pueden instalarse en la raíz 20 del ala y/o en el adaptador 30 del ala antes de comenzar el movimiento 110 y/o el movimiento 120.

Los métodos 100 pueden configurarse para mover gradualmente el ala 14 a lo largo de la trayectoria de movimiento, un punto de ruta cada vez. Por ejemplo, mover 110 al punto o puntos de ruta de primera fase y/o mover 120 al punto o puntos de ruta de segunda fase. Al moverse gradualmente, las desviaciones en el movimiento o en las posiciones reales del ala 14 y/o del fuselaje 16 pueden identificarse y/o corregirse durante el movimiento general antes de que las desviaciones se agraven. Las desviaciones de movimiento pueden deberse a, por ejemplo, la deflexión de las partes, la flexión de las partes, la inexactitud del sistema 58 de posicionamiento de ala (figura 5) y/o la imprecisión del sistema 58 de posicionamiento de ala.

Los puntos de ruta entre la posición inicial y la posición de acoplamiento final pueden estar espaciados de manera desigual y generalmente están espaciados en una serie decreciente, estando los puntos de ruta de la primera fase generalmente separados por distancias mayores que los puntos de ruta en la segunda fase. Por ejemplo, el espaciado mínimo entre puntos de ruta secuenciales de la primera fase (opcionalmente, todos los espaciados de la primera fase) puede ser mayor que el espaciado mínimo entre puntos de ruta secuenciales de la segunda fase (opcionalmente, todos los espaciados de la segunda fase). Los puntos de ruta están configurados generalmente más separados cuando la distancia entre el ala 14 y el fuselaje 16 es mayor y/o cuando el requisito de precisión de la ubicación relativa es menor. Por consiguiente, los puntos de ruta más cercanos a la posición inicial de la trayectoria de movimiento y/o los puntos de ruta de la primera fase pueden corresponder a un movimiento brusco o tosco, y los puntos de ruta más cercanos a la posición de acoplamiento final de la trayectoria de movimiento y/o los puntos de ruta de la segunda fase pueden corresponder a un movimiento suave. Por ejemplo, el espaciado entre puntos de ruta secuenciales en la primera fase (por ejemplo, los primeros dos puntos de ruta) pueden ser inferiores a 500 mm (aproximadamente 20 pulg.), menos de 200 mm (aproximadamente 8 pulg.), menos de 100 mm (aproximadamente 4 pulg.), menos de 50 mm (aproximadamente 2 pulg.), más de 10 mm (aproximadamente 0,4 pulg.), más de 20 mm (aproximadamente 0,8 pulg.) y/o más de 50 mm (aproximadamente 2 pulg.). El espaciado entre puntos de ruta secuenciales en la segunda fase (por ejemplo, los dos últimos puntos de ruta) pueden ser inferiores a 50 mm (aproximadamente 2 pulg.), menos de 10 mm (aproximadamente 0,4 pulg.), menos de 5 mm (aproximadamente 0,2 pulg.), menos de 2 mm (aproximadamente 0,08 pulg.), más de 0,1 mm (aproximadamente 0,004 pulg.), más de 0,5 mm (aproximadamente 0,02 pulg.) y/o más de 1 mm (aproximadamente 0,04 pulg.).

En la primera fase del proceso de movimiento, los métodos 100 incluyen moverse a uno o más puntos de ruta a lo largo de la trayectoria. Tal y como se muestra en la figura 1, mover 110 al punto de ruta de primera fase puede incluir realizar 112 un movimiento de primera fase o controlar 114 el ala 14 al punto de ruta seleccionado. El movimiento 110 puede repetirse para cada punto de ruta en la primera fase (donde la posición relativa del ala 14 y del fuselaje 16 están lo suficientemente separadas como para que sea improbable que colisionen). Para al menos uno de los puntos de ruta de la primera fase, mover 110 incluye realizar 112 el movimiento de primera fase. El control 114 incluye el control del sistema 58 de posicionamiento de ala (por ejemplo, los posicionadores 62 de ala y/o los posicionadores 60 de fuselaje)

para mover el ala 14 al punto de ruta seleccionado.

La figura 2 detalla el proceso de movimiento de primera fase. La realización 112 del movimiento de primera fase incluye controlar 150 el ala 14 a una posición de control. Generalmente, la posición de control es el punto de ruta. Sin embargo, la posición de control puede ser una posición seleccionada, calculada y/o estimada para mover el ala 14 en la dirección deseada y/o a la posición deseada (por ejemplo, el punto de ruta). Donde el control 150 es simplemente controlar el sistema 58 de posicionamiento de ala para mover el ala 14 al punto de ruta seleccionado, controlar 150 es lo mismo que controlar 114.

La realización 112 del movimiento de primera fase incluye determinar 152 la posición del ala (por ejemplo, la posición de la raíz 20 del ala) midiendo las ubicaciones 3D de uno o más objetivos ópticos (por ejemplo, objetivos 50 primarios y/u objetivos 54 secundarios). La medición de las ubicaciones 3D de uno o más objetivos ópticos es medir sin contacto (por ejemplo, de manera óptica), por ejemplo, con el sistema 40 de medición 3D. La medición de las ubicaciones 3D generalmente es un proceso automatizado tal como la visión artificial, la exploración óptica 3D y/o la fotogrametría.

La visión artificial es una técnica que utiliza la formación de imágenes electrónicas y algoritmos para extraer información geométrica (por ejemplo, la posición y/o la forma de superficie) de una o más imágenes del objeto sometido a estudio (por ejemplo, los objetivos 50 primarios y/o los objetivos 54 secundarios asociados con la raíz 20 del ala o el adaptador 30 del ala respectivos). Por ejemplo, la visión artificial se puede utilizar para determinar las posiciones de los objetivos 50 primarios. Por poner otro ejemplo, la visión artificial se puede utilizar para determinar las formas de superficie de las superficies 22 de interfaz de raíz del ala conforme a obra. La exploración óptica 3D (que incluye técnicas tales como el rastreamiento láser, el sistema LIDAR y la localización láser) es una técnica que utiliza la reflexión de la luz, a menudo de un láser, para calcular la geometría de superficie del objeto sometido a estudio. Normalmente, la geometría de superficie se calcula a partir del tiempo de vuelo o de la triangulación. De manera adicional o alternativa, la exploración óptica 3D se puede utilizar para medir las posiciones 3D de los objetos y, por lo tanto, la ubicación relativa de un objeto en una superficie. La fotogrametría es una técnica que determina la geometría de superficie del objeto sometido estudio a través del análisis de imágenes electrónicas, comúnmente varias imágenes desde diferentes perspectivas (ángulos). La fotogrametría puede utilizar varias cámaras para obtener las imágenes desde diferentes perspectivas. De manera adicional o alternativa, la fotogrametría se puede utilizar para medir las posiciones 3D de los objetos y, por lo tanto, la ubicación relativa de un objeto en una superficie.

La realización 112 incluye calcular 154 una diferencia de primera fase (indicada como Δ_1 en la figura 2) entre la posición real del ala (según lo determinado mediante la determinación 152) y la posición de control. La realización 112 incluye además repetir 156 de manera iterativa el control 150, determinar 152 y calcular 154 hasta que la magnitud de la diferencia de primera fase sea menor o igual que una tolerancia de error de primera fase (indicada como T_1 en la figura 2). Por lo tanto, realizar 112 el movimiento de primera fase incluye realizar el grupo de controlar 150, determinar 152 y calcular 154 una o más veces hasta que la diferencia de primera fase sea suficientemente pequeña. El control 150, la determinación 152, el cálculo 154 y la repetición 156 forman un bucle de retroalimentación para el posicionamiento del ala 14.

El primer control 150 en el bucle de repetición de la primera fase puede ser controlar el sistema 58 de posicionamiento de ala para mover el ala 14 al punto de ruta deseado (la posición de control). El control 150 posterior en el ciclo de repetición (es decir, controlar 150 eventos que ocurren después de determinar que la diferencia de primera fase es mayor que la tolerancia de error de primera fase) puede ser controlar el sistema 58 de posicionamiento de ala para mover el ala 14 de acuerdo con la diferencia de primera fase. Por ejemplo, el control 150 posterior de eventos puede incluir el control para reducir la magnitud de la diferencia de primera fase y/o el control del sistema 58 de posicionamiento de ala para realizar un movimiento relativo seleccionado, calculado y/o estimado para mover el ala 14 en una dirección para reducir la magnitud de la diferencia de primera fase y/o en una dirección hacia el punto de ruta deseado.

Volviendo a la figura 1, la segunda fase del movimiento sigue a la primera fase (si se realiza), es decir, el movimiento 120 a uno o más puntos de ruta de segunda fase se realiza después de completar todos los movimientos 110 al punto o puntos de ruta de primera fase. El movimiento 120 al punto de ruta de segunda fase puede incluir realizar 122 un movimiento de segunda fase o controlar 114 el ala 20 al punto de ruta seleccionado. El movimiento 120 puede repetirse para cada punto de ruta en la segunda fase (donde la posición relativa del ala 14 y del fuselaje 16 están lo suficientemente cerca como para que sea posible la interferencia o el contacto). Para al menos uno de los puntos de ruta de segunda fase, el movimiento 120 incluye realizar 122 el movimiento de segunda fase. La transición de la primera fase (por ejemplo, el movimiento 110) a la segunda fase (por ejemplo, el movimiento 120) puede basarse en una distancia umbral entre el ala 14 y el fuselaje 16, una distancia umbral entre puntos de ruta, una distancia real (medida) entre el ala 14 y el fuselaje 16 (por ejemplo, concurrente con el movimiento 110), una diferencia entre la posición del ala 14 y un punto de ruta (por ejemplo, una diferencia de primera fase), y/o un punto de ruta predeterminado.

La figura 3 detalla el proceso de movimiento de segunda fase. La realización 122 del movimiento de segunda fase incluye controlar 160 el ala 14 a una posición de control. La posición de control en la segunda fase es una posición

seleccionada para ubicar el ala 14 y el fuselaje 16 en una posición relativa conocida, a la que se hace referencia como la posición relativa de control. Generalmente, la posición de control es el punto de ruta y la posición relativa de control es el punto de ruta relativo al fuselaje 16. Sin embargo, la posición de control puede ser una posición seleccionada, calculada y/o estimada para mover el ala 14 en la dirección deseada y/o a la posición deseada (por ejemplo, el punto de ruta). donde el control 160 es simplemente controlar el sistema 58 de posicionamiento de ala para mover el ala 14 y el fuselaje 16 al punto de ruta seleccionado, controlar 160 es lo mismo que controlar 114.

La realización 122 del movimiento de segunda fase incluye determinar 162 la posición del ala (por ejemplo, la posición de la raíz 20 del ala) midiendo las ubicaciones 3D de uno o más objetivos ópticos (por ejemplo, objetivos 50 primarios y/u objetivos 54 secundarios) posicionados en el ala 14. Al menos al final del movimiento de segunda fase (cerca de la posición de acoplamiento final), los objetivos 50 primarios pueden estar oscurecidos y/o inaccesibles y, por lo tanto, no pueden utilizarse en ese momento. La realización 122 incluye determinar 164 la posición del fuselaje (por ejemplo, la posición del adaptador 30 del ala) midiendo las ubicaciones 3D de uno o más objetivos ópticos (por ejemplo, los objetivos 50 primarios y/o los objetivos 54 secundarios) posicionados en el fuselaje 16. La medición asociada con la determinación 162 de la posición del ala y la determinación 164 de la posición del fuselaje se puede realizar tal y como se describe con respecto a la determinación 152 de la posición del ala para la primera fase. Los objetivos ópticos de la estructura respectiva (el ala 14 o el fuselaje 16) se miden sin contacto (por ejemplo, de manera óptica), en un proceso generalmente automático tal como la visión artificial, la exploración óptica 3D y/o la fotogrametría.

La realización 122 incluye calcular 166 la posición relativa de segunda fase del ala 14 y del fuselaje 16 (por ejemplo, la posición relativa de la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala). La posición relativa de segunda fase puede basarse en una diferencia entre la posición del ala y la posición del fuselaje según lo determinado por la determinación 162 y la determinación 164 respectivas. La realización 122 incluye calcular 168 una diferencia de segunda fase (indicada como Δ_2 en la figura 3) entre la posición relativa real del ala (calculada mediante el cálculo 166) y la posición relativa de control. La realización 122 incluye además repetir 170 de manera iterativa el control 160, la determinación 162, la determinación 164, el cálculo 166 y el cálculo 168 hasta que la magnitud de la diferencia de segunda fase sea menor o igual que una tolerancia de error de segunda fase (indicada como T_2 en la figura 3). Por lo tanto, la realización 122 del movimiento de segunda fase incluye realizar el grupo de control 160, la determinación 162, la determinación 164, cálculo 166 y cálculo 168 una o más veces hasta que la diferencia de segunda fase sea suficientemente pequeña. La tolerancia de error de segunda fase T_2 puede ser mayor, menor o igual que la tolerancia de error de primera fase T_1 , pero generalmente la tolerancia de error de segunda fase T_2 es menor o igual que la tolerancia de error de primera fase T_1 , representando un movimiento y un posicionamiento de precisión igual o mayor en la segunda fase en comparación con la primera fase. De manera adicional o alternativa, el espaciado entre los puntos de ruta (generalmente menor en la segunda fase) puede facilitar un movimiento y un posicionamiento de mayor precisión en la segunda fase en comparación con la primera fase. El control 160, la determinación 162, la determinación 164, el cálculo 166, el cálculo 168 y la repetición 170 forman un bucle de retroalimentación para el posicionamiento relativo del ala 14.

El primer control 160 en el bucle de repetición de la segunda fase puede ser controlar el sistema 58 de posicionamiento de ala para mover el ala 14 al punto de ruta deseado (la posición de control y la posición relativa de control). El control 160 posterior en el ciclo de repetición (es decir, controlar 160 eventos que ocurren después de determinar que la diferencia de segunda fase es mayor que la tolerancia de error de segunda fase) puede ser controlar el sistema 58 de posicionamiento de ala para mover el ala 14 de acuerdo con la diferencia de segunda fase. Por ejemplo, el control 160 posterior de eventos puede incluir el control para reducir la magnitud de la diferencia de segunda fase y/o el control del sistema 58 de posicionamiento de ala para realizar un movimiento relativo seleccionado, calculado y/o estimado para mover el ala 14 en una dirección para reducir la magnitud de la diferencia de segunda fase y/o en una dirección hacia el punto de ruta deseado.

Durante el movimiento 120 al punto o puntos de ruta de segunda fase y/o durante la realización 122 del movimiento de segunda fase, los métodos 100 pueden incluir si el ala 14 y el fuselaje 16 han entrado en contacto y/o realizar acciones de corrección si han entrado en contacto. Por ejemplo, uno o más de los posicionadores del sistema 58 de posicionamiento de ala pueden incluir un sensor de carga configurado para indicar el peso y/u otras fuerzas soportadas por el posicionador respectivo. Si el ala 14 y el fuselaje 16 entran en contacto, la fuerza del contacto puede ser detectada por el sensor o sensores de carga y/o el peso del ala 14 y del fuselaje 16 puede ser redistribuido entre los posicionadores del sistema 58 de posicionamiento de ala. De manera adicional o alternativa, una falta o insuficiencia de progreso al realizar 122 el movimiento de segunda fase (es decir, el control 160 a la posición de segunda fase no da como resultado una reducción suficiente en la magnitud de la diferencia de segunda fase) puede indicar que el ala 14 y el fuselaje 16 están en contacto. La verificación de contacto (por ejemplo, se puede realizar una verificación de la fuerza de carga esperada) dentro del ciclo de repetición 170, antes, durante y/o después del control 160 a la posición de segunda fase. Si la verificación indica que el ala 14 y el fuselaje 16 han entrado en contacto, el siguiente movimiento correspondiente puede ser un movimiento para superar el contacto (por ejemplo, conducir el ala 14 en una dirección para alcanzar el siguiente punto de ruta) y/o un movimiento para evitar el contacto actual o pasado (por ejemplo, alejándose de la posición donde ocurrió el contacto).

La figura 4 ilustra detalles de la determinación 130 de ubicaciones de referencia de objetivos para diversas estructuras,

5 tal como la determinación 132 de ubicaciones de referencia de objetivos de ala para objetivos de ala en un ala 14 y la determinación 134 de ubicaciones de referencia de objetivos de fuselaje para objetivos de fuselaje en un fuselaje 16. La determinación 130 de ubicaciones de referencia de objetivos se puede utilizar para determinar la posición de la estructura correspondiente (por ejemplo, la determinación 152 de la posición del ala de primera fase, la determinación 162 de la posición del ala de segunda fase, y/o la determinación 164 de la posición del fuselaje de segunda fase). La posición de la estructura puede ser definida y/o modelada por las ubicaciones de los objetivos de la estructura. La forma de superficie de la estructura puede ser conforme a diseño (por ejemplo, conocida a partir de modelos de diseño 3D, tales como los modelos CAD) y/o puede ser conforme a obra (por ejemplo, determinada explorando la superficie).

10 La determinación 130 de ubicaciones de referencia de objetivos incluye la instalación 136 de objetivos primarios en la estructura correspondiente. La instalación 136 puede incluir ubicar los objetivos 50 primarios sobre o en la interfaz de la estructura (por ejemplo, la raíz 20 del ala o el adaptador 30 del ala). Los objetivos 50 primarios pueden estar engranados, fijados, adheridos, y/o acoplados a la interfaz de la estructura. La instalación 136 puede incluir la instalación de los objetivos 50 primarios en ubicaciones conocidas con respecto a la interfaz de la estructura. Las ubicaciones pueden ser conocidas porque son ubicaciones predeterminadas (por ejemplo, en puntos fiduciales o puntos de referencia utilizados durante el diseño y/o la construcción de la estructura) y/o las ubicaciones pueden conocerse midiendo las ubicaciones relativas a la estructura, las superficies o las ubicaciones predeterminadas (por ejemplo, los puntos fiduciales o puntos de referencia). Cada ubicación de objetivos 50 primarios independientemente puede ser una ubicación predeterminada y/o una ubicación medida.

15 La determinación 130 puede incluir la medición 138 de las ubicaciones de objetivos primarios. La medición 138 puede proporcionar y/o confirmar las ubicaciones asociadas de los objetivos 50 primarios en relación con la estructura, superficie y/o ubicaciones predeterminadas asociadas correspondientes (por ejemplo, los puntos fiduciales o puntos de referencia). La medición 138 incluye la medición de las ubicaciones 3D de los objetivos 50 primarios sin contacto (por ejemplo, de manera óptica). La medición 138 generalmente es un proceso automatizado tal como la visión artificial, la exploración óptica 3D y/o la fotogrametría. La medición 138 generalmente se realiza mientras el sistema 20 25 58 de posicionamiento de ala soporta la estructura correspondiente (ala 14 y/o fuselaje 16). La medición 138 puede incluir y/o puede realizarse junto con el exploración de las superficies de interfaz correspondientes (superficies 22 de interfaz de raíz del ala o superficies 32 de interfaz de adaptador del ala) para determinar las formas de superficie 3D conforme a obra de las superficies de interfaz.

30 La medición 138 puede incluir establecer y/o determinar un sistema de coordenadas común para la estructura correspondiente. El sistema de coordenadas común se puede utilizar para describir la posición de la estructura y/o se puede utilizar para medir características (por ejemplo, los objetivos 54 secundarios) con respecto a la estructura. Por lo tanto, las características tales como los objetivos 54 secundarios pueden medirse en el sistema de coordenadas común para relacionar las ubicaciones de las características con los objetivos 50 primarios y/o con la estructura, incluso si los objetivos 50 primarios no están presentes o no son visibles cuando se miden las características. El sistema de 35 coordenadas común puede ser común al fuselaje 16 y/o una o más de las alas 14.

40 La determinación 130 de ubicaciones de referencia de objetivos incluye la instalación 140 de objetivos secundarios en la estructura correspondiente. La instalación 140 puede incluir ubicar los objetivos 54 secundarios en la estructura correspondiente cerca de la interfaz de la estructura de modo que los objetivos 54 secundarios sean visibles durante el posicionamiento (por ejemplo, el movimiento 110 al punto o puntos de ruta de primera fase y/o el movimiento 120 al punto o puntos de ruta de segunda fase). Por ejemplo, la instalación 140 correspondiente a la determinación 132 de ubicaciones de referencia de objetivos de ala puede incluir ubicar los objetivos 54 secundarios en el ala 14 cerca de la raíz 20 del ala. Los objetivos 54 secundarios pueden estar engranados, fijados, adheridos, y/o acoplados a la estructura (ala 14 o fuselaje 16). La instalación 140 puede incluir la instalación de los objetivos 54 secundarios en ubicaciones conocidas con respecto a los objetivos 50 primarios. Por ejemplo, uno de los objetivos 54 secundarios 45 puede instalarse en una ubicación que sea una distancia conocida, predefinida y/o medida desde al menos uno de los objetivos 54 primarios. Por poner otro ejemplo, uno de los objetivos 54 secundarios puede instalarse y luego medirse con respecto a la ubicación de al menos uno de los objetivos 50 primarios. Como otro ejemplo más, al menos uno de los objetivos 54 secundarios y al menos uno de los objetivos 50 primarios pueden instalarse como una unidad en conjunto (por ejemplo, el objetivo u objetivos 54 secundarios y el objetivo u objetivos 50 primarios están en un marco 50 con una distancia conocida, predefinida y/o medida entre estos).

55 La determinación 130 puede incluir la medición 142 de las ubicaciones de objetivos secundarios. La medición 142 puede proporcionar y/o confirmar las ubicaciones de los objetivos 54 secundarios en relación con los objetivos 50 primarios y, por lo tanto, en relación con la estructura, superficie y/o ubicaciones predeterminadas asociadas correspondientes (por ejemplo, los puntos fiduciales o puntos de referencia) de los objetivos 50 primarios. Al relacionar los objetivos 54 secundarios con los objetivos 50 primarios, los objetivos 54 secundarios pueden utilizarse para determinar la posición de la estructura correspondiente. Por ejemplo, la posición de la estructura puede ser definida y/o modelada por las ubicaciones de los objetivos 54 secundarios. La medición 142 incluye la medición de las ubicaciones 3D de los objetivos 54 secundarios sin contacto (por ejemplo, de manera óptica). La medición 142 generalmente es un proceso automatizado tal como la visión artificial, la exploración óptica 3D y/o la fotogrametría. La medición 142 generalmente se realiza mientras el sistema 58 de posicionamiento de ala soporta la estructura 60

correspondiente (ala 14 y/o fuselaje 16).

5 La medición 142 puede incluir medir uno o más objetivos 54 secundarios con uno o más objetivos 50 primarios para medir las ubicaciones relativas de los objetivos 54 secundarios (en relación con los objetivos 50 primarios). La medición 142 puede incluir la medición de uno o más objetivos 54 secundarios en un sistema de coordenadas común determinado, establecido y/o definido por las ubicaciones conocidas de los objetivos 50 primarios. Por consiguiente, la medición 142 no requiere medir los objetivos 54 secundarios en presencia de los objetivos 50 primarios o con ambos del objetivo 54 secundario y el objetivo 50 primario seleccionados visibles.

10 La determinación 130 de ubicaciones de referencia de objetivos puede incluir eliminar uno o más de los objetivos 50 primarios, después de la medición 142 de las ubicaciones de objetivos secundarios o después de establecer y/o determinar un sistema de coordenadas común en el que medir las ubicaciones relativas de los objetivos 54 secundarios. Esto es, uno o más de los objetivos 50 primarios pueden eliminarse después de que ya no sean necesarios para determinar las ubicaciones de objetivos secundarios y/o después de que ya no sean necesarios para facilitar el movimiento de primera fase y/o el movimiento de segunda fase. Uno o más objetivos 50 primarios pueden eliminarse antes del movimiento de primera fase y/o antes del movimiento de segunda fase. Durante el proceso de movimiento de segunda fase, al menos cerca de la posición de acoplamiento final, los objetivos 50 primarios pueden estar oscurecidos y/o inaccesibles. La eliminación de los objetivos 50 primarios puede reducir el exceso de partes en el montaje final de la aeronave, puede facilitar el acoplamiento del ala 14 y del fuselaje 16, y/o puede permitir la reutilización de los objetivos 50 primarios en otra estructura.

20 La figura 6 ilustra una posición 72 inicial de ejemplo o un punto 70 de ruta en la primera fase. En la posición ilustrada en la figura 6, el ala 14 está suficientemente lejos del fuselaje 16 de modo que el contacto entre las estructuras debido a pequeños movimientos es poco probable. Por ejemplo, la distancia entre la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala en la dirección y (hacia dentro-hacia fuera) puede ser más de 50 mm (aproximadamente 2 pulg.), más de 100 mm (aproximadamente 4 pulg.), más de 200 mm (aproximadamente 8 pulg.) o más de 500 mm (aproximadamente 20 pulg.).

25 El detalle de la figura 6 también muestra algunos ejemplos de ubicaciones de objetivos 50 primarios y objetivos 54 secundarios en el ala 14 y el fuselaje 16. Los objetivos 50 primarios están sobre o en la raíz 20 del ala o el adaptador 30 del ala respectivos. Al menos algunos de los objetivos 50 primarios estarán cubiertos por la superposición de la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala a medida que el ala 14 y el fuselaje 16 se acoplan. Los objetivos 54 secundarios están ubicados fuera de las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala respectivos, y pueden ubicarse fuera de la raíz 20 del ala o el adaptador 30 del ala respectivos. A medida que el ala 14 y el fuselaje 16 se acoplan, los objetivos 54 secundarios permanecerán visibles para facilitar la medición de las posiciones del ala 14 y/o el fuselaje 16 a medida que el ala 14 y el fuselaje 16 se acoplan (viajando a lo largo de la trayectoria de movimiento). La figura 7 ilustra el sistema de la figura 6 desde una perspectiva que permite la observación de parte del interior de la raíz 20 del ala.

35 La figura 8 ilustra ubicaciones de ejemplo adicionales de objetivos 50 primarios y objetivos 54 secundarios en el fuselaje 16. En la figura 8, dos objetivos 50 primarios se encuentran en el tabique del interior del adaptador 30 del ala y tres objetivos 50 primarios se encuentran a lo largo del borde del adaptador 30 del ala. Los objetivos 54 secundarios están ubicados en las estructuras del fuselaje 16 cerca del adaptador 30 del ala.

40 Cada uno de los objetivos 54 secundarios independientemente puede estar por encima, por debajo, hacia proa, hacia popa, hacia dentro y hacia fuera del adaptador 30 del ala.

45 La figura 9 ilustra ubicaciones de ejemplo adicionales de objetivos 50 primarios en el ala 14. En la figura 9, tres objetivos 50 primarios se encuentran a lo largo del borde de la raíz 20 del ala. La figura 10 ilustra ubicaciones de ejemplo adicionales de objetivos 54 secundarios en el ala 14. En la figura 10, los objetivos 54 secundarios están ubicados en la piel exterior del ala 14 en la parte inferior del ala 14. Cada uno de los objetivos 54 secundarios independientemente puede estar por encima, por debajo, hacia proa, hacia popa, hacia dentro y hacia fuera de la raíz 20 del ala.

50 La figura 11 ilustra un punto 70 de ruta que es una posición 74 intermedia. En la posición 74 intermedia que se muestra en la figura 11, el ala 14 y el fuselaje 16 están cerca o en el punto donde es posible el contacto entre el ala 14 y el fuselaje 16 debido a pequeños movimientos y/o a pequeñas desviaciones de la posición dada. Por ejemplo, la distancia entre la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala (por ejemplo, la distancia mínima entre la superficie 22 de interfaz de raíz del ala y la superficie 32 de interfaz de adaptador del ala en la dirección y (hacia dentro-hacia fuera) puede ser más de 5 mm (aproximadamente 0,2 pulg.), más de 10 mm (aproximadamente 0,4 pulg.), más de 20 mm (aproximadamente 0,8 pulg.), más de 50 mm (aproximadamente 2 pulg.), menos de 200 mm (aproximadamente 8 pulg.), menos de 100 mm (aproximadamente 4 pulg.) y/o menos de 50 mm (aproximadamente 2 pulg.).

55 La posición 74 intermedia puede representar un punto de ruta de transición entre la primera fase y la segunda fase de movimiento (es decir, la posición 74 intermedia de la figura 11 puede ser el punto de ruta final del movimiento 110 a

los puntos de ruta de primera fase y/o puede ser el punto de ruta inicial del movimiento 120 a los puntos de ruta de segunda fase). En la figura 11, algunos de los objetivos 50 primarios de la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala son visibles y algunos están oscurecidos. Los objetivos 54 secundarios asociados generalmente son visibles (solo un objetivo 54 secundario se muestra en la figura 11).

5 La figura 12 ilustra un punto 70 de ruta que es una posición 76 final. Los puntos de ruta asociados con la segunda fase del movimiento pueden incluir la posición 76 final. La figura 12 ilustra un ejemplo de posición 76 final en la segunda fase. En la posición ilustrada en la figura 12, el ala 14 está acoplada al fuselaje 16, y generalmente en contacto con el fuselaje 16, opcionalmente a través de cuñas. Cualquier espacio sin acuñar entre el ala 14 y el fuselaje 16 en la posición 76 final (es decir, los espacios entre las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala no rellenas con una cuña o los espacios entre la cuña y la superficie de interfaz asociada) pueden ser muy pequeños. Por ejemplo, los espacios pueden abarcar una distancia inferior a 1 mm (aproximadamente 0,04 pulg.), menos de 0,5 mm (aproximadamente 0,02 pulg.), menos de 0,2 mm (aproximadamente 0,008 pulg.), o menos de 0,1 mm (aproximadamente 0,004 pulg.).

15 Volviendo a los métodos 100 generales que se muestran en la figura 1, los métodos 100 pueden incluir etapas de acabado después de lograr la posición 76 final dentro de la tolerancia (por ejemplo, dentro de la tolerancia de error de segunda fase), tal como montar 190 el ala 14 en el fuselaje 16 y/o eliminar los objetivos 50 primarios y/o los objetivos 54 secundarios. El montaje 190 puede incluir la instalación de cuñas entre la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala y/o puede incluir la fijación del ala 14 y del fuselaje 16 entre sí.

20 La figura 13 ilustra cuñas 64 que se ajustan entre las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala. La figura 13 muestra, en sección transversal, la raíz 20 del ala y el adaptador 30 del ala ajustados entre sí con espacios entre las superficies de interfaz de la raíz 20 del ala y del adaptador 30 del ala. La alineación relativa del ala 14 y del fuselaje 16 puede afectar la presencia, la ubicación y/o el tamaño de los espacios. En la figura 13, las cuñas 64 están presentes en algunos de los espacios, relleno sustancialmente los espacios entre las superficies 22 de interfaz de raíz del ala y las superficies 32 de interfaz de adaptador del ala. Las cuñas 64 pueden fijar la alineación del ala 14 y del fuselaje 16, y/o pueden aumentar la integridad estructural de la unión del ala. Las cuñas 64 pueden ser sustancialmente prismáticas con un grosor correspondiente al tramo del espacio. Las cuñas 64 pueden estar contorneadas para adaptarse al espacio, conformándose sustancialmente a las superficies de interfaz locales. El grosor de una cuña 64 (y el tramo de un espacio) puede no ser uniforme y puede variar a lo largo de una dimensión perpendicular al grosor (y al tramo). Por consiguiente, los espacios y las cuñas 64 pueden tener forma de calzo, forma de lámina y/o forma de paralelepípedo.

35 Tal y como se utiliza en el presente documento, los términos "adaptado/a(s)" y "configurado/a(s)" significan que el elemento, el componente u otra materia objeto está diseñado para, y/o destinado a, realizar una función dada. Por lo tanto, el uso de los términos "adaptado/a(s)" y "configurado/a(s)" no debe interpretarse en el sentido de que un elemento, un componente u otra materia objeto dados es simplemente "capaz de" realizar una función dada, sino que el elemento, componente, y/u otra materia objeto está seleccionado, creado, implementado, utilizado, programado y/o diseñado específicamente con el fin de realizar la función. También está dentro del alcance de la presente divulgación que los elementos, los componentes y/u otra materia objeto enumerada que se haya enumerado como que está adaptado para realizar una función particular puede describirse adicional o alternativamente como que está configurado para realizar esa función y viceversa. De manera similar, la materia objeto que se haya enumerado como que está configurada para realizar una función particular puede describirse adicional o alternativamente como que se puede hacer funcionar para realizar esa función.

45 Tal y como se utiliza en el presente documento, la expresión, "por ejemplo", la expresión, "como ejemplo", y/o simplemente el término "ejemplo", cuando se utiliza con referencia a uno o más componentes, características, detalles, estructuras, realizaciones y/o métodos de acuerdo con la presente divulgación, pretenden transmitir que el componente, la característica, el detalle, la estructura, la realización, y/o el método descrito es ilustrativo, no exclusivamente un ejemplo de componentes, características, detalles, estructuras, realizaciones y/o métodos de acuerdo con la presente divulgación. Por lo tanto, el componente, la característica, el detalle, la estructura, la realización, y/o el método descrito no pretende ser limitante, requerido, o exclusivo/exhaustivo; y otros componentes, características, detalles, estructuras, realizaciones y/o métodos, incluyendo componentes, características, detalles, estructuras, realizaciones y/o métodos, incluyendo componentes, características, detalles, estructuras, realizaciones y/o métodos estructural y/o funcionalmente similares y/o equivalentes, también están dentro del alcance de la presente divulgación.

55 Tal y como se utiliza en el presente documento, las expresiones "al menos uno/a de" y "uno/a o más de", en referencia a una lista de más de una entidad, significan una cualquiera o más de las entidades en la lista de entidades, y no están limitadas a al menos una de todas y cada una de las entidades específicamente incluidas en la lista de entidades. Por ejemplo, "al menos uno/a de A y B" (o, equivalentemente, "al menos uno/a de A o B", o, equivalentemente, "al menos uno/a de A y/o B") puede referirse a A solo, B solo, o la combinación de A y B.

Tal y como se utiliza en el presente documento, las formas en singular "un", "una" y "el/la" también pueden incluir las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

REIVINDICACIONES

1. Un método (100) de unión ala-fuselaje para una aeronave (12), comprendiendo el método:

(a) calcular (180) un ajuste virtual entre un conjunto (14) de ala y un conjunto (16) de fuselaje de la aeronave (12);
y

5 b) medir un perfil 3D de una superficie (22) de interfaz de raíz del ala del conjunto (14) de ala, medir un perfil 3D de una superficie (32) de interfaz de adaptador del ala del conjunto (16) de fuselaje, y en donde el cálculo (180) del ajuste virtual incluye calcular el ajuste virtual basado en el perfil 3D de la superficie de interfaz de raíz del ala y el perfil 3D de la superficie de interfaz del adaptador del ala;

10 c) controlar (114) un sistema (58) de posicionamiento de ala para mover el conjunto (14) de ala de la aeronave (12) a un primer punto (70) de ruta a lo largo de una trayectoria de movimiento del conjunto (14) de ala entre una posición separada y una posición de acoplamiento, en donde la posición de acoplamiento se define por el ajuste virtual, y en donde la trayectoria de movimiento está basada en las formas conforme a obra reales del conjunto (14) de ala y del conjunto (16) de fuselaje, en donde las formas reales se modelan realizando (d) una exploración 3D después del control (c),

15 repetir de manera iterativa:

(i) determinar (152) una primera posición del conjunto (14) de ala midiendo automáticamente ubicaciones tridimensionales de una pluralidad de objetivos (50, 54) de ala en el conjunto (14) de ala,

(ii) calcular (154) una primera diferencia (Δ_1) entre la primera posición y el primer punto (70) de ruta, y

20 (iii) controlar (150) el sistema de posicionamiento de ala para mover el conjunto (14) de ala para reducir una magnitud de la primera diferencia (Δ_1), siempre que la magnitud de la primera diferencia (Δ_1) sea mayor que una tolerancia de error (T_1),

en donde la repetición (d) de manera iterativa incluye la repetición hasta que la magnitud de la primera diferencia (Δ_1) sea menor o igual que la tolerancia de error (T_1);

25 (e) después de la repetición (d) de manera iterativa, controlar (150) el sistema (58) de posicionamiento de ala para mover el conjunto (14) de ala a un segundo punto (70) de ruta a lo largo de la trayectoria de movimiento, en donde el segundo punto (70) de ruta está más cerca de la posición de acoplamiento que el primer punto (70) de ruta;

(f) después del control (c), repetir de manera iterativa:

(i) determinar (152) una segunda posición del conjunto (14) de ala midiendo automáticamente ubicaciones tridimensionales de la pluralidad de objetivos (50, 54) de ala en el conjunto (14) de ala,

30 (ii) calcular (154) una segunda diferencia (Δ_1) entre la segunda posición y el segundo punto (70) de ruta, y

(iii) controlar (150) el sistema (58) de posicionamiento de ala para mover el conjunto (14) de ala para reducir una magnitud de la segunda diferencia (Δ_1), siempre que la magnitud de la segunda diferencia (Δ_1) sea mayor que la tolerancia de error (T_1),

35 en donde la repetición (f) de manera iterativa incluye la repetición hasta que la magnitud de la segunda diferencia (Δ_1) sea menor o igual que la tolerancia de error (T_1).

2. El método (100) de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de objetivos de ala son objetivos (54) de ala secundarios, en donde los objetivos de ala secundarios están en ubicaciones relativas predeterminadas con respecto a una pluralidad de objetivos (50) de ala primarios que se instalaron (136) en el conjunto (14) de ala en ubicaciones conocidas con respecto a una superficie (22) de interfaz de raíz del ala del conjunto de ala.

40 3. El método (100) de la reivindicación 2, que comprende además instalar (136) los objetivos (50) de ala primarios en el conjunto (14) de ala en ubicaciones de objetivos de ala primarios en relación con la superficie (22) de interfaz de raíz del ala, en donde cada una de las ubicaciones de objetivos de ala primarios independientemente es una ubicación conocida determinada midiendo (138) la ubicación de objetivos de ala primarios de un objetivo de ala primario respectivo en relación con la superficie de interfaz de raíz del ala.

45 4. El método (100) de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, que comprende además instalar (140) los objetivos (54) de ala secundarios en el conjunto (14) de ala en ubicaciones de objetivos de ala secundarios en relación con las ubicaciones conocidas de los objetivos (50) de ala primarios.

5. El método (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además determinar la trayectoria de movimiento del conjunto (14) de ala en relación con el conjunto (16) de fuselaje de la aeronave (12).

50 6. El método (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la trayectoria de movimiento incluye una serie de puntos (70) de ruta entre la posición separada y la posición de acoplamiento, y en donde los espaciados entre puntos de ruta secuenciales forman una serie decreciente de espaciados.

7. El método (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además formar (182)

cuñas (64) para ajustar entre una raíz (20) del ala del conjunto (14) de ala y un adaptador (30) del ala del conjunto (16) de fuselaje de la aeronave (12), y que además comprende instalar cuñas en al menos uno de la raíz del ala y del adaptador del ala antes de la repetición (b) de manera iterativa.

5 8. El método (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además un movimiento (122) de segunda fase que comprende:

(g) después de la repetición (f) de manera iterativa, controlar (160) el sistema (58) de posicionamiento de ala para mover el conjunto (14) de ala a un tercer punto (70) de ruta a lo largo de la trayectoria de movimiento, en donde el tercer punto de ruta está más cerca de la posición de acoplamiento que el segundo punto de ruta, en donde el tercer punto de ruta se selecciona para ubicar el conjunto (14) de ala y el conjunto (16) de fuselaje de la aeronave (12) en una posición relativa de segunda fase;
 10 (h) después del control (e), repetir de manera iterativa:

(i) determinar (162) una posición de segunda fase del conjunto (14) de ala midiendo automáticamente ubicaciones tridimensionales de la pluralidad de objetivos (50, 54) de ala en el conjunto de ala,
 15 (ii) determinar (164) una posición de segunda fase del conjunto (16) de fuselaje midiendo automáticamente ubicaciones tridimensionales de una pluralidad de objetivos (50, 54) de fuselaje en el conjunto (16) de fuselaje,
 (iii) calcular (166) una posición relativa real basada en una diferencia entre la posición de segunda fase del conjunto (14) de ala y la posición de segunda fase del conjunto (16) de fuselaje,
 (iv) calcular (168) una tercera diferencia (Δ_2) entre la posición relativa real y la posición relativa de segunda fase, y
 20 (v) controlar (160) el sistema (58) de posicionamiento de ala para mover el conjunto (14) de ala para reducir una magnitud de la tercera diferencia (Δ_2), siempre que la magnitud de la tercera diferencia (Δ_2) sea mayor que una tolerancia de error de segunda fase (T_2), en donde la repetición (h) de manera iterativa incluye la repetición hasta que la magnitud de la tercera diferencia (Δ_2) sea menor o igual que la tolerancia de error de segunda fase (T_2).

25 9. Un método de unión ala-fuselaje para unir un conjunto (14) de ala de babor y un conjunto (14) de ala de estribor a un conjunto (16) de fuselaje de una aeronave (12), comprendiendo el método:

(a) realizar el método (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 con el conjunto de ala de babor; y
 (b) realizar el método (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 con el conjunto de ala de estribor; en donde realizar (a) es al menos parcialmente concurrente con realizar (b).

30 10. El método (100) de la reivindicación 9, en donde la pluralidad de objetivos de ala son objetivos (54) de ala secundarios, en donde los objetivos de ala secundarios están en ubicaciones relativas predeterminadas con respecto a una pluralidad de objetivos (50) de ala primarios instalados en el conjunto (14) de ala en ubicaciones conocidas con respecto a una superficie (22) de interfaz de raíz del ala del conjunto de ala, en donde la pluralidad de objetivos de fuselaje son objetivos (54) de fuselaje secundarios, en donde los objetivos de fuselaje secundarios están en
 35 ubicaciones relativas predeterminadas con respecto a una pluralidad de objetivos (50) de fuselaje primarios instalados en el conjunto (16) de fuselaje en ubicaciones conocidas con respecto a una superficie (32) de interfaz de adaptador del ala del conjunto de fuselaje.

40 11. El método (100) de acuerdo con la reivindicación 8 o 10, en donde el método comprende realizar un movimiento hacia el lado de babor para una serie de puntos de ruta de babor a lo largo de una trayectoria de movimiento hacia el lado de babor de un conjunto (14) de ala de babor a un lado de babor del conjunto (16) de fuselaje, y realizar un movimiento hacia el lado de estribor para una serie de puntos de ruta de estribor a lo largo de una trayectoria de movimiento hacia el lado de estribor de un conjunto (14) de ala de estribor a un lado de estribor del conjunto de fuselaje.

45 12. El método (100) de la reivindicación 11, en donde la serie de puntos de ruta de babor incluye un punto (76) de ruta de babor final en el que el conjunto (14) de ala de babor está acoplado al lado de babor del conjunto (16) de fuselaje, y en donde la serie de puntos de ruta de estribor incluye un punto (76) de ruta de estribor final en el que el conjunto (14) de ala de estribor está acoplado al lado de estribor del conjunto de fuselaje.

50 13. El método (100) de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, que comprende además calcular (180) un ajuste virtual hacia el lado de babor entre el conjunto (14) de ala de babor y el lado de babor del conjunto (16) de fuselaje, y calcular (180) un ajuste virtual hacia el lado de estribor entre el conjunto (14) de ala de estribor y el lado de estribor del conjunto de fuselaje, en donde el punto de ruta de babor corresponde al ajuste virtual hacia el lado de babor y el punto de ruta de estribor corresponde al ajuste virtual hacia el lado de estribor.

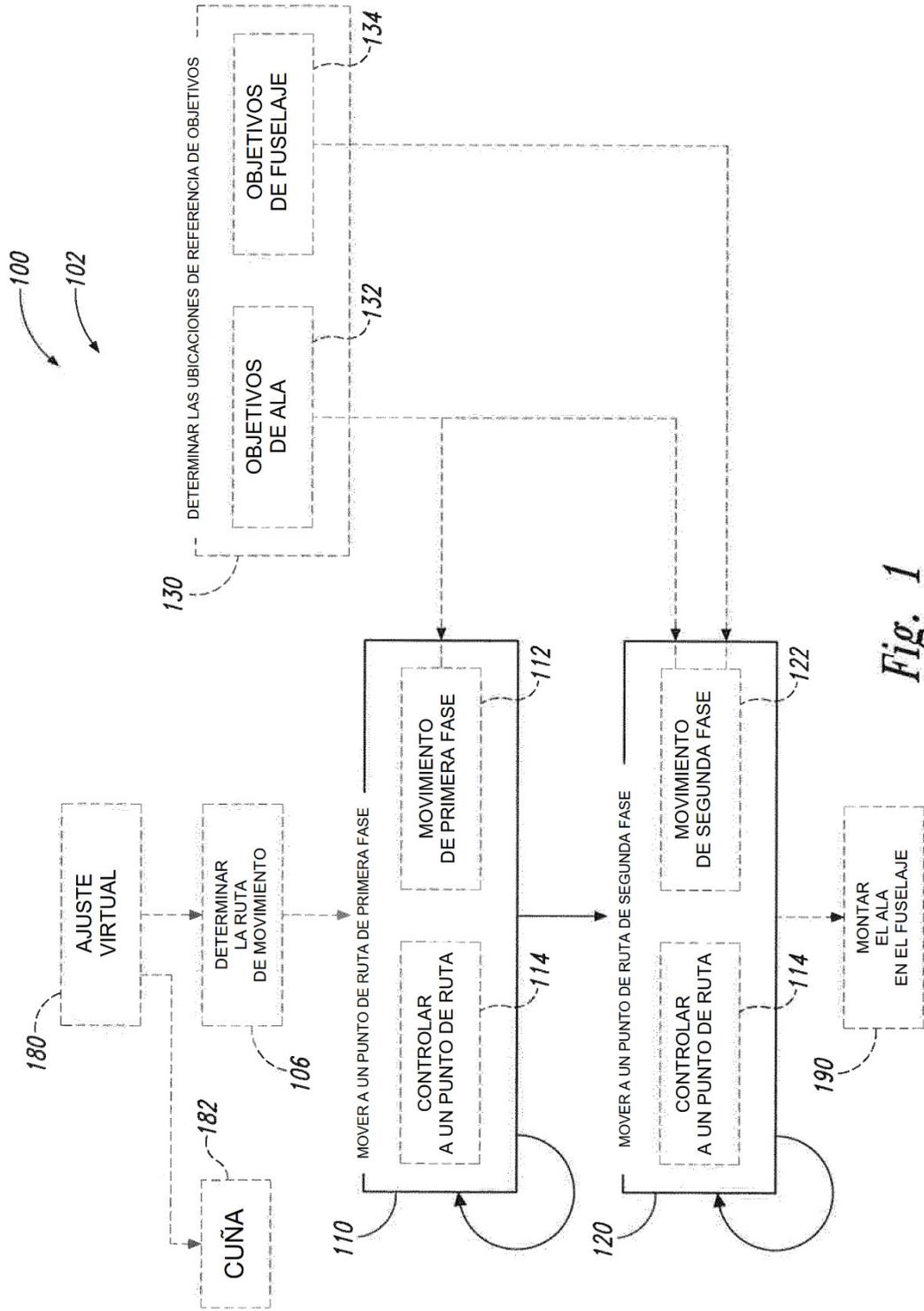


Fig. 1

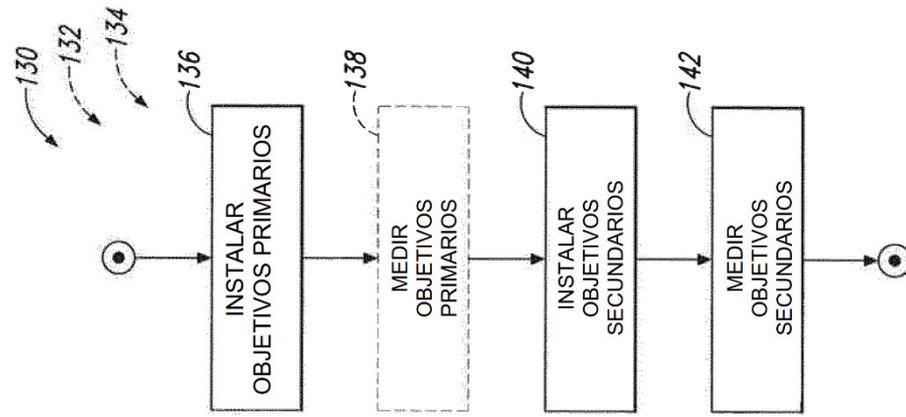


Fig. 4

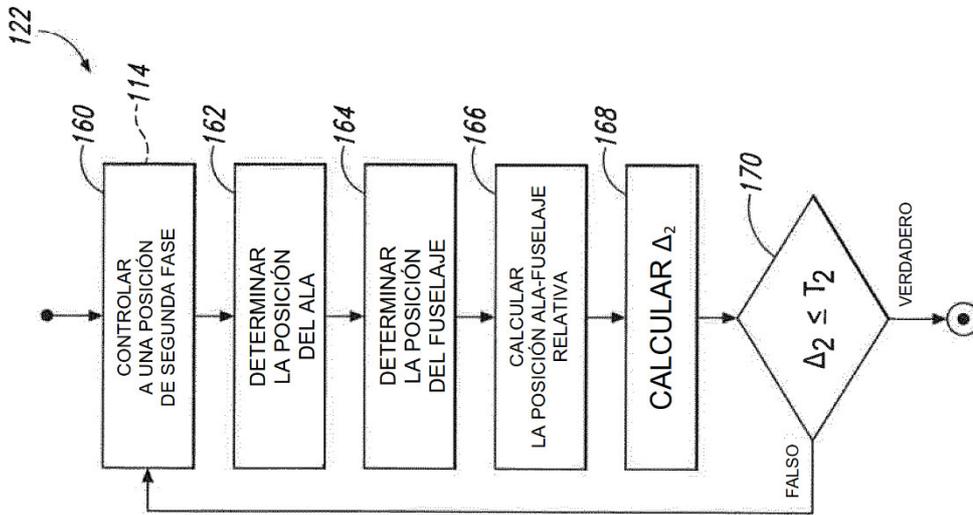


Fig. 3

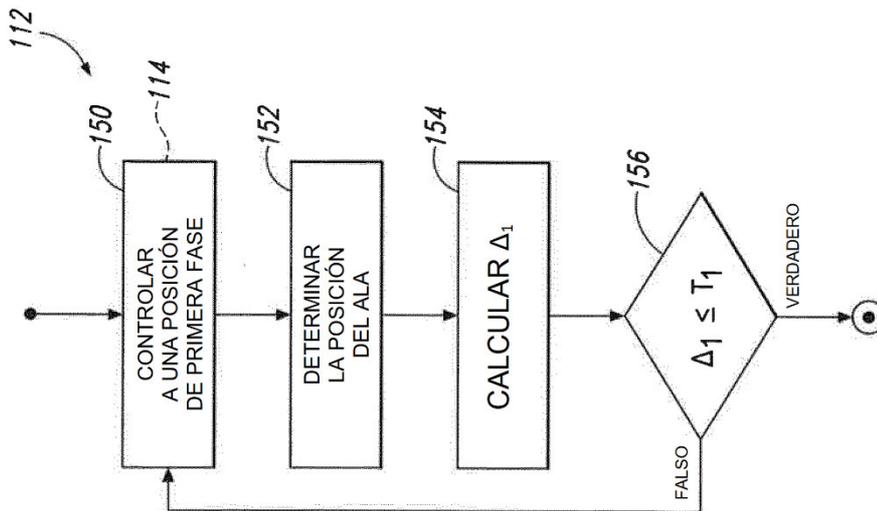


Fig. 2

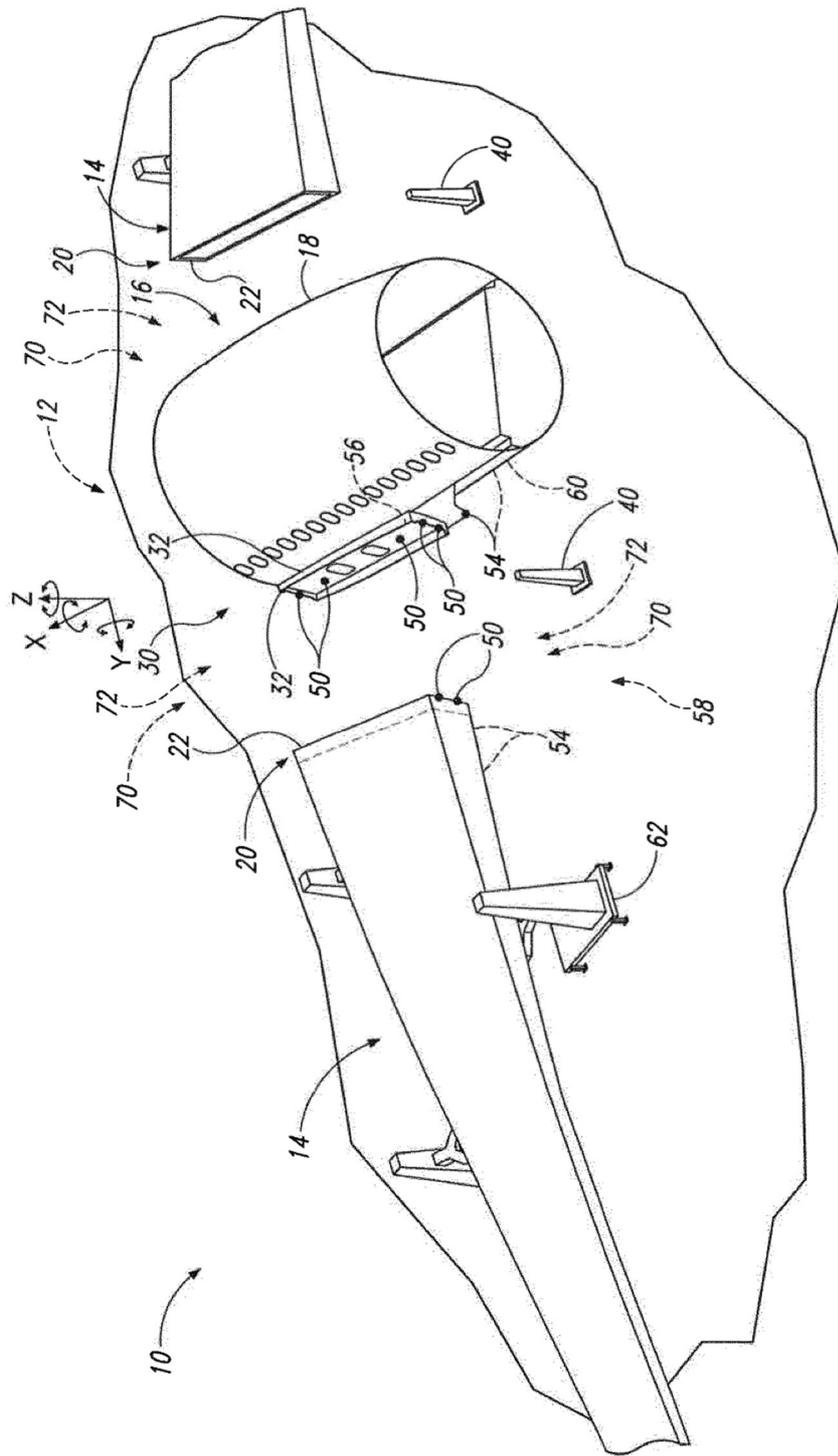


Fig. 5

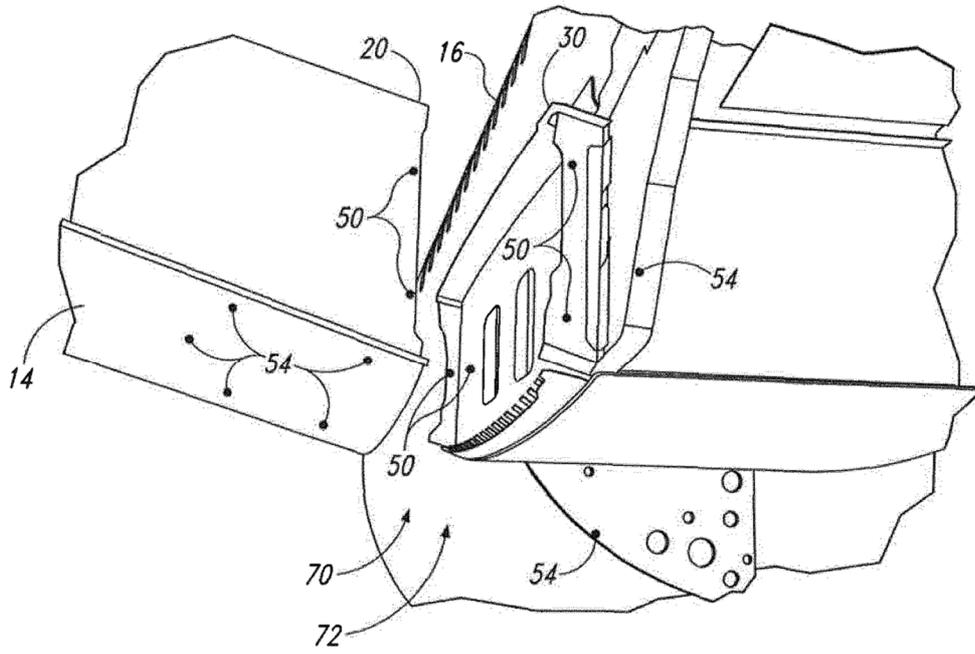


Fig. 6

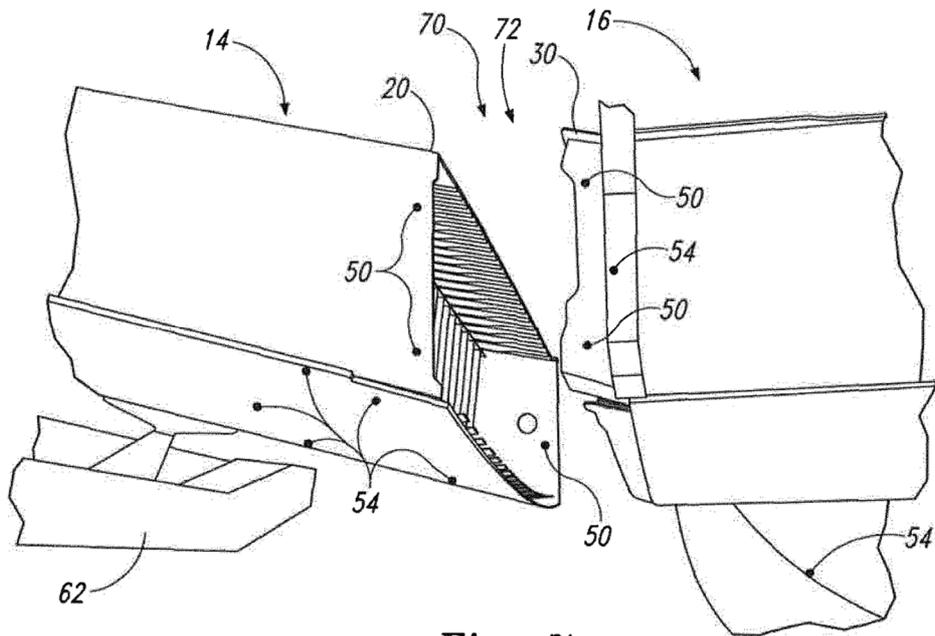


Fig. 7

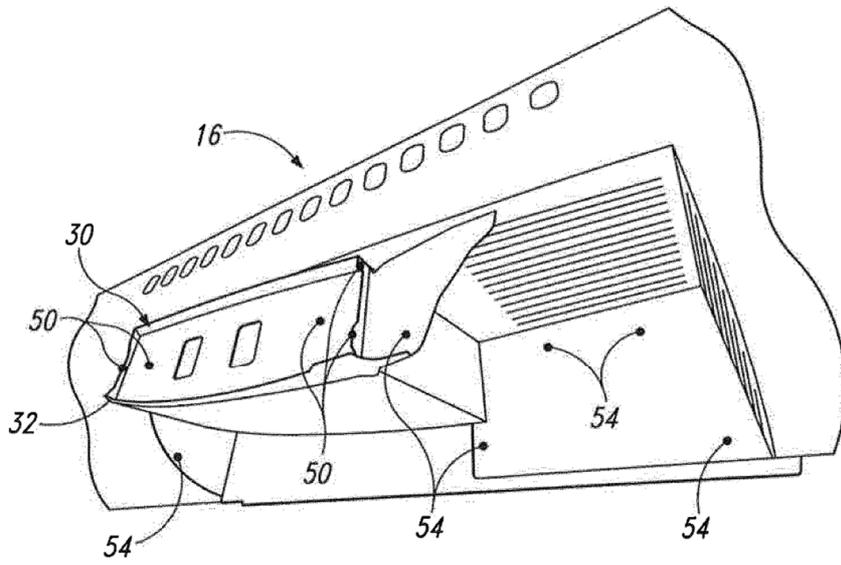


Fig. 8

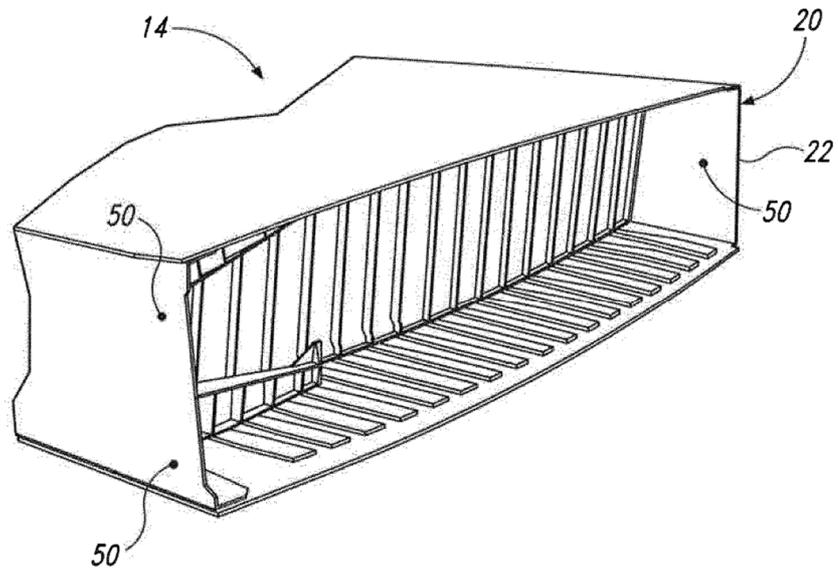


Fig. 9

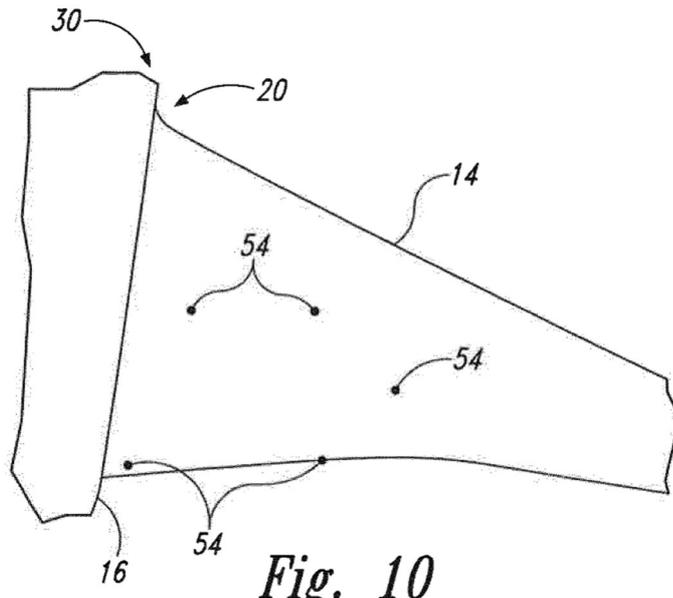


Fig. 10

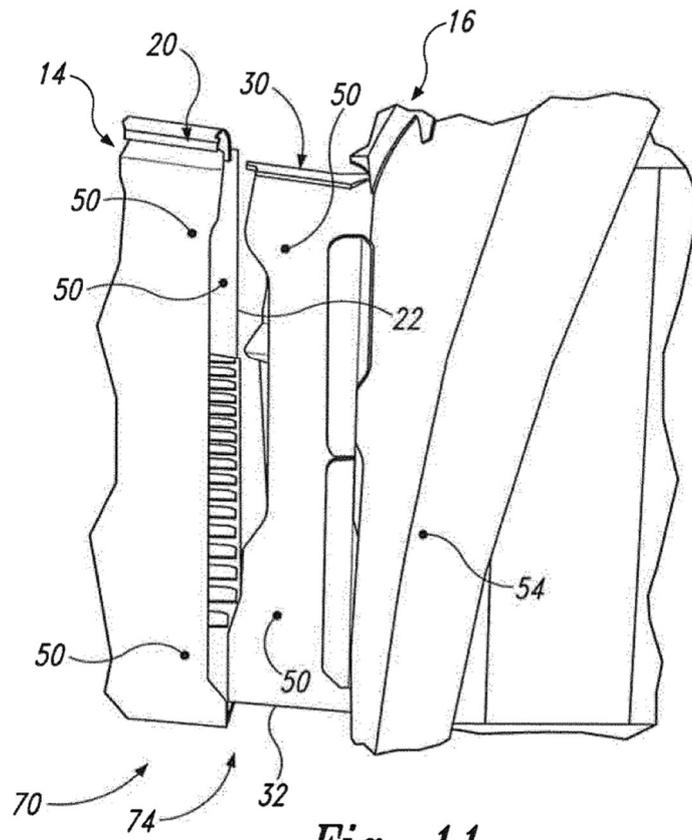


Fig. 11

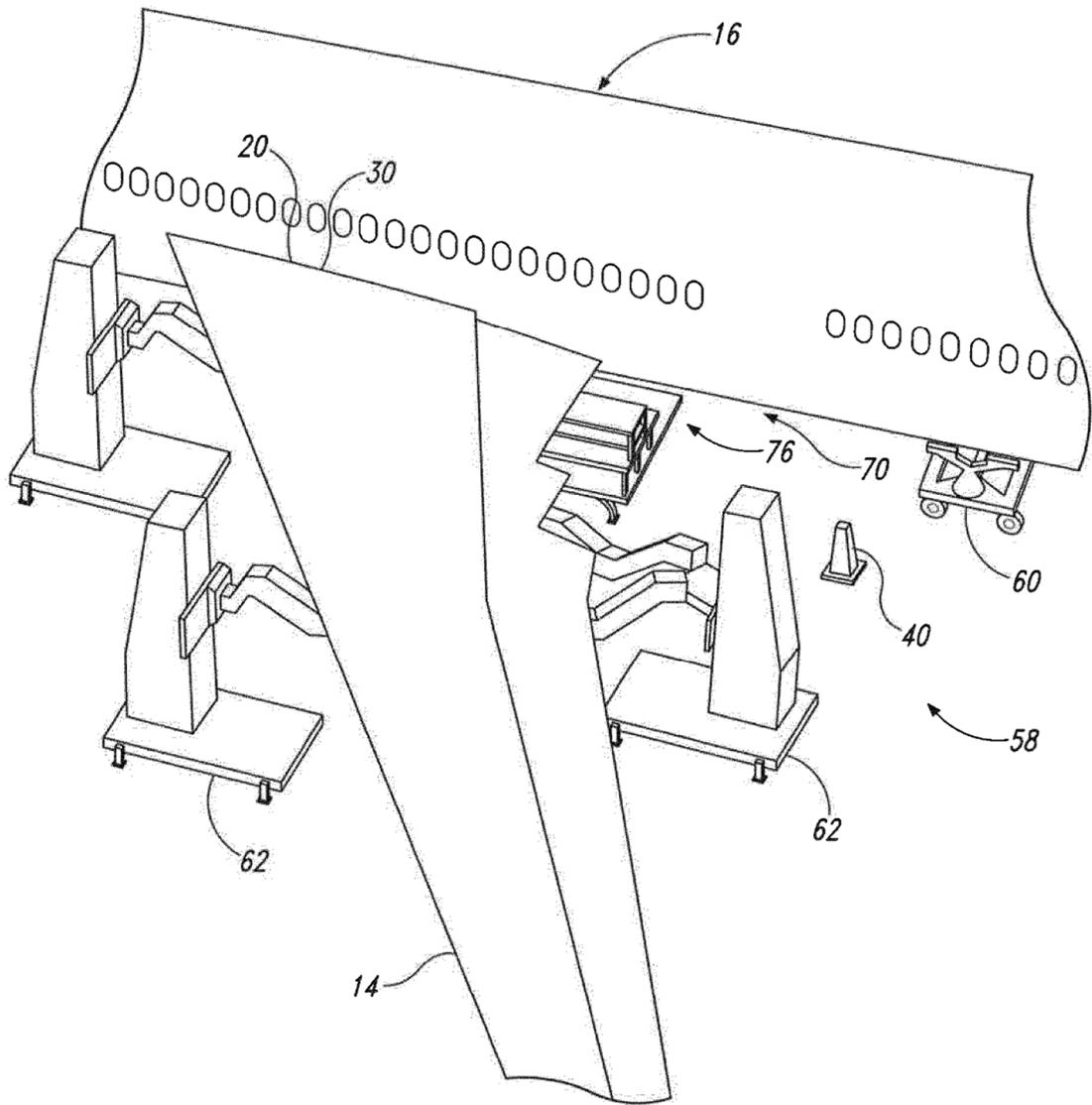


Fig. 12

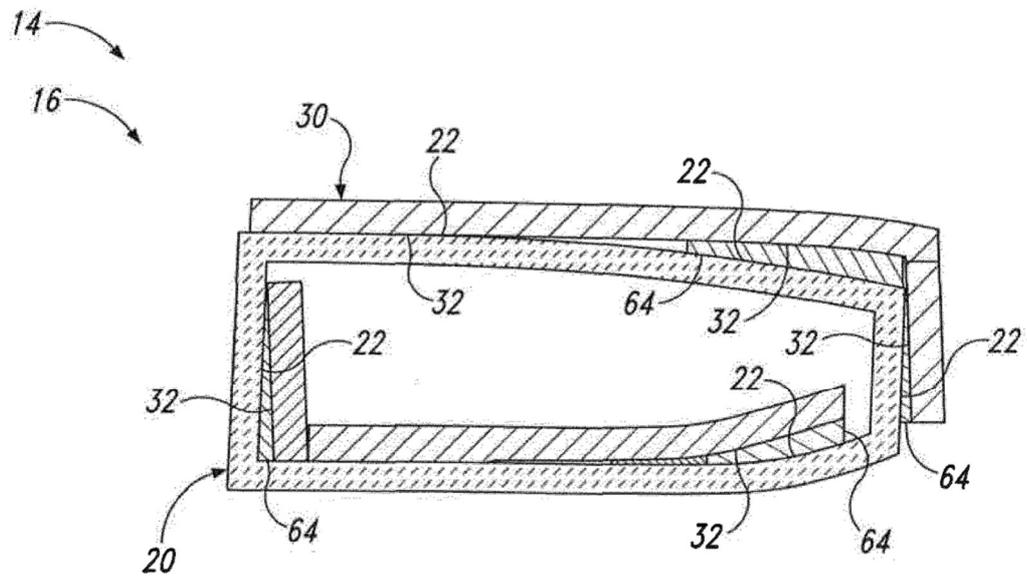


Fig. 13