

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 392**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/38** (2006.01)

**G05B 19/4093** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2006** **E 06256532 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019** **EP 1801679**

54 Título: **Método de postprocesador de máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples y aparato para fabricar estructuras compuestas**

30 Prioridad:

**22.12.2005 US 313622**

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

**03.06.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HAGEN, ALLEN B.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 764 392 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Método de postprocesador de máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples y aparato para fabricar estructuras compuestas

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a la fabricación de piezas compuestas. Más particularmente, la presente invención se refiere a la producción de programas de piezas para máquinas de colocación de fibras y laminado de cintas compuestas de múltiples cabezales, controladas por ordenador.

Antecedentes de la invención

15 Cada vez más se han utilizado materiales compuestos en una variedad de industrias, incluidas las industrias automotriz, marina y aeroespacial. En algunos casos, las piezas compuestas se pueden formar utilizando máquinas automáticas de aplicación de material compuesto, como máquinas de laminación de cinta compuesta o máquinas de colocación de fibra compuesta.

20 Algunas máquinas de aplicación de material compuesto existentes, por ejemplo, una máquina de laminación de cinta plana (FTLM) o una máquina de laminación de cinta contorneada (CTLM), pueden ser capaces de producir piezas compuestas planas o suavemente contorneadas colocando tiras relativamente anchas de cinta compuesta sobre superficies de herramientas generalmente horizontales o verticales, como un mandril. Otras máquinas de aplicación de material compuesto existentes, por ejemplo, una máquina de colocación automática de fibra (AFP), pueden ser capaces de producir piezas compuestas generalmente cilíndricas o tubulares envolviendo tiras relativamente estrechas de cinta compuesta o estopas, alrededor de una herramienta de fabricación giratoria, como un mandril.

25 En general, las máquinas de aplicación de material compuesto automatizadas existentes tienen un solo cabezal de aplicación de material compuesto. En consecuencia, los sistemas de programación de máquinas de aplicación de material compuesto existentes generalmente son capaces de producir un programa de control numérico por ordenador (CNC) o de control numérico (NC) diseñado para controlar una sola máquina de aplicación de material compuesto que tiene un solo cabezal de aplicación de material compuesto.

35 Para producir de manera más eficiente piezas compuestas relativamente grandes, incluidas secciones de fuselaje de aeronaves, se ha concebido una máquina de aplicación de materiales compuestos de alta velocidad y cabezales múltiples. Tal como se concibió, la máquina de aplicación de material compuesto multicabezal debería ser capaz de fabricar una amplia variedad de piezas compuestas, como largueros planos, cargas de viga, revestimientos de ala y secciones de cilindro de fuselaje, así como piezas compuestas en otras industrias, como la automotriz, Industrias marinas, vehículos industriales y estructuras arquitectónicas prefabricadas.

40 Sin embargo, los sistemas existentes de programación de piezas compuestas no tienen la capacidad de programar eficientemente una máquina de aplicación de material compuesto con múltiples cabezales de aplicación de material compuesto para formar una variedad de piezas compuestas. Por consiguiente, es deseable proporcionar un método y un aparato que puedan producir eficientemente un programa de piezas compuestas para una máquina de aplicación de material compuesto de alta velocidad con múltiples cabezales de aplicación de materiales compuestos para formar una variedad de piezas compuestas sin requerir una programación manual excesiva.

El documento US4696707 divulga un método de colocación de cinta y un aparato para producir artículos laminados a partir de cinta compuesta.

50 El documento US2005/0039843A1 divulga un dispositivo de fabricación de piezas de aeronaves para la laminación de composición automatizada sobre una superficie de mandril.

Resumen de la invención

55 Las necesidades anteriores se satisfacen, en gran medida, por la presente invención, en la que, en un aspecto, se proporciona un aparato que en algunas realizaciones puede producir eficientemente un programa de piezas compuestas para una máquina de aplicación de material compuesto de alta velocidad con múltiples cabezales de aplicación de materiales compuestos para formar una variedad de piezas compuestas.

60 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, un método implementado por ordenador para producir un programa para operar una máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales puede incluir: recibir una pluralidad de definiciones de trayectoria asignadas a una pluralidad de cabezales de aplicación de material compuesto asociados con un carro de herramientas en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, la pluralidad de definiciones de trayectoria incluyen una primera definición de trayectoria asignada a un primer cabezal de aplicación de material compuesto en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezas; determinar una trayectoria mediana en relación con la pluralidad de definiciones de trayectoria; definir una

configuración de constelación basada en la trayectoria mediana; asignar el primer cabezal de aplicación de material compuesto a una primera posición de constelación en respuesta a la determinación de la configuración de constelación; y calcular una pluralidad de primeras soluciones de posición del eje de la máquina basadas al menos en parte en la primera definición de trayectoria para controlar el primer cabezal de aplicación de material compuesto. El método también puede incluir agregar un perfil para iniciar un mecanismo de alimentación de material compuesto y acelerar la velocidad de alimentación de material compuesto para que coincida con la velocidad de la superficie de pieza compuesta en relación con los cabezales de aplicación de material y escribir un archivo de datos de salida de control numérico de ordenador basado en menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, un producto de programa de ordenador para programar una máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, que incluye un medio legible por ordenador codificado con instrucciones configuradas para ser ejecutadas por un procesador para realizar operaciones predeterminadas que pueden incluir: recibir una pluralidad de definiciones de trayectoria asignadas a una pluralidad de cabezales de aplicación de material compuesto asociados con un carro de herramientas en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, la pluralidad de definiciones de trayectoria incluyen una primera definición de trayectoria asignada a un primer cabezal de aplicación de material compuesto en el máquina de aplicación de material compuesto multicabezal; determinar una trayectoria mediana en relación con la pluralidad de definiciones de trayectoria; definir una configuración de constelación basada en la trayectoria mediana; asignar el primer cabezal de aplicación de material compuesto a una primera posición de constelación en respuesta a la determinación de la configuración de constelación; y calcular una pluralidad de primeras soluciones de posición del eje de la máquina basadas al menos en parte en la primera definición de trayectoria para controlar el primer cabezal de aplicación de material compuesto. Las operaciones predeterminadas también pueden incluir agregar un perfil para iniciar un mecanismo de alimentación de material compuesto y acelerar la velocidad de alimentación de material compuesto para que coincida con la velocidad de la superficie de pieza compuesta en relación con los cabezales de aplicación de material y escribir un archivo de datos de salida de control numérico de ordenador basado al menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina.

De acuerdo aún con otro aspecto de la presente invención, un postprocesador de programa de pieza compuesta para producir un programa para operar una máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales puede incluir un receptor de definición configurado para recibir una pluralidad de definiciones de trayectoria asignadas a una pluralidad de cabezales de aplicación de material compuesto asociados con un carro de herramientas en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, la pluralidad de definiciones de trayectoria que incluyen una primera definición de trayectoria asignada a un primer cabezal de aplicación de material compuesto en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezas y un ordenador de solución de eje de máquina configurada por ordenador para calcular una pluralidad de soluciones de posición del primer eje de la máquina basadas al menos en parte en la primera definición de trayectoria para controlar el primer cabezal de aplicación de material compuesto. El postprocesador también puede agregar un perfil para iniciar un mecanismo de alimentación de material compuesto y acelerar la velocidad de alimentación de material compuesto para que coincida con la velocidad de la superficie de pieza compuesta en relación con los cabezales de aplicación de material e incluir un compositor de archivos de salida configurado para escribir un archivo de datos de salida de control numérico de ordenador basado al menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina.

Por lo tanto, se han esbozado, de manera bastante amplia, ciertas realizaciones de la invención para que la descripción detallada de la misma en el presente documento pueda entenderse mejor, y para que la presente contribución a la técnica pueda apreciarse mejor. Por supuesto, hay realizaciones adicionales de la invención que se describirán a continuación y que formarán el objeto de las reivindicaciones adjuntas a la misma.

A este respecto, antes de explicar al menos una realización de la invención en detalle, debe entenderse que la invención no está limitada en su aplicación a los detalles de construcción y a las disposiciones de los componentes establecidos en la siguiente descripción a continuación o ilustrada en los dibujos. La invención es capaz de realizaciones además de las descritas y de ser practicada y llevada a cabo de varias maneras. Además, debe entenderse que la fraseología y la terminología empleadas en este documento, así como el resumen, tienen el propósito de descripción y no deben considerarse como limitantes.

Como tal, los expertos en la materia apreciarán que la concepción en la que se basa esta divulgación puede utilizarse fácilmente como base para el diseño de otras estructuras, métodos y sistemas para llevar a cabo los diversos propósitos de la presente invención que todavía están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

#### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra un postprocesador de programa de piezas compuestas de un tipo adecuado para llevar a cabo las funciones de una realización de la invención.

La figura 2 es una vista en perspectiva que ilustra una gran pieza compuesta generalmente cilíndrica que muestra trayectorias de aplicación de material compuesto designadas y recorridos de cinta que pueden programarse mediante una realización preferida de la invención.

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra los pasos que se pueden seguir para producir un programa de piezas compuestas de acuerdo con una realización del método o proceso.

5 Descripción detallada

Una realización de acuerdo con la presente invención proporciona un postprocesador de programa de parte compuesto que puede usarse, por ejemplo, en combinación con o como un componente de un generador de programa de parte compuesto, tal como el generador de programa de parte compuesto descrito en Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. de Serie 11/269,905, titulada "Multihead Composite Material Application Machine Programming Method and Apparatus for Manufacturing Composite Structures", presentada por Hagen et al. el 9 de noviembre de 2005.

El postprocesador del programa de piezas compuestas es capaz de producir programas de piezas compuestas para una amplia variedad de piezas compuestas grandes y complejas, que incluyen piezas compuestas relativamente planas, contorneadas o generalmente cilíndricas. Este método de programación puede reducir la mano de obra requerida para producir un programa de piezas compuestas para una máquina de aplicación de materiales compuestos de múltiples cabezales en un orden de magnitud con respecto a los métodos de programación automatizados manuales o existentes.

El postprocesador del programa de piezas compuestas puede producir, por ejemplo, programas de piezas compuestas para usar con máquinas de aplicación de materiales compuestos de control numérico por ordenador (CNC) que tienen un solo cabezal de aplicación de materiales compuestos, tales como máquinas existentes de colocación de cintas compuestas y máquinas automatizadas de colocación de fibra. Además, el postprocesador del programa de piezas compuestas puede producir programas de piezas compuestas para su uso con máquinas de aplicación de materiales compuestos CNC de cabezales múltiples, así como equipos de fabricación de materiales compuestos de máquinas múltiples.

El postprocesador del programa de piezas compuestas puede incluir un receptor de definición, un delineador de trayectoria, un perfilador de aproximación y salida, un ordenador de solución de eje de máquina y un compositor de archivos de salida. El receptor de definición puede recibir definiciones de trayectoria de aplicación de material compuesto, por ejemplo, de un generador de programa de pieza compuesta. Además, el delineador de trayectorias puede delinear el carro de herramientas y las trayectorias de herramientas de fabricación para la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales. Además, el perfilador de aproximación y salida puede agregar perfiles de aproximación y salida a las trayectorias, y el ordenador de posición del eje de la máquina puede calcular las posiciones del eje de la máquina para controlar la máquina de aplicación de material compuesto y guiar los cabezales de aplicación de material compuesto a lo largo de las trayectorias. El compositor de archivos de salida puede componer un programa de piezas compuestas CNC.

El postprocesador de piezas compuestas puede producir programas de piezas compuestas para controlar un mayor número de ejes de máquina que el permitido por el tamaño máximo del grupo de interpolación de algunos controladores CNC existentes. Por ejemplo, algunos métodos de programación compuesta existentes se limitan a un cabezal de aplicación de material compuesto, mientras que el método divulgado en este documento se ha demostrado en configuraciones de cuatro y ocho cabezales que tienen hasta 50 ejes de máquina en un carro de herramientas móvil común y una herramienta correspondiente de fabricación giratoria. Además, este método se puede escalar para usar con máquinas que tienen al menos dieciséis cabezales de suministro o sistemas que tienen al menos dieciséis máquinas de un solo cabezal.

La invención se describirá ahora con referencia a las figuras del dibujo, en las que los números de referencia similares se refieren a partes similares en todas partes. Una realización de acuerdo con la presente invención proporciona un postprocesador de programa de piezas compuestas para producir un programa de piezas compuestas que puede controlar una máquina de aplicación de material compuesto de un cabezal o cabezal múltiple. La figura 1 ilustra una realización representativa de un postprocesador 10 de programa de pieza compuesta, que incluye un procesador 12, una memoria 14, un receptor 16 de definición, un delineador 18 de trayectoria, un perfilador 20 de aproximación y salida, un ordenador 22 de solución de eje de máquina, un compositor 24 de archivos de salida y un dispositivo 26 de entrada/salida (E/S), todos los cuales están interconectados por un enlace 27 de datos.

El procesador 12, la memoria 14 y el dispositivo 26 de entrada/salida pueden formar parte de un ordenador general, como un ordenador personal (PC), una estación de trabajo UNIX, un servidor, un ordenador central, un asistente digital personal (PDA), o alguna combinación de estos. Los componentes restantes pueden incluir código de programación, como código fuente, código objeto o código ejecutable, almacenado en un medio legible por ordenador que puede cargarse en la memoria 14 y procesarse por el procesador 12 para realizar las funciones deseadas del postprocesador 10 de programa de pieza compuesta.

El postprocesador 10 puede recibir además definiciones de trayectoria que los cabezales de aplicación de material compuesto pueden seguir para aplicar el material compuesto sobre la superficie de la herramienta de fabricación, o sobre una superficie de capa previa, para formar la pieza compuesta. Las definiciones de trayectoria se pueden recibir,

por ejemplo, de un generador de trayectoria o gestor de cabezal de curso de un generador de programa de piezas compuestas que define las trayectorias y asigna las trayectorias a los cabezales de aplicación de material compuesto individuales de un tipo específico de máquina de aplicación de material compuesto.

5 Por ejemplo, la figura 2 ilustra una herramienta 28 de fabricación, o mandril, para una pieza compuesta grande, generalmente cilíndrica, con ocho trayectorias 30 representativas de aplicación de material compuesto designados en una dirección generalmente horizontal a través de la superficie de la herramienta 28 de fabricación. La figura 2 ilustra además un primer límite 32 de capa y un segundo límite 34 de capa. Ocho segmentos contiguos de material compuesto, en este caso recorridos 36 de cinta, que corresponden a las trayectorias 30 de aplicación de material compuesto, están delineados dentro del primer límite 32 de capa. Del mismo modo, siete los recorridos 38 de cinta compuesta contiguos están delineados dentro del segundo límite 34 de capa, que incluye un curso 40 de cinta no estándar que tiene un ancho que es sustancialmente menor que la distancia entre cada uno de los pares adyacentes de trayectorias 30, o el ancho nominal de cinta compuesta.

15 Como ejemplo, una máquina de colocación de cinta compuesta puede tener uno o más cabezales de aplicación de material compuesto unidos a un carro de herramientas y configurados para aplicar cinta compuesta que tenga un ancho estándar o nominal de tres pulgadas, seis pulgadas o cualquier otro ancho adecuado. La máquina de colocación de cinta compuesta puede incluir además un cabezal de aplicación de material compuesto que aplica una tira o múltiples tiras de cinta compuesta que tienen un ancho no estándar. Por ejemplo, una máquina representativa de colocación de cinta compuesta de múltiples cabezales puede incluir uno o más cabezales estándar que apliquen tiras de cinta compuesta de tres pulgadas de ancho, así como uno o más cabezales especializados que apliquen tiras de cinta compuesta de ancho no estándar, como tiras de un octavo de pulgada o un cuarto de pulgada de ancho, o "estopas". Además, un cabezal especializado puede tener la capacidad de aplicar múltiples tiras no estándar hasta un ancho agregado igual al ancho nominal de la cinta, por ejemplo, hasta veinticuatro estopas de cinta compuesta de un octavo de pulgada en una máquina que tiene un ancho de cinta nominal estándar de tres pulgadas.

Aunque las trayectorias 30 de aplicación de material compuesto y los recorridos 36, 38 de cinta mostrados en la figura 2 son generalmente horizontales o paralelos al eje de la herramienta 28 de fabricación (para referencia en este ejemplo, la orientación de fibra de cero grados), las capas adicionales pueden tener otras orientaciones de fibra, como noventa grados o cuarenta y cinco grados, o cualquier orientación de fibra adecuada para satisfacer los requisitos de diseño de piezas compuestas. Además, se establecen estándares para fijar límites en el tamaño de los espacios entre o superpuestos de segmentos adyacentes de material compuesto.

35 En una realización del postprocesador 10 del programa de partes compuestas, las definiciones de trayectoria pueden recibirse en un sistema de coordenadas cartesianas, por ejemplo, para producir partes generalmente planas o contorneadas. En otras realizaciones, el postprocesador 10 puede recibir las definiciones de trayectoria en cualquier sistema de coordenadas adecuado, por ejemplo, un sistema de coordenadas polares, tal como un sistema de referencia angular, por ejemplo, para producir piezas generalmente cilíndricas en una herramienta 28 de fabricación giratoria, un sistema de coordenadas cilíndricas, un sistema de coordenadas circulares, un sistema de coordenadas esféricas; un sistema de coordenadas curvilíneas; o similar.

45 En algunas realizaciones, el postprocesador 10 también puede recibir definiciones de los segmentos individuales de material compuesto, tales como los recorridos 36, 38 de cinta individuales en el caso de una máquina de laminación de cinta. Las definiciones de segmento de material compuesto pueden definir patrones de corte de cinta necesarios para formar los recorridos de cinta. En una realización del postprocesador 10, los patrones de corte de cinta pueden definirse como cortes a tope normales a la línea central de los recorridos 36, 38 de cinta, mientras que en otras realizaciones los patrones de corte de cinta pueden definirse como patrones más complejos, por ejemplo, que consiste en una combinación de segmentos de línea.

50 En una realización preferida del postprocesador 10, las trayectorias pueden asignarse a cabezales de suministro individuales de un tipo específico de máquina de aplicación de material compuesto (específica de la máquina), y a pases específicos del carro de herramientas sobre la superficie de la herramienta de fabricación. Sin embargo, en otras realizaciones, las definiciones de trayectoria pueden ser independientes de cualquier máquina de aplicación de material compuesto (independiente de la máquina).

55 El postprocesador 10 puede usar las definiciones de trayectoria, las definiciones de segmento de material compuesto y los datos de asignación de paso de carro a cabezal y herramienta para generar programas de piezas CNC en formato de código de máquina que pueden ejecutarse en una máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, así como en una máquina convencional de aplicación de material compuesto de cabezal individual. El postprocesador 10 puede proporcionar la capacidad en el postprocesamiento para que el programador gestione la dinámica del cabezal de aplicación de material compuesto, como acercarse o salir de la herramienta de fabricación o la superficie de la pieza compuesta, y comenzar, detener y cortar el material compuesto. El postprocesador 10 también permite que el programador controle las aceleraciones y las velocidades del eje de la máquina, para mejorar u optimizar la velocidad general de aplicación de material compuesto.

65

Inicialmente, el postprocesador 10 puede recibir los datos de trayectoria, incluidas las definiciones de trayectoria, así como las asignaciones de paso de carro y trayectoria a cabezal. El postprocesador 10 puede agregar datos de control de movimiento del eje de la máquina para el acercamiento de los cabezales de aplicación de material compuesto a la herramienta de fabricación o la superficie de pieza compuesta al comienzo de cada paso de carro de herramienta o segmento de material compuesto y la salida de los cabezales de aplicación de material compuesto de la superficie en el final de cada pase o segmento. Es decir, para cada cabezal de aplicación de material compuesto que tiene una trayectoria asignada en un paso de carro de herramienta dado, el postprocesador 10 puede agregar una definición de aproximación a superficie, o perfil de movimiento, y una definición desde salida de la superficie o perfil de movimiento. En algunas realizaciones, el postprocesador 10 puede agregar un perfil de aproximación de cabezal y un perfil de salida para cada trayectoria 30 de aplicación de material compuesto. En otras realizaciones, el postprocesador 10 puede agregar un perfil de aproximación de cabezal y un perfil de salida para cada segmento de material compuesto a lo largo cada uno de las trayectorias 30.

Por lo tanto, para cada trayectoria 30 de aplicación de material compuesto, o para cada segmento de material compuesto a lo largo de cada trayectoria 30, el postprocesador 10 puede agregar datos de control de movimiento del eje de la máquina para el mecanismo de alimentación de material compuesto. Por ejemplo, el postprocesador 10 puede agregar un perfil para iniciar un mecanismo de alimentación de material compuesto y acelerar la velocidad de alimentación del material compuesto para que coincida con la velocidad de la herramienta de fabricación o la superficie de la pieza compuesta en relación con el cabezal de aplicación del material, ordenar al mecanismo de alimentación que libere el material compuesto, detenga el mecanismo de alimentación y permita que el material compuesto continúe alimentándose contra una tensión nominal. Este proceso, denominado "agregar sobre la marcha", se puede sincronizar para que el extremo del material compuesto se coloque en una ubicación precisa. Por ejemplo, en una máquina de colocación de cinta, el proceso de "agregar sobre la marcha" se puede sincronizar de modo que el extremo de la cinta pase debajo de un dispositivo de compactación del cabezal correspondiente precisamente en la ubicación especificada por la definición del segmento de material compuesto, es decir, en cumplimiento con una tolerancia de colocación final de material compuesto especificada.

De manera similar, para cada trayectoria 30 de aplicación de material compuesto, o para cada segmento de material compuesto a lo largo de cada trayectoria 30, el postprocesador 10 puede agregar datos de control de movimiento del eje de la máquina para acelerar el cabezal correspondiente de antemano, luego desacelerar momentáneamente el cabezal para iguale la velocidad de la superficie de la herramienta de fabricación, deteniendo el mecanismo de alimentación del material compuesto, cortando un extremo del material compuesto y acelerando el cabezal para reposicionar el cabezal en una posición nominal con respecto al carro de la herramienta o "constelación" de cabezales de aplicación de material compuesto. Este proceso, denominado "corte sobre la marcha", también se puede sincronizar para que el extremo del material compuesto se coloque en una ubicación precisa. Por ejemplo, en una máquina de colocación de cinta, el proceso de "corte sobre la marcha" se puede sincronizar de modo que el extremo de la cinta pase debajo del dispositivo de compactación del cabezal correspondiente precisamente en la ubicación especificada por la definición del segmento de material compuesto, es decir, en cumplimiento con una tolerancia de colocación final de material compuesto especificada. Además, el proceso de "corte sobre la marcha" puede incluir la desaceleración de el cabezal para mantener momentáneamente una posición fija con respecto a la herramienta de fabricación o la superficie de la pieza compuesta para dar tiempo para que el material compuesto se corte en su lugar.

Los perfiles de movimiento "agregar sobre la marcha" y "cortar sobre la marcha", así como los perfiles de movimiento de aproximación a la superficie y de salida de la superficie, se pueden definir de una manera que permita el transporte de herramientas y La herramienta de fabricación para viajar a una velocidad constante o para seguir un perfil de movimiento de constelación que es independiente de las ubicaciones de aproximación, salida, adición y corte. Además, los perfiles de movimiento "agregar sobre la marcha" y "cortar sobre la marcha", así como los perfiles de movimiento de aproximación a la superficie y de salida de la superficie, pueden ser dinámicos, es decir, los perfiles de movimiento pueden variar dependiendo de la longitud de los segmentos individuales de material compuesto y las distancias respectivas entre los segmentos de material compuesto.

Por lo tanto, el postprocesador 10 puede verificar además que los perfiles de movimiento de aproximación y salida del cabezal de aplicación de material compuesto, así como los perfiles de movimiento "agregar sobre la marcha" y "cortar sobre la marcha", en todos los puntos definen un movimiento continuo y suave del cabezal, con respecto a la posición absoluta del cabezal de aplicación de material compuesto correspondiente, así como a la posición relativa del cabezal con respecto a la posición del carro de la herramienta. Además, el postprocesador 10 puede verificar que los perfiles de movimiento de aproximación, salida, "agregar sobre la marcha" y "cortar sobre la marcha" no violan ningún requisito o especificación con respecto a la dinámica de la máquina de aplicación de material compuesto.

En algunas realizaciones, el postprocesador 10 puede incluir en la definición de aproximación a la superficie una ubicación específica donde se va a activar un dispositivo de compactación de aplicador de material compuesto, o ubicación de "compactación en". Del mismo modo, el postprocesador 10 puede incluir en la definición de salida de la superficie una ubicación específica donde el dispositivo de compactación del aplicador de material compuesto se va a desactivar, o la ubicación de "compactación desactivada". En otras realizaciones, el postprocesador 10 puede especificar una ubicación de "compactación activada" y una ubicación de "compactación desactivada" para cada

segmento de material compuesto a lo largo de cada una de las trayectorias 30, por ejemplo, en el caso de una máquina de colocación de cinta compuesta, para cada curso de cinta a lo largo de cada trayectoria 30.

5 Además, el postprocesador puede definir múltiples configuraciones de constelación para los pasos del carro de herramientas. Por ejemplo, con respecto a las máquinas con todos los cabezales estándar, los cabezales se pueden disponer en una configuración de constelación generalmente fija en el carro de la herramienta, que se puede mover sobre la superficie. Se requieren diseños de constelación distintos para cada combinación de orientación de la capa y dirección de desplazamiento del carro de la herramienta a lo largo de las trayectorias 30. Además, se puede permitir que cada cabezal se mueva con relación a la constelación dentro de un rango limitado para seguir la geometría precisa en 3-D de la trayectoria correspondiente 30 sobre la superficie. Además, las limitaciones o tolerancias en el movimiento de los cabezales de aplicación de material compuesto individuales dentro de la constelación pueden evitar colisiones entre los cabezales de aplicación de material compuesto, o entre los cabezales de aplicación de material compuesto y otra estructura de la máquina.

15 Además, el postprocesador 10 puede definir una trayectoria de constelación, o una secuencia de trayectorias de constelación. Es decir, el postprocesador 10 puede evaluar un grupo de trayectorias 30 de aplicación de material asignadas a un solo paso de carro de herramienta y determinar una trayectoria mediana en relación con el grupo de trayectorias 30. Por ejemplo, el postprocesador 10 puede determinar una trayectoria de constelación ideal con respecto a cada cabezal de aplicación de material compuesto que tiene una trayectoria asignada para el paso del carro de herramientas, y en función del conjunto de trayectorias ideales, determine una trayectoria de constelación mediana. El postprocesador puede verificar además que cada uno de los cabezales puede alcanzar todos los puntos de las ubicaciones de trayectoria correspondientes en función de la trayectoria de constelación.

25 Además, el postprocesador 10 puede extender la trayectoria media y definir los puntos de inicio y finalización de la constelación para el paso, es decir, el postprocesador 10 puede especificar una ubicación en la que se pueden establecer o colocar los cabezales de aplicación de material compuesto. en una configuración de constelación específica y una ubicación en la que los cabezales de aplicación de material compuesto se pueden restablecer o reubicar en una configuración de constelación diferente. El postprocesador 10 puede conectar adicionalmente las trayectorias de constelación secuenciales en una cadena continua de trayectorias direccionales, o una sola trayectoria continua.

35 En base a la trayectoria de constelación, el postprocesador 10 puede definir una trayectoria de transporte de herramienta y una trayectoria de herramienta de fabricación, o mandril. Por ejemplo, el postprocesador 10 puede determinar una secuencia de pasos direccionales del carro de la herramienta a través de la superficie de la herramienta de fabricación o pieza compuesta, y una secuencia de movimientos rotacionales o angulares para un mandril rotativo o movimientos traslacionales para un mandril plano o contorneado. Dado que el movimiento de los cabezales de aplicación de material compuesto sobre la herramienta de fabricación o la superficie de la pieza compuesta depende de la posición relacional del carro de la herramienta con respecto a la herramienta de fabricación, algunos movimientos de los cabezales de aplicación de material compuesto sobre la herramienta de fabricación o la superficie de la pieza compuesta se pueden determinar por cambios en la posición del carro de la herramienta, la posición de la herramienta de fabricación o ambas. Por lo tanto, la trayectoria de la herramienta de fabricación y la trayectoria del carro de la herramienta pueden ser interdependientes.

45 En consecuencia, el postprocesador 10 puede sincronizar la trayectoria de la herramienta de fabricación con la trayectoria del carro de la herramienta para determinar una combinación eficiente u óptima de la herramienta de fabricación y los movimientos del carro de la herramienta para obtener las posiciones relacionales requeridas basadas en la trayectoria de constelación. Es decir, el postprocesador 10 puede implementar la lógica cinemática de máquina clásica para generar simultáneamente soluciones de eje de máquina para el carro de herramientas y para la herramienta de fabricación con el fin de efectuar la trayectoria de constelación.

50 Además, basándose en las trayectorias 30 y la trayectoria de constelación correspondiente, el postprocesador 10 puede definir una trayectoria relativa para cada cabezal de aplicación de material compuesto que tiene una trayectoria asignada. Las trayectorias relativas relacionan las trayectorias 30 individuales con la trayectoria de la constelación. En consecuencia, el postprocesador puede determinar las soluciones del eje de la máquina para controlar los movimientos individuales del cabezal con respecto al carro de la herramienta en función de las trayectorias relativas. Por ejemplo, el postprocesador 10 puede implementar la lógica cinemática clásica de la máquina para generar soluciones de posición del eje de la máquina basadas en los puntos de trayectoria de la constelación, los puntos de trayectoria individuales y la superficie de la herramienta de fabricación o datos normales de superficie actualizados. Las soluciones de eje de la máquina se pueden utilizar para controlar los movimientos de la máquina de aplicación de material compuesto por medio de servomotores, o cualquier actuador adecuado para producir cabezales de aplicación de material compuesto, carro de herramientas o movimiento de herramientas de fabricación.

65 Sin embargo, los controladores CNC existentes no tienen la capacidad de interpolar un número relativamente grande de ejes en un solo grupo de interpolación. Por lo tanto, para superar las limitaciones existentes del controlador CNC en el recuento de ejes, el postprocesador 10, en lugar del controlador CNC, puede calcular la posición individual del eje de la máquina, la velocidad, la aceleración y la sacudida o sobretensión en todos los puntos. El postprocesador 10

5 puede verificar además que las soluciones del eje de la máquina no violan las limitaciones o especificaciones de la máquina y hacer pequeños ajustes a las soluciones del eje de la máquina para producir transiciones físicas suaves, al tiempo que se mantienen trayectorias precisas de aplicación de material compuesto. Por lo tanto, el postprocesador puede sincronizar estrechamente las soluciones de eje de máquina de cabezal de aplicación de material compuesto. Además, el postprocesador 10 puede sincronizar estrechamente las soluciones individuales del eje de la máquina del cabezal con el carro de la herramienta y las soluciones del eje de la máquina de la herramienta de fabricación para mantener un control preciso del cabezal de la aplicación de material compuesto.

10 En una realización preferida del postprocesador 10, puede acomodarse una relación de eje maestro-esclavo a través de múltiples controladores CNC distribuidos para gestionar el número relativamente grande de ejes de máquina coordinados. Por ejemplo, la máquina de aplicación de material compuesto multicabezal puede controlarse mediante un controlador CNC maestro y múltiples controladores CNC esclavos. El controlador maestro y los controladores esclavos pueden conectarse en red a través de un bus de alta velocidad que puede facilitar el intercambio de datos relevantes entre los diversos controladores durante cada ciclo de interpolación. Por lo tanto, el controlador maestro puede coordinar los ciclos de interpolación CNC individuales.

15 Además, para aumentar la velocidad de aplicación global de material compuesto, el postprocesador 10 puede establecer una velocidad de constelación, o la velocidad de movimiento de un eje maestro, que puede corresponder, por ejemplo, al movimiento del carro de herramientas, al movimiento de la herramienta de fabricación, o a una combinación del movimiento del carro de la herramienta y el movimiento de la herramienta de fabricación, a una de varias velocidades predeterminadas que corresponden a varias operaciones de máquina de aplicación de material compuesto para cada paso del carro de la herramienta. Por ejemplo, en una realización preferida, la velocidad de constelación se puede ajustar a una de las tres tasas básicas, que corresponden a las operaciones de máquina de “agregar”, “colocar” y “cortar” material compuesto. En general, la velocidad de constelación puede verse limitada por la dinámica del caso más desfavorable de cualquier cabezal de aplicación de material compuesto activo en cualquier momento del paso del carro de la herramienta, lo que permite el tiempo de aceleración y desaceleración.

20 Además, el postprocesador 10 puede verificar los límites del eje de la máquina para todos los cabezales de aplicación de material compuesto, el carro de herramientas y los ejes de máquina de herramientas de fabricación para verificar que los límites del eje de la máquina no se excedan en ningún momento. Además, el postprocesador 10 puede verificar todas las posiciones del cabezal de aplicación de material compuesto para garantizar que las trayectorias de movimiento del cabezal de aplicación de material compuesto estén libres de colisión. Además, el postprocesador 10 puede calcular e informar el uso total de material compuesto para el programa de pieza compuesta.

25 En consecuencia, el postprocesador 10 puede crear un archivo de salida, o un conjunto de archivos de salida, que contiene los resultados de las soluciones del eje de la máquina en un formato de datos que es compatible con el controlador CNC utilizado junto con la máquina de aplicación de material compuesto específico. Por ejemplo, en una realización preferida del postprocesador 10, el archivo de salida puede escribirse en un formato de tabla de curvas único que sea compatible con la familia de controladores CNC Siemens 840D. En algunas realizaciones, se puede crear un archivo de salida o un conjunto de archivos de salida para cada paso de carro de herramienta definido por el programa de pieza compuesta.

30 Por ejemplo, para cada pasada de carro de herramienta, el postprocesador 10 puede producir un archivo de tabla de curvas para cada eje de la máquina para proporcionar datos de posición, tales como pares de puntos de coordenadas de interpolación lineal o definiciones de funciones polinómicas, incluido las relaciones maestro esclavo necesarias. Además, para cada pasada del carro de herramientas, el postprocesador 10 puede producir un archivo de tabla de curvas adicional para cada cabezal de aplicación de material compuesto para proporcionar definiciones de código auxiliar, tales como datos de control de alimentación de material compuesto, datos de control de cortador, etc. Por lo tanto, el postprocesador 10 puede crear múltiples programas de piezas compuestas simultáneas para usar con un controlador CNC y una máquina de aplicación de material compuesto, como una máquina de laminación de cinta compuesta o una máquina de colocación automática de fibras (AFP) para fabricar una pieza compuesta.

35 En algunas realizaciones, el formato de datos del archivo de salida puede ser compatible con un esquema de control CNC maestro-esclavo, como el que se divulga en el presente documento. Por ejemplo, en una realización preferida, el formato de tabla curva 840D de Siemens puede implementar las relaciones de eje maestro-esclavo de la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales. Esto es posible porque la tabla de curvas puede proporcionar una definición matemática entre una variable principal y una variable secundaria que se puede aplicar a ambos pares de ejes de la máquina, además de las variables de control de CNC convencionales aplicadas a cada eje de la máquina.

40 En una realización preferida de la invención, el postprocesador 10 puede crear un archivo de salida suplementario, o un conjunto de archivos de salida suplementarios, en un formato de datos que es compatible con un simulador de máquina que puede recibir el archivo de salida o el archivo de salida suplementario y simule las operaciones de la máquina de aplicación de material compuesto, incluyendo múltiples cabezales de aplicación de material compuesto con múltiples ejes de máquina. Por ejemplo, el postprocesador 10 puede producir un archivo de salida que contiene un muestreo basado en el tiempo de los datos posicionales del eje de la máquina para uso del simulador de máquina,

que puede no ser capaz de interpretar el programa de pieza compuesta, por ejemplo, formato de tabla de curva 840D de Siemens.

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra una secuencia de pasos que puede realizar un postprocesador de programa de parte compuesto para producir un programa de parte compuesto. El proceso puede comenzar con el paso número 42, "Recibir Definiciones", en el que el postprocesador del programa de piezas compuestas puede recibir un archivo de datos que contiene las definiciones de trayectoria que los cabezales de aplicación de materiales compuestos pueden seguir para aplicar el material compuesto sobre la superficie de la herramienta de fabricación, o sobre una superficie de capa anterior, para formar la pieza compuesta. Además, el postprocesador puede recibir datos con respecto a las definiciones de segmento de material compuesto y las asignaciones de pasadas de carro de herramienta y trayectoria a cabezal.

Después de recibir las definiciones de entrada, en el paso 44, "Agregar perfiles de aproximación/salida", el postprocesador puede agregar una definición de aproximación a superficie o perfil de movimiento, y una definición o movimiento de salida de superficie perfil para cada trayectoria de aplicación de material compuesto, o para cada segmento de material compuesto a lo largo de cada una de las trayectorias. Luego, en el paso 46, "Definir funciones auxiliares", el postprocesador puede aumentar el programa con definiciones de código auxiliar, como datos de control de alimentación de material compuesto, datos de control de cortador, etc.

A continuación, en el paso 48, "Delinear trayectorias de constelación", el postprocesador puede delinear una trayectoria de constelación. Por ejemplo, como se explicó anteriormente, el postprocesador puede definir una configuración de constelación apropiada de los cabezales de aplicación de material compuesto para una pasada del carro de herramientas, y determinar una trayectoria de constelación ideal con respecto a cada cabezal de aplicación de material compuesto que tiene una trayectoria asignada para el paso del carro de herramientas. Basado en el conjunto de trayectorias ideales, el postprocesador puede determinar una trayectoria de constelación mediana para cada paso de carro de herramienta y conectar las trayectorias de constelación resultantes en una cadena continua de trayectorias direccionales, o una sola trayectoria continua. Durante este paso, el postprocesador puede delinear trayectorias de carro de herramientas y las trayectorias de herramientas de fabricación basadas en las trayectorias de constelación. Luego, en el paso 50, "Determinar las trayectorias relativas de cabezal", el postprocesador puede definir una trayectoria relativa para cada cabezal de aplicación de material compuesto que relaciona las trayectorias individuales con la trayectoria de la constelación.

Luego, el control pasa al paso 52, "Calcular las posiciones del eje de la máquina", en el que el postprocesador del programa de piezas compuestas puede determinar las soluciones del eje de la máquina para controlar los movimientos individuales del cabezal con respecto al carro de la herramienta en función de las trayectorias relativas, para controlar los movimientos del carro de herramientas y controlar los movimientos de herramientas de fabricación. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el postprocesador puede implementar la lógica cinemática de la máquina clásica para generar soluciones de posición del eje de la máquina del cabezal de la aplicación de material compuesto basadas en los puntos de trayectoria de la constelación, los puntos de trayectoria individuales y la superficie de la herramienta de fabricación o datos normales de superficie actualizados. Por lo tanto, como se explicó anteriormente, las soluciones del eje de la máquina para el cabezal de aplicación de material compuesto, el carro de la herramienta y la herramienta de fabricación pueden sincronizarse estrechamente.

En este punto, en el paso 54, "Verificar límites", el postprocesador puede verificar que los límites del eje de la máquina no se excedan en ningún momento, y verificar todas las posiciones de los cabezales de aplicación de material compuesto para asegurar que las trayectorias de movimiento del cabezal esté libre de colisión. Durante este paso, el postprocesador puede calcular la posición individual del eje de la máquina, la velocidad, la aceleración y la sacudida o sobretensión en todos los puntos, y hacer pequeños ajustes en las soluciones del eje de la máquina para producir transiciones físicas suaves, mientras se mantienen las trayectorias precisas de aplicación de material compuesto.

En el paso 56, "Escribir archivo de salida CNC", como se explicó anteriormente, el postprocesador del programa de piezas compuestas puede crear un programa de piezas compuestas compuesto por un conjunto de archivos de salida que contienen los resultados de las soluciones de eje de máquina en un formato de datos que es compatible con el controlador CNC utilizado junto con la máquina de aplicación de material compuesto específico, por ejemplo, en el formato de tabla curva 840D de Siemens. Finalmente, en el paso 58, "Escribir archivo de salida de simulación", el postprocesador puede crear opcionalmente un conjunto de archivos de salida suplementarios que contienen, por ejemplo, un muestreo basado en el tiempo de los datos posicionales del eje de la máquina en un formato de datos de simulación, que puede ser utilizado por un simulador para modelar la máquina física, replicar las funciones del controlador CNC y producir información del ciclo para facilitar la prevención de colisiones de la máquina y el refinamiento del proceso.

Las figuras 1 y 3 son diagramas de bloques y diagramas de flujo de métodos, aparatos y productos de programas informáticos de acuerdo con diversas realizaciones de la presente invención. Se entenderá que cada bloque o paso del diagrama de bloques, diagrama de flujo e ilustraciones de flujo de control, y combinaciones de bloques en el diagrama de bloques, diagrama de flujo e ilustraciones de flujo de control, pueden implementarse mediante instrucciones de programas de ordenador u otros medios. Aunque se discuten las instrucciones del programa de

ordenador, un aparato de acuerdo con la presente invención puede incluir otros medios, tales como hardware o alguna combinación de hardware y software, incluyendo uno o más procesadores o controladores, para realizar las funciones descritas.

5 A este respecto, la figura 1 representa el aparato de una realización que incluye varios de los componentes clave de un ordenador de propósito general mediante el cual se puede implementar una realización de la presente invención. Los expertos en la materia apreciarán que un ordenador puede incluir muchos más componentes que los mostrados en la figura 1. Sin embargo, no es necesario que se muestren todos estos componentes generalmente convencionales para divulgar una realización ilustrativa para practicar la invención. El ordenador de propósito general puede incluir  
10 una unidad 12 de procesamiento y una memoria 14 del sistema, que puede incluir memoria de acceso aleatorio (RAM) y memoria de solo lectura (ROM). El ordenador también puede incluir memoria de almacenamiento no volátil, como una unidad de disco duro, donde se pueden almacenar datos adicionales.

15 Una realización de la presente invención también puede incluir uno o más dispositivos de entrada o salida, tales como un mouse, teclado, monitor y similares. Se puede proporcionar una pantalla para ver texto y datos gráficos, así como una interfaz de usuario para permitir que un usuario solicite operaciones específicas. Además, una realización de la presente invención puede conectarse a una o más ordenadores remotos a través de una interfaz de red. La conexión puede realizarse a través de una red de área amplia (WAN) de red de área local (LAN), y puede incluir todos los circuitos necesarios para dicha conexión. En una realización de la presente invención, la colección de documentos  
20 incluye documentos recibidos por Internet. Son posibles otras realizaciones, que incluyen: una colección de documentos local, es decir, todos los documentos en un ordenador, documentos almacenados en un servidor o un cliente en un entorno de red, etc.

25 Normalmente, las instrucciones del programa de ordenador pueden cargarse en el ordenador u otra máquina programable de propósito general para producir una máquina especializada, de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otra máquina programable crean medios para implementar las funciones especificadas en los diagramas de bloques, diagramas esquemáticos o diagramas de flujo. Dichas instrucciones del programa de ordenador también pueden almacenarse en un medio legible por ordenador que cuando se carga en un ordenador u otra máquina programable puede dirigir la máquina para que funcione de una manera particular, de modo que las  
30 instrucciones almacenadas en el medio legible por ordenador produzcan un artículo de fabricación, incluida la instrucción, significa que implementa la función especificada en los diagramas de bloques, diagramas esquemáticos o diagramas de flujo.

35 Además, las instrucciones del programa de ordenador pueden cargarse en un ordenador u otra máquina programable para hacer que el ordenador u otra máquina programable realice una serie de pasos operativos para producir un proceso implementado por ordenador, de modo que las instrucciones que ejecuta en el ordenador u otra máquina programable proporciona pasos para implementar las funciones especificadas en el diagrama de bloques, diagrama esquemático, bloque de diagrama de flujo o paso.

40 Por consiguiente, los bloques o pasos del diagrama de bloques, diagrama de flujo o ilustraciones de flujo de control soportan combinaciones de medios para realizar las funciones especificadas, combinaciones de pasos para realizar las funciones especificadas y medios de instrucción de programa para realizar las funciones especificadas. También se entenderá que cada bloque o paso de los diagramas de bloques, diagramas esquemáticos o diagramas de flujo, así como combinaciones de bloques o pasos, se pueden implementar mediante sistemas informáticos basados en  
45 hardware de propósito especial, o combinaciones de hardware de propósito especial e instrucciones de ordenador, que realizan las funciones o pasos especificados.

50 Como ejemplo, proporcionado solo con fines ilustrativos, una herramienta de software de entrada de datos de una aplicación de motor de búsqueda puede ser un medio representativo para recibir una consulta que incluye uno o más términos de búsqueda. Herramientas de software similares de aplicaciones, o implementaciones de realizaciones de la presente invención, pueden ser medios para realizar las funciones especificadas. Por ejemplo, una realización de la presente invención puede incluir software de ordenador para interconectar un elemento de procesamiento con un dispositivo de entrada controlado por el usuario, como un mouse, teclado, pantalla táctil, escáner o similar. De manera similar, una salida de una realización de la presente invención puede incluir, por ejemplo, una combinación de software  
55 de visualización, hardware de tarjeta de video y hardware de visualización. Un elemento de procesamiento puede incluir, por ejemplo, un controlador o microprocesador, como una unidad central de procesamiento (CPU), una unidad de lógica aritmética (ALU) o una unidad de control.

60 Las numerosas características y ventajas de la invención son evidentes a partir de la especificación detallada. Numerosas modificaciones y variaciones se les ocurrirán fácilmente a los expertos en la materia que estarían dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método implementado por ordenador para producir un programa para operar una máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales para producir una pieza compuesta, que comprende:
- 5 recibir una pluralidad de definiciones (42) de trayectoria asignadas a una pluralidad de cabezales de aplicación de material compuesto asociados con un carro de herramienta en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, la pluralidad de definiciones de trayectoria que incluye una primera definición de trayectoria asignada a un primer cabezal de aplicación de material compuesto de la pluralidad de cabezales de aplicación de material compuesto en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales;
- 10 determinar una trayectoria mediana en relación con la pluralidad de definiciones de trayectoria;
- 15 definir una configuración de constelación, que es una configuración de los cabezales de aplicación de material compuesto del carro de herramientas, basada en la trayectoria media;
- asignar el primer cabezal de aplicación de material compuesto a una primera posición de constelación en respuesta a la determinación de la configuración de constelación;
- 20 calcular una pluralidad de primeras soluciones de posición del eje de la máquina (52) basadas al menos en parte en la primera definición de trayectoria para controlar el primer cabezal de aplicación de material compuesto;
- agregar un perfil para iniciar un mecanismo de alimentación de material compuesto y acelerar la velocidad de alimentación de material compuesto para que coincida con la velocidad de la superficie de pieza compuesta en relación con los cabezales de aplicación de material; y
- 25 escribir un archivo (56) de datos de salida de control numérico de ordenador basado al menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina.
- 30 2. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, en donde:
- la pluralidad de definiciones de trayectoria incluye además una segunda definición de trayectoria asignada a un segundo cabezal de aplicación de material compuesto asociado con el carro de herramienta en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales; y
- 35 el método comprende, además calcular una pluralidad de soluciones de posición del segundo eje de la máquina basadas al menos en parte en la definición de la segunda trayectoria para controlar el segundo cabezal de aplicación de material compuesto.
- 40 3. El método implementado por ordenador de la reivindicación 2, en el que:
- la pluralidad de definiciones de trayectoria incluye además al menos una tercera definición de trayectoria asignada a un tercer cabezal de aplicación de material compuesto asociado con el carro de herramienta en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales; y
- 45 el método comprende, además calcular una pluralidad de soluciones de posición del tercer eje de la máquina basadas al menos en parte en la definición de la tercera trayectoria para controlar al menos el tercer cabezal de aplicación de material compuesto.
- 50 4. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende, además agregar un perfil (44) de aproximación basado al menos en parte en la primera definición de trayectoria para guiar el primer cabezal de aplicación de material compuesto a una superficie de capa.
- 55 5. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende, además especificar un perfil de inicio de alimentación de material y una compactación en la ubicación basada al menos en parte en la definición de la primera trayectoria.
- 60 6. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende, además especificar un perfil de parada de alimentación de material y una ubicación de compactación basada, al menos en parte, en la primera definición de trayectoria.
7. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende, además agregar un perfil (44) de salida basado al menos en parte en la primera definición de trayectoria para guiar el primer cabezal de aplicación de material compuesto lejos de una superficie de capa.
- 65 8. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende, además:

- 5 determinar una trayectoria (48) de constelación basada en la configuración de constelación, la primera definición de trayectoria y al menos una definición de trayectoria adicional, en donde las soluciones de posición del primer eje de la máquina se basan adicionalmente al menos en parte en una relación de la definición de la primera trayectoria con la trayectoria de la constelación.
9. El método implementado por ordenador de la reivindicación 8, que comprende, además:
- 10 delinear una trayectoria de transporte de herramientas basada en la trayectoria de constelación; y
- delinear una trayectoria de herramienta de fabricación basada en la trayectoria de constelación, en la que la trayectoria de transporte de herramienta y la trayectoria de herramienta de fabricación son interdependientes.
- 15 10. El método implementado por ordenador de la reivindicación 9, que comprende, además calcular una pluralidad de soluciones (52) de posición del eje de la máquina del carro basadas al menos en parte en la trayectoria del carro de herramientas para controlar un carro de herramientas asociado con el primer cabezal de aplicación de material compuesto y en al menos un segundo cabezal de aplicación de material compuesto.
- 20 11. El método implementado por ordenador de la reivindicación 9, que comprende, además calcular una pluralidad de soluciones (52) de posición de eje de máquina herramienta basadas al menos en parte en la trayectoria de herramienta de fabricación para controlar una herramienta de fabricación asociada con la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples.
- 25 12. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende, además verificar que las soluciones de posición del eje de la máquina no violan una limitación (54) de la máquina.
- 30 13. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende, además calcular al menos uno seleccionado entre los siguientes: una velocidad del eje de la máquina, una aceleración del eje de la máquina y un tirón del eje de la máquina.
- 35 14. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que el archivo de datos de salida incluye una pluralidad de tablas de curvas.
15. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende, además escribir un archivo (58) de datos de salida suplementario basado al menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina, en el que el archivo de datos de salida es compatible con un simulador.
- 40 16. Un producto de programa de ordenador para programar una máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales para producir una pieza compuesta, que incluye un medio legible por ordenador codificado con instrucciones configuradas para ser ejecutadas por un procesador para realizar operaciones predeterminadas que comprenden:
- 45 recibir una pluralidad de definiciones (43) de trayectoria asignadas a una pluralidad de cabezales de aplicación de material compuesto asociados con un carro de herramienta en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, la pluralidad de definiciones de trayectoria incluye una primera definición de trayectoria asignada a un primer cabezal de aplicación de material compuesto de la pluralidad de cabezales de aplicación de material compuesto en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales;
- 50 determinar una trayectoria mediana en relación con la pluralidad de definiciones de trayectoria;
- definir una configuración de constelación, que es una configuración de los cabezales de aplicación de material compuesto del carro de herramientas, basada en la trayectoria media;
- 55 asignar el primer cabezal de aplicación de material compuesto a una primera posición de constelación en respuesta a la determinación de la configuración de constelación;
- calcular una pluralidad de primeras soluciones (52) de posición del eje de la máquina basadas al menos en parte en la primera definición de trayectoria para controlar el primer cabezal de aplicación de material compuesto;
- 60 agregar un perfil para iniciar un mecanismo de alimentación de material compuesto y acelerar la velocidad de alimentación de material compuesto para que coincida con la velocidad de la superficie de pieza compuesta en relación con los cabezales de aplicación de material;
- 65 y escribir un archivo (56) de datos de salida de control numérico de ordenador basado al menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina.

17. El producto de programa informático de la reivindicación 16, en el que:

la pluralidad de definiciones de trayectoria incluye además una segunda definición de trayectoria asignada a un segundo cabezal de aplicación de material compuesto asociado con el carro de herramienta en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales; y

las operaciones predeterminadas comprenden, además calcular una pluralidad de soluciones de posición del segundo eje de la máquina basadas al menos en parte en la definición de la segunda trayectoria para controlar el segundo cabezal de aplicación de material compuesto.

18. El producto de programa informático de la reivindicación 16, en el que las operaciones predeterminadas comprenden, además:

agregar un perfil (44) de aproximación basado al menos en parte en la primera definición de trayectoria para guiar el primer cabezal de aplicación de material compuesto a una superficie de capa; y

especificar un perfil de inicio de alimentación de material y una compactación en la ubicación basada al menos en parte en la primera definición de trayectoria.

19. El producto de programa informático de la reivindicación 16, en el que las operaciones predeterminadas comprenden, además:

especificar un perfil de parada de alimentación de material y una ubicación de compactación fuera basada al menos en parte en la primera definición de trayectoria; y

agregar un perfil (44) de salida basado al menos en parte en la primera definición de trayectoria para guiar el primer cabezal de aplicación de material compuesto lejos de una superficie de capa.

20. El producto de programa informático de la reivindicación 16, en el que las operaciones predeterminadas comprenden, además:

determinar una trayectoria (48) de constelación basada en la configuración de constelación, la primera definición de trayectoria y al menos una definición de trayectoria adicional, en el que las soluciones de posición del primer eje de la máquina se basan, además, al menos en parte, en una relación de la primera definición de trayectoria con la trayectoria de la constelación.

21. El producto de programa informático de la reivindicación 20, en el que las operaciones predeterminadas comprenden, además:

delinear una trayectoria de transporte de herramientas basada en la trayectoria de la constelación; y

calcular una pluralidad de soluciones de posición del eje de la máquina del carro basadas al menos en parte en la trayectoria del carro de herramientas para controlar un carro de herramientas asociado con el primer cabezal de aplicación de material compuesto y al menos un segundo cabezal de aplicación de material compuesto.

22. El producto de programa informático de la reivindicación 21, en el que las operaciones predeterminadas comprenden, además:

delinear una trayectoria de herramienta de fabricación basada en la trayectoria de constelación, en la que la trayectoria de transporte de herramienta y la trayectoria de herramienta de fabricación son interdependientes; y

calcular una pluralidad de soluciones (52) de posición del eje de la máquina herramienta basadas al menos en parte en la trayectoria de la herramienta de fabricación para controlar una herramienta de fabricación asociada con la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples.

23. El producto de programa informático de la reivindicación 16, en el que las operaciones predeterminadas comprenden, además:

calcular al menos uno seleccionado entre los siguientes: una velocidad del eje de la máquina, una aceleración del eje de la máquina y un tirón del eje de la máquina; y

verificar que las soluciones de posición del eje de la máquina no violen una limitación de la máquina.

24. El producto de programa informático de la reivindicación 16, en el que el archivo de datos de salida incluye una pluralidad de tablas de curvas.

25. El producto de programa informático de la reivindicación 16, en el que las operaciones predeterminadas comprenden, además escribir un archivo (58) de datos de salida suplementario basado al menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina, en el que el archivo de datos de salida es compatible con un simulador.
- 5 26. Un postprocesador (10) de programa de pieza compuesta para producir un programa para operar una máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales para producir una pieza compuesta, que comprende:
- un receptor (16) de definición configurado para recibir una pluralidad de definiciones de trayectoria asignadas a una pluralidad de cabezales de aplicación de material compuesto asociados con un carro de herramientas en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, la pluralidad de definiciones de trayectoria que incluyen una primera definición de trayectoria asignada a un primer cabezal de aplicación de material compuesto en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales;
- 10 un delineador (18) de trayectoria configurado para determinar una trayectoria mediana en relación con la pluralidad de definiciones de trayectoria y definir una configuración de constelación, que es una configuración de los cabezales de aplicación de material compuesto del carro de herramientas, basado en la trayectoria mediana;
- 15 un ordenador (22) de solución de eje de máquina configurado asigna el primer cabezal de aplicación de material compuesto a una primera posición de constelación en respuesta a la determinación de la configuración de constelación y para calcular una pluralidad de primeras soluciones de posición de eje de máquina basadas al menos en parte en la primera definición de trayectoria para controlar el primer cabezal de aplicación de material compuesto;
- 20 en el que el postprocesador (10) está dispuesto para agregar un perfil para iniciar un mecanismo de alimentación de material compuesto y acelerar la velocidad de alimentación de material compuesto para que coincida con la velocidad de la superficie de pieza compuesta en relación con los cabezales de aplicación de material; y
- 25 un compositor (24) de archivos de salida configurado para escribir un archivo de datos de salida de control numérico de ordenador basado al menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina.
- 30 27. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 26, en el que la pluralidad de definiciones de trayectoria incluye además una segunda definición de trayectoria asignada a un segundo cabezal de aplicación de material compuesto asociado con el carro de la herramienta en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales, y el ordenador (22) de solución del eje de la máquina está configurado además para calcular una pluralidad de soluciones de posición del segundo eje de la máquina basadas, al menos en parte, en la definición de la segunda trayectoria para controlar el segundo cabezal de aplicación de material compuesto.
- 35 28. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 27, en el que la pluralidad de definiciones de trayectoria incluye además una tercera definición de trayectoria asignada a un tercer cabezal de aplicación de material compuesto asociado con el carro de la herramienta en la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezas, y el ordenador (22) de solución del eje de la máquina está configurado además para calcular una pluralidad de soluciones de posición del tercer eje de la máquina basadas al menos en parte en la definición de la tercera trayectoria para controlar el tercer cabezal de aplicación de material compuesto.
- 40 29. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 26, que comprende, además un perfilador (20) de aproximación y salida configurado para agregar un perfil de aproximación basado al menos en parte en la definición de la primera trayectoria para guiar el primer cabezal de aplicación de material compuesto a una superficie de capa, y para especificar un perfil de inicio de alimentación de material y una compactación en la ubicación basada, al menos en parte, en la definición de la primera trayectoria.
- 45 30. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 29, en el que el perfilador (20) de aproximación y salida está configurado además para especificar un perfil de parada de alimentación de material y una ubicación de compactación desactivada basada al menos en parte en la primera definición de trayectoria, y para agregar un perfil de salida basado, al menos en parte, en la primera definición de trayectoria para guiar el primer cabezal de aplicación de material compuesto lejos de una superficie de capa.
- 50 31. El postprocesador de programa de pieza compuesta de la reivindicación 26, en el que el delineador (18) de trayectoria está configurado además para determinar una trayectoria de constelación basada en la configuración de constelación, la primera definición de trayectoria y al menos una definición de trayectoria adicional, en el que las primeras soluciones de posición del eje de la máquina se basan, al menos en parte, en una relación de la definición de la primera trayectoria con la trayectoria de la constelación.
- 55 32. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 31, en el que el delineador (18) de trayectoria está configurado además para delinear una trayectoria de carro de herramienta basada en la trayectoria de constelación, y para calcular una pluralidad de soluciones de posición del eje de la máquina de carro basadas al menos en parte en la trayectoria del carro de herramientas para controlar un carro de herramientas asociado con el
- 60 65

primer cabezal de aplicación de material compuesto y al menos un segundo cabezal de aplicación de material compuesto.

5 33. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 32, en el que el delineador (18) de trayectoria está configurado además para delinear una trayectoria de herramienta de fabricación basada en la trayectoria de constelación, la trayectoria del carro de herramienta y la trayectoria de herramienta de fabricación son interdependientes, y para calcular una pluralidad de soluciones de posición del eje de la máquina herramienta basadas al menos en parte en la trayectoria de la herramienta de fabricación para controlar una herramienta de fabricación asociada con la máquina de aplicación de material compuesto de múltiples cabezales.

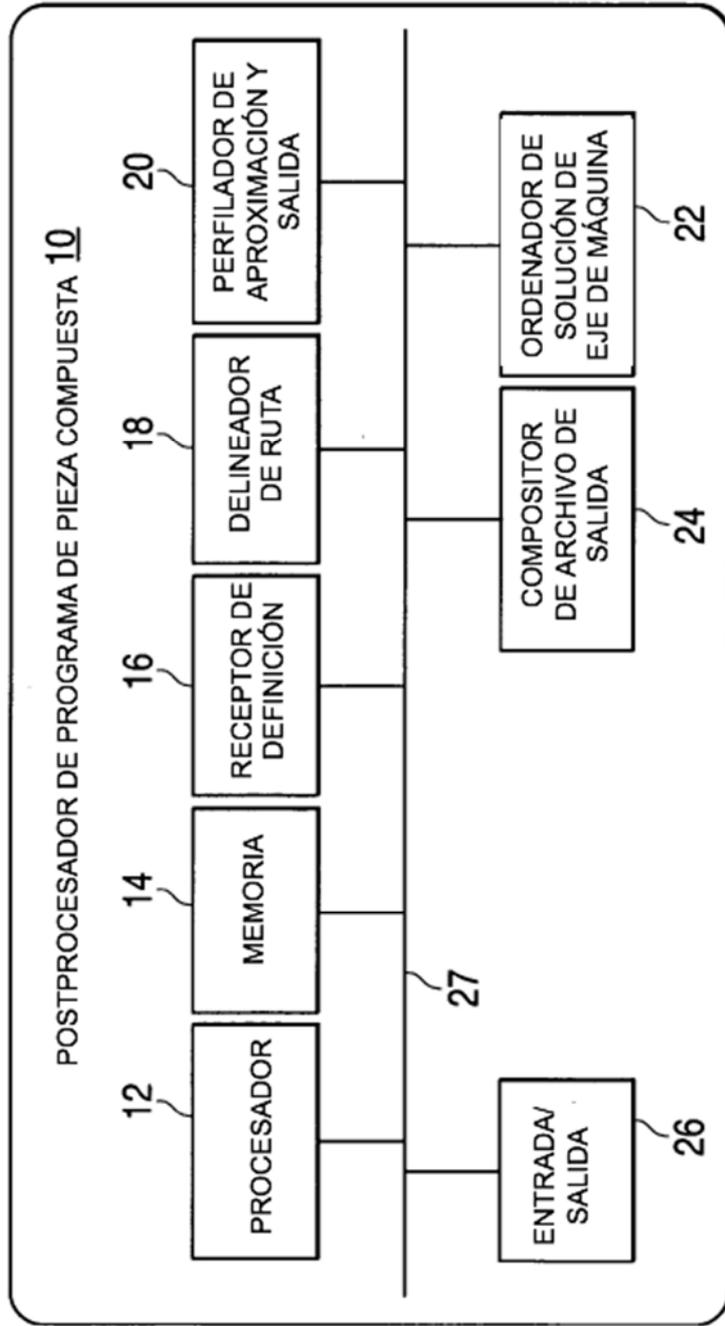
10 34. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 26, en el que el ordenador (22) de solución del eje de la máquina está configurado además para calcular al menos uno seleccionado entre los siguientes: una velocidad del eje de la máquina, una aceleración del eje de la máquina y un tirón del eje de la máquina; y para verificar que las soluciones de posición del eje de la máquina no violen una limitación de la máquina.

15 35. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 26, en el que el ordenador (22) de solución de eje de máquina está configurado adicionalmente.

20 36. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 26, en el que el archivo de datos de salida incluye una pluralidad de tablas de curvas.

25 37. El postprocesador del programa de piezas compuestas de la reivindicación 26, en el que el compositor (24) de archivos de salida está configurado además para escribir un archivo de datos de salida suplementario basado al menos en parte en las soluciones de posición del eje de la máquina, en el que el archivo de datos de salida es compatible con un simulador.

**FIG. 1**



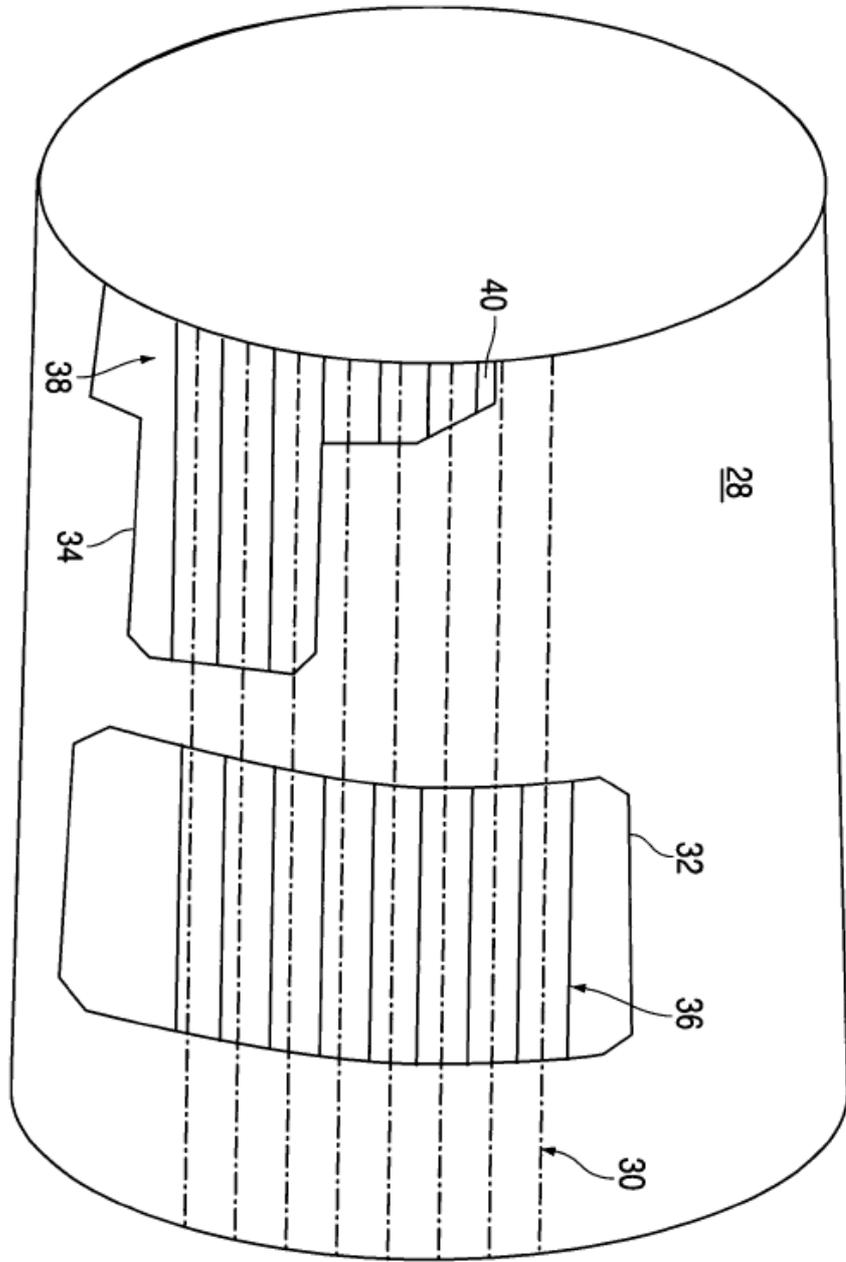


FIG. 2

**FIG. 3**

