



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 322 093**

51 Int. Cl.:

**G05B 19/4093** (2006.01)

**G05B 19/4097** (2006.01)

**G05B 19/4099** (2006.01)

**B29C 70/30** (2006.01)

**B65H 81/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06256522 .1**

96 Fecha de presentación : **21.12.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1804146**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.07.2007**

54

Título: **Método de modelado y simulación de asignación de cabezales para una máquina de laminación de cabezales múltiples.**

30

Prioridad: **23.12.2005 US 315103**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.06.2009**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.06.2009**

73

Titular/es: **The Boeing Company**  
**100 North Riverside Plaza**  
**Chicago, Illinois 60606-2016, US**

72

Inventor/es: **Tang, Wei-Pai y**  
**Su, Timothy F.**

74

Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 322 093 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 modelado y simulación de asignación de cabezales para una máquina de laminación de cabezales múltiples.

5

### **Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a sistemas de colocación de cinta y fibra. Más en concreto, la presente invención se refiere a un método de modelado y simulación de asignación de cabezales en un dispositivo de colocación de fibra y de laminación de cinta compuesta, de control numérico por ordenador.

10

### **Antecedentes de la invención**

Cada vez se utilizan más materiales compuestos en varias industrias, incluyendo las industrias automovilística, marina y aeroespacial. En algunos casos, las partes compuestas se pueden formar usando máquinas automáticas de aplicación de material compuesto, tal como máquinas de laminación de cinta compuesta o máquinas de colocación de fibra compuesta.

15

Algunas máquinas convencionales de aplicación de material compuesto, por ejemplo, una laminadora de cinta plana (FTLM) o una laminadora de cinta contorneada (CTLM), producen partes compuestas planas o suavemente contorneadas colocando tiras relativamente anchas de cinta compuesta sobre superficies de utillaje generalmente horizontales o verticales, tal como un mandril. Otras máquinas convencionales de aplicación de material compuesto, por ejemplo, una máquina automatizada de colocación de fibra (AFP), se usan para producir partes compuestas generalmente cilíndricas o tubulares envolviendo tiras relativamente estrechas de cinta compuesta, o filas, alrededor de una herramienta rotativa de fabricación, tal como un mandril.

20

25

Generalmente, las máquinas automáticas existentes de aplicación de material compuesto tienen un solo cabezal de aplicación de material compuesto. Correspondientemente, los sistemas existentes de programación de máquinas de aplicación de material compuesto son generalmente capaces de producir un programa de control numérico (CN) o control numérico por ordenador (CNO) diseñado para controlar una sola máquina de aplicación de material compuesto que tiene un solo cabezal de aplicación de material compuesto.

30

Para producir más eficientemente partes compuestas relativamente grandes, incluyendo secciones de fuselaje de aviones, se ha concebido una máquina de aplicación de material compuesto, de cabezales múltiples y alta velocidad. Tal como se ha concebido, la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples deberá ser capaz de fabricar una amplia variedad de partes compuestas, tal como largueros planos, travesaños, intradoses y secciones de cañón del fuselaje, así como partes compuestas en otras industrias, tal como las industrias del automóvil, marina, vehículos industriales y estructuras arquitectónicas prefabricadas.

35

Sin embargo, los sistemas existentes de programación de partes 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 varias partes compuestas. Consiguientemente, es deseable proporcionar un método y aparato que puedan producir eficientemente un programa de partes compuestas para una máquina de aplicación de material compuesto de alta velocidad con múltiples cabezales de aplicación de material compuesto para formar varias partes compuestas sin requerir excesiva programación manual.

40

45

US 4696 707 describe un aparato de colocación de cinta compuesta con medios naturales de generación de recorrido. El aparato de colocación de cinta forma pliegues de un artículo laminado colocando tramos de cinta compuesta a lo largo de recorridos naturales o no tensados de una superficie compuesta contorneada usando un solo cabezal de colocación de cinta.

50

US 2005/0039843 describe una laminadora automática de compuestos de múltiples cabezales para la fabricación de componentes grandes de secciones de cañón. La laminadora incluye una estructura mecánica de soporte que soporta múltiples cabezales de suministro de material.

55

### **Resumen de la invención**

La presente invención satisface en gran medida las necesidades anteriores, donde, en un aspecto, se facilita un modelo visual de asignaciones de cabezales para una máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples que tiene un conjunto de cabezales.

60

Según un aspecto de la presente invención se facilita un método y sistema según las reivindicaciones acompañantes.

Un medio legible por ordenador que incorpora software informático incluyendo un conjunto de instrucciones para ejecutar un método de modelar asignaciones de cabezales para una máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples que tiene un conjunto de cabezales. En este método se recibe una geometría de pliegues para una parte compuesta y se recibe una configuración para la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples. Además, se genera una constelación de posiciones de cabezal en respuesta a la geometría de pliegues y la

65

configuración para la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples. Además, se asigna una posición de cabezal de la constelación de posiciones de cabezal a un cabezal correspondiente del conjunto de cabezales y se genera un modelo gráfico de la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples aplicando el material compuesto sobre la parte compuesta en respuesta a las posiciones de cabezal asignadas.

5 Un sistema para modelar asignaciones de cabezales de una máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples tiene un conjunto de cabezales. El sistema incluye un generador de constelación de cabezales, gestor de asignación de cabezales, y visualizador de constelación de cabezales. El generador de constelación de cabezales genera una constelación de posiciones de cabezal en respuesta a recibir una geometría de pliegues y una configuración para la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples. El gestor de asignación de cabezales asigna una posición de cabezal de la constelación de posiciones de cabezal a un cabezal correspondiente del conjunto de cabezales. El visualizador de constelación de cabezales genera un modelo gráfico de la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples aplicando el material compuesto sobre la parte compuesta en respuesta a recibir las posiciones de cabezal asignadas.

15 Un método de modelar asignaciones de cabezales para una máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples tiene un conjunto de cabezales. En este método, se recibe una geometría de pliegues para una parte compuesta y se recibe una configuración para la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples. Además, se genera una constelación de posiciones de cabezal en respuesta a la geometría de pliegues y la configuración para la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples. Además, se asigna una posición de cabezal de la constelación de posiciones de cabezal a un cabezal correspondiente del conjunto de cabezales y se genera un modelo gráfico de la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples aplicando el material compuesto sobre la parte compuesta en respuesta a las posiciones de cabezal asignadas.

## 25 **Breve descripción de los dibujos**

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

30 La figura 2 es una vista en perspectiva que ilustra una parte compuesta grande generalmente cilíndrica que representa recorridos designados de aplicación de material compuesto y tramos de cinta que pueden ser programados por una realización preferida de la invención.

35 La figura 3 es un diagrama de bloques de una arquitectura de sistema para un módulo de simulación y asignación de cabezales según una realización de la invención.

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra pasos que pueden seguirse para asignar y simular movimientos de cabezal según la realización de la figura 3.

40 La figura 5 es un diagrama de sistema de un gestor de cabezal de tramo para asignar cabezales de suministro a tramos respectivos según una realización de la invención.

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra pasos que pueden seguirse para generar recorridos independientes de la máquina en el método de la figura 5.

45 La figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra pasos que pueden seguirse para generar recorridos específicos de máquina en el método de la figura 5.

50 La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra una secuencia de pasos detallados que se pueden llevar a cabo con el fin de generar recorridos específicos de máquina según la figura 7.

## **Descripción detallada**

55 Una realización según la presente invención proporciona un generador de programa de parte compuesta, que puede incluir una interface de sistema de diseño asistido por ordenador (CAD), un generador de recorrido, un gestor de cabezal de tramo, un post-procesador y un simulador de máquina. El generador de programa de parte compuesta es capaz de producir programas de parte compuesta para una amplia variedad de partes compuestas complejas grandes, incluyendo partes compuestas relativamente planas, contorneadas o generalmente cilíndricas. Este método de programación puede reducir la mano de obra requerida para producir un programa de parte compuesta para una máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples en un orden de magnitud con respecto a los métodos de programación manuales o automatizados existentes.

65 El generador de programa de parte compuesta puede producir, por ejemplo, programas de parte compuesta para uso con máquinas de aplicación de material compuesto y de control numérico por ordenador (CNO) que tienen un solo cabezal de aplicación de material compuesto, tal como las máquinas existentes de colocación de cinta compuesta y las máquinas automatizadas de colocación de fibra. Además, el generador de programa de parte compuesta puede producir programas de parte compuesta para uso con máquinas de aplicación de material compuesto de CNO y cabezales múltiples, así como equipo de fabricación compuesto de múltiples máquinas.

## ES 2 322 093 T3

La interface CAD puede recibir una definición de diseño de parte compuesta de un sistema CAD y convertir los datos a una definición de superficie de herramienta de fabricación y múltiples definiciones de pliegue compuesto. El generador de recorrido puede producir recorridos de aplicación de material compuesto independientes de máquina basados en la definición de superficie de herramienta de fabricación y múltiples definiciones de pliegue compuesto. Además, el gestor de cabezal de tramo puede asignar los recorridos independientes de máquina a cabezales específicos de aplicación de material compuesto de un tipo específico de máquina de aplicación de material compuesto para producir recorridos específicos de máquina.

Además, el post-procesador puede definir una ruta de herramienta de fabricación, calcular posiciones de eje de máquina, y componer un programa de parte compuesta que puede ser usado para controlar la máquina de aplicación de material compuesto y guiar los cabezales de aplicación de material compuesto a lo largo de los recorridos. Además, el simulador de máquina puede simular el tipo específico de máquina de aplicación de material compuesto y controladores asociados para verificar el correcto funcionamiento del programa de parte compuesta. Así, el generador de programa de parte compuesta puede ayudar al programador a evitar conflictos de máquinas o de cabezales de aplicación de material compuesto, tal como colisiones.

El generador de programa de parte compuesta puede facilitar la asignación eficiente de cabezales o máquinas de aplicación de material compuesto a recorridos de aplicación de material compuesto y secuencias de pliegues. Además, el generador de programa de parte compuesta puede producir programas de parte compuesta para controlar un mayor número de ejes de máquina que el permitido por el tamaño máximo del grupo de interpolación de algunos controladores CNO existentes. Por ejemplo, algunos métodos existentes de programación compuesta se limitan a un aplicador de material compuesto, o cabezal de suministro, mientras que el método aquí descrito se ha comprobado en configuraciones de cuatro cabezales y de ocho cabezales que tienen hasta 50 ejes de máquina en un carro de herramienta móvil común y una herramienta de fabricación rotativa correspondiente. Además, este método puede ser escalado para uso con máquinas que tienen al menos dieciséis cabezales de suministro o sistemas que tienen al menos dieciséis máquinas de cabezal único.

La invención se describirá ahora con referencia a las figuras del dibujo, en las que números de referencia análogos se refieren a partes análogas en todas ellas. Una realización según la presente invención proporciona un generador de programa de parte compuesta 10 para producir un programa de parte compuesta que puede controlar una máquina de aplicación de material compuesto de CNO y cabezal único o cabezales múltiples. La figura 1 ilustra una realización de una realización representativa de un generador de programa de parte compuesta 10, incluyendo un procesador 12, memoria 14, interface CAD 16, generador de recorrido 18, gestor de cabezal de tramo 20, post-procesador 22, simulador de tasa 23, simulador de máquina 24 y un dispositivo de entrada/salida (E/S) 26, todos los cuales están interconectados por un enlace de datos 27.

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

La interface CAD 16 puede recibir una definición de parte compuesta de un sistema CAD, tal como AutoCAD, fabricado por Autodesk, Inc., de San Rafael, California; Pro/Engineer, fabricado por Parametric Technology Corp., de Needham, Massachusetts; Microstation, fabricado por Bentley Systems de Exton, Pennsylvania; SolidWorks, fabricado por SolidWorks Corp., de Concord, Massachusetts; o CATIA, fabricado por Dassault Systèmes S. A., de Suresnes, Francia. La definición de parte compuesta puede ser recibida en cualquier formato de archivo de datos adecuado, incluyendo un formato de gráficos vectoriales, tal como los formatos de archivo .dwg o .dxf (usados por AutoCAD) y el formato de archivo .dgn (usado por Microstation); un formato de representación límite, tal como el formato de archivo B-REP (usado por CATIA V4) en base a límites topológicos geométricos; o un formato en base a sólido paramétrico/elemento superficial (usado por CATIA V5).

La definición de parte compuesta puede constar de secuencias conteniendo pliegues. Las secuencias representan generalmente capas de un material compuesto que forman la parte compuesta, y los pliegues representan generalmente una región de una capa de material compuesto. En el formato de datos CAD, por ejemplo, cada pliegue puede ser modelado como un límite en una superficie compleja, con propiedades asociadas de material y orientación.

La interface CAD 16 puede convertir el formato de datos de definición de parte compuesta recibido, que puede ser único para el sistema CAD específico, a un formato que sea compatible con el generador de recorrido 18. Por ejemplo, la interface CAD 16 puede crear dos archivos de datos. El primer archivo puede contener la definición de superficie completa de la parte compuesta, o de una herramienta de fabricación, tal como un mandril, sobre la que se ha de formar la parte compuesta. Este primer archivo puede contener datos que definen cada región superficial de la parte compuesta, por ejemplo, en un formato B-Spline. El primer archivo también puede definir las curvas límite para cada región superficial. Además, el primer archivo puede contener las varias relaciones entre las curvas límite para cada región superficial de componente, describiendo cómo las varias regiones superficiales encajan conjuntamente.

## ES 2 322 093 T3

El segundo archivo puede contener definiciones de pliegue para los varios pliegues que forman la parte compuesta. Las definiciones de pliegue pueden incluir, por ejemplo, datos de límite de pliegue, datos de material de pliegue y datos de orientación de pliegue. Además, cada pliegue puede especificar un “punto semilla”, es decir, un punto asociado con el pliegue que define una posición a través de la que debe pasar la línea central del primer segmento de material compuesto para dicho pliegue.

En base a la definición de superficie de parte compuesta y definiciones de pliegue, el generador de programa de parte compuesta 10 puede generar recorridos 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 pliegue anterior, con el fin de formar la parte compuesta. Por ejemplo, la figura 2 ilustra una herramienta de fabricación 28, o mandril, para una parte compuesta grande generalmente cilíndrica con ocho recorridos representativos de aplicación de material compuesto 30 designados en una dirección generalmente horizontal a través de la superficie de la herramienta de fabricación 28.

La figura 2 ilustra además un primer límite de pliegue 32 y un segundo límite de pliegue 34. Ocho segmentos contiguos de material compuesto, en este caso tramos de cinta 36, que corresponden a los recorridos de aplicación de material compuesto 30, están delineados dentro del primer límite de pliegue 32. Igualmente, siete tramos contiguos de cinta compuesta 38 están delineados dentro del segundo límite de pliegue 34, incluyendo un tramo de cinta no estándar 40 que tiene una anchura que es sustancialmente menor que la distancia entre cada uno de los pares de recorridos adyacentes 30, o la anchura nominal de la cinta compuesta.

Como un ejemplo, una máquina de colocación de cinta compuesta puede tener uno o más cabezales de aplicación de material compuesto unidos a un carro de herramienta y configurados para aplicar cinta compuesta que tiene una anchura estándar o nominal de tres pulgadas, seis pulgadas, o cualquier otra anchura adecuada. 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 una anchura no estándar. Por ejemplo, una máquina de colocación de cinta compuesta representativa de cabezales múltiples puede incluir uno o más cabezales estándar que aplican tiras de cinta compuesta de tres pulgadas de anchura nominal, así como uno o más cabezales especializados que aplican tiras de cinta compuesta de anchura no estándar, tal como tiras de un octavo de pulgada o de un cuarto de pulgada de ancho, o “filas”. Además, un cabezal especializado puede tener la capacidad de aplicar múltiples tiras no estándar hasta una anchura agregada igual a la anchura nominal de la cinta, por ejemplo, hasta veinticuatro tiras de cinta compuesta de un octavo de pulgada en una máquina que tiene una anchura de cinta nominal estándar de tres pulgadas.

Aunque los recorridos de aplicación de material compuesto 30 y los tramos de cinta 36, 38 representados en la figura 2 son generalmente horizontales, o paralelos al eje de la herramienta de fabricación 28 (para referencia en este ejemplo, la orientación de fibra de cero grados), pliegues adicionales pueden tener otras orientaciones de fibra, tal como noventa grados o cuarenta y cinco grados, o cualquier orientación de fibra adecuada para satisfacer los requisitos de diseño de la parte compuesta. Además, se han establecido normas para poner límites al tamaño de los intervalos o el solapamiento de segmentos adyacentes de material compuesto.

Con referencia de nuevo a la figura 1, los recorridos de aplicación de material compuesto 30 pueden ser definidos por el generador de recorrido 18. En una realización del generador de programa de parte compuesta 10, el generador de recorrido 18 puede implementar un sistema de coordenadas cartesianas, por ejemplo, para producir partes generalmente planas o contorneadas. En otras realizaciones, el generador de recorrido 18 puede implementar cualquier sistema de coordenadas adecuado, por ejemplo, un sistema de coordenadas polares, tal como un sistema de referencia angular, por ejemplo, para producir partes generalmente cilíndricas en una herramienta rotativa de fabricación 28, un sistema de coordenadas circulares, un sistema de coordenadas esféricas, un sistema de coordenadas curvilíneas o análogos.

El generador de recorrido 18 puede usar las definiciones de límite de pliegue creadas por la interface CAD 16, que describen las zonas donde se ha de aplicar material compuesto para formar las secuencias, o capas, de la parte compuesta, y la definición de superficie de herramienta de fabricación creada por la interface CAD 16, que describe la superficie sobre la que se ha de formar la parte compuesta, para generar los recorridos de aplicación de material compuesto 30. Si el punto de semilla para un pliegue no se especifica en la definición de parte, el generador de recorrido puede seleccionar un “punto de semilla”, por ejemplo, el centroide del pliegue, como el punto de inicio en el que comenzar la generación de recorridos para un pliegue dado.

En varias realizaciones del generador de programa de parte compuesta 10, el generador de recorrido 18 puede analizar las definiciones de superficie de la herramienta de fabricación y pliegue para generar los recorridos de aplicación de material compuesto 30, asegurando al mismo tiempo que los intervalos o el solapamiento de recorridos adyacentes cumplan el estándar o la especificación de intervalos. Los recorridos se pueden optimizar según la forma de la superficie general, así como regiones locales de la superficie. En una realización preferida, el generador de recorrido 18 puede realizar un análisis tridimensional (3-D) para generar los recorridos 30. Sin embargo, en una realización alternativa, el generador de recorrido 18 puede realizar un análisis bidimensional (2D) para generar los recorridos 30. Así, el generador de recorrido 18 puede poblar el área superficial de cada pliegue con recorridos que están espaciados la anchura nominal de un segmento de material compuesto estándar, tal como un tramo de cinta, dentro de una tolerancia que cumple con las especificaciones de intervalo o solapamiento.

## ES 2 322 093 T3

El generador de recorrido 18 puede definir además los segmentos individuales de material compuesto. Por ejemplo, en una realización preferida de la invención, el generador de recorrido 18 puede seleccionar una superficie de referencia 2-D apropiada para representar la superficie de la herramienta de fabricación, o la superficie de parte compuesta, y colocar inicialmente los segmentos de material compuesto en la superficie de referencia 2-D. Por ejemplo, el generador de recorrido 18 puede seleccionar una superficie simplificada, tal como un cilindro, esfera o cono, que puede ser modelada fácilmente por una función matemática o un conjunto de funciones matemáticas, proyectar la herramienta de fabricación o superficie de parte compuesta sobre la superficie simplificada, y “desenrollar” o aplanar la superficie simplificada para crear una superficie de referencia planar sobre la que extender los segmentos de material compuesto.

En el caso de una laminadora de cinta, el generador de recorrido 18 puede definir los tramos de cinta individuales 36, 38 en base a las intersecciones de los recorridos 30 con los límites de pliegue 32, 34. Estas intersecciones pueden definir configuraciones de corte de cinta necesarias para formar los tramos de cinta. En una realización del generador de programa de parte compuesta 10, las configuraciones de corte de cinta se pueden definir como cortes a tope normales a la línea central de los tramos de cinta 36, 38, mientras que en otras realizaciones las configuraciones de corte de cinta se pueden definir como configuraciones más complejas que constan, por ejemplo, de una combinación de segmentos de línea.

Después de tender los segmentos de material compuesto en la superficie de referencia, el generador de recorrido 18 puede transformar o redefinir los segmentos de material compuesto en términos de la herramienta de fabricación 3-D real o superficie de parte compuesta. Esta transformación se puede realizar, por ejemplo, aplicando una función inversa a los datos de tramo de cinta 2-D en base a la función, o funciones, usadas para crear la superficie de referencia de la herramienta de fabricación real 28 o la superficie de parte compuesta. Además, para cada secuencia de pliegues, el generador de recorrido 18 puede actualizar la definición de superficie para añadir el grosor del material compuesto sobre cada zona de pliegue de la secuencia.

Los recorridos 30 definidos por el generador de recorrido 18 pueden ser independientes de cualquier máquina de aplicación de material compuesto. Posteriormente, los recorridos independientes de máquina 30 pueden ser asignados a cabezales de suministro específicos de un tipo específico de máquina de aplicación de material compuesto por el gestor de cabezal de tramo 20 para generar recorridos específicos de máquina.

El gestor de cabezal de tramo 20 puede recibir la geometría tridimensional (3-D) relativamente compleja de los recorridos de aplicación de material compuesto 30 definidos por el generador de recorrido 18 y comprobar si en los recorridos 30 hay errores, tal como puntos redundantes o análogos. Si se identifican errores, el gestor de cabezal de tramo 20 puede corregir los errores, por ejemplo, quitar puntos redundantes. Además, el gestor de cabezal de tramo 20 puede analizar la geometría 3-D de cada uno de los recorridos 30 para determinar cuál, si lo hay, de los recorridos 30 tiene que ser asignado a cabezales de suministro especializados.

Además, el gestor de cabezal de tramo 20 puede realizar un algoritmo de optimización específico de máquina para determinar las asignaciones más eficientes de cabezal a recorrido de aplicación de material compuesto, es decir, las asignaciones que darán lugar al tiempo de producción más corto necesario para fabricar la parte compuesta. Por ejemplo, el gestor de cabezal de tramo 20 puede asignar los recorridos a cabezales de aplicación de material compuesto específicos y pasadas específicas del carro de herramienta utilizando uno de dos esquemas de optimización. En una realización, se realiza una u otra optimización en base a si la máquina incluye o no un cabezal especial.

En primer lugar, para máquinas con todos los cabezales estándar, el gestor de cabezal de tramo 20 puede disponer los cabezales en una configuración de constelación fija en el carro de herramienta, que puede ser movido sobre la superficie. En este caso, se precisan diseños de constelación distintos para cada combinación de orientación de pliegue y dirección de avance del carro de herramienta a lo largo de los recorridos 30. En general, el diseño de constelación está configurado para aumentar la eficiencia maximizando el número de cabezales que se puede emplear para aplicar cinta al mandril. Una descripción más detallada de la constelación y el diseño de constelación se describe aquí con referencia a las figuras 4 y 5. Además, cada cabezal se puede mover con relación a la constelación dentro de un rango limitado para rastrear la geometría 3-D exacta del recorrido correspondiente 30 sobre la superficie. Además, las limitaciones o tolerancias del movimiento de los cabezales individuales de aplicación de material compuesto 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.

En segundo lugar, para máquinas que tienen uno o más cabezales especializados de aplicación de material compuesto, el gestor de cabezal de tramo 20 puede usar “optimización exhaustiva” para asignar eficientemente los recorridos 30 a los cabezales de aplicación de material compuesto. Es decir, por cada pasada del carro de herramienta, se asigna un número máximo posible de recorridos 30 a dicha pasada, con sujeción a dos condiciones: primera: si es posible, a cada cabezal especial se le puede asignar un recorrido 30 que precise dicho cabezal; segunda: siempre que sea posible, se asigna un grupo de recorridos contiguos 30 a todos los cabezales de aplicación de material compuesto, con el fin de no dejar recorridos no asignados. En algunos casos, la no disponibilidad de suficientes cabezales especializados puede requerir que un recorrido 30 que requiera un cabezal especializado quede sin asignar entre recorridos asignados. Sin embargo, cuando es posible, esto se evita a causa de la dificultad de llenar eficientemente un recorrido saltado en una pasada posterior.

## ES 2 322 093 T3

En algunas realizaciones del generador de programa de parte compuesta 10, el gestor de cabezal de tramo 20 puede construir una representación 2-D en base a la geometría 3-D de los recorridos 30 para crear un conjunto ordenado de recorridos lógicos, y realizar el análisis de asignación de cabezal a recorrido en el ámbito 2-D. En estas realizaciones, el gestor de cabezal de tramo 20 puede asociar posteriormente los recorridos 3-D con las respectivas asignaciones 2-D de cabezales de aplicación de material compuesto y pasadas de carro de herramienta. En otras realizaciones, el gestor de cabezal de tramo 20 puede realizar el análisis de asignación de cabezal a recorrido en el ámbito 3-D. Además, el gestor de cabezal de tramo 20 puede realizar varias tareas de limpieza para organizar los datos resultantes.

Los datos resultantes de asignación de recorrido y cabezal pueden ser usados por el post-procesador 22 para generar programas de parte CNO en formato de código máquina que pueden ser ejecutados en una máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples, así como en una máquina de aplicación de material compuesto de un solo cabezal convencional. En post-procesado, el post-procesador 22 puede proporcionar la capacidad de que el programador gestione la dinámica de los cabezales de aplicación de material compuesto, tal como aproximar o alejar la herramienta de fabricación o superficie de parte compuesta, e iniciar, parar y cortar el material compuesto. El post-procesador 22 también permite al programador controlar las aceleraciones y velocidades del eje de máquina, con el fin de mejorar u optimizar la tasa general de aplicación de material compuesto.

Inicialmente, el post-procesador 22 puede recibir los datos de recorrido, incluyendo las definiciones de recorrido así como las asignaciones de cabezal a recorrido y pasada de carro. El post-procesador 22 puede añadir datos de control del movimiento del eje de máquina para acercamiento del cabezal de aplicación de material compuesto a la herramienta de fabricación o superficie de parte compuesta al inicio de cada pasada del carro de herramienta o segmento de material compuesto y salida del cabezal de aplicación de material compuesto de la superficie al final de cada pasada o segmento. Es decir, para cada cabezal de aplicación de material compuesto que tiene un recorrido asignado en una pasada dada del carro de herramienta, el post-procesador 22 puede añadir una definición de acercamiento a superficie, o perfil de movimiento, y una definición de alejamiento de superficie, o perfil de movimiento. En algunas realizaciones del generador de programa de parte compuesta 10, el post-procesador 22 puede añadir un perfil de acercamiento y perfil de salida de cabezal para cada recorrido de aplicación de material compuesto 30. En otras realizaciones, el post-procesador 22 puede añadir un perfil de acercamiento y perfil de salida de cabezal para cada segmento de material compuesto a lo largo de cada uno de los recorridos 30.

Así, para cada recorrido de aplicación de material compuesto 30, o para cada segmento de material compuesto a lo largo de cada recorrido 30, el post-procesador 22 puede añadir datos de control del movimiento del eje de máquina para acelerar el cabezal correspondiente en avance, posteriormente decelerar momentáneamente el cabezal, cortar un extremo del material compuesto, iniciar la alimentación de material compuesto, y acelerar el cabezal para recolocar el cabezal en una posición nominal con relación al carro de herramienta o constelación y adaptar la velocidad del carro de herramienta. Este proceso, denominado “adición en vuelo”, puede ser sincronizado de modo que el extremo del material compuesto se coloque en una posición exacta. Por ejemplo, en una máquina de colocación de cinta, el proceso de “adición en vuelo” puede ser sincronizado de tal manera que el extremo de la cinta pase por debajo de un dispositivo de compactación de cabezal correspondiente exactamente en la posición especificada por la definición de segmento de material compuesto, es decir, de acuerdo con una tolerancia especificada de colocación del extremo del material compuesto.

Igualmente, para cada recorrido de aplicación de material compuesto 30, o para cada segmento de material compuesto a lo largo de cada recorrido 30, el post-procesador 22 puede añadir datos de control del movimiento del eje de máquina para acelerar el cabezal correspondiente en avance, decelerar después el cabezal para adaptarlo momentáneamente a la velocidad de la superficie de la herramienta de fabricación, cortar un extremo del material compuesto, parar la alimentación de material compuesto, y acelerar el cabezal para recolocar el cabezal en una posición nominal con relación al carro de herramienta o constelación. Este proceso, denominado “corte en vuelo”, también se puede sincronizar de modo que el extremo de material compuesto se coloque en una posición exacta. Por ejemplo, en una máquina de colocación de cinta, el proceso de “corte en vuelo” se puede sincronizar de tal manera que el extremo de cinta pase por debajo del dispositivo de compactación de cabezal correspondiente exactamente en la posición especificada por la definición de segmento de material compuesto, es decir, de acuerdo con una tolerancia especificada de colocación del extremo del material compuesto. Además, el proceso de “corte en vuelo” puede incluir decelerar el cabezal para mantener momentáneamente una posición fija con respecto a la herramienta de fabricación o superficie de parte compuesta para dejar tiempo para cortar el material compuesto en posición.

Los perfiles de movimiento de “adición en vuelo” y “corte en vuelo”, así como los perfiles de movimiento de acercamiento a superficie y salida de 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 post-procesador 22 puede verificar además que los perfiles de movimiento de acercamiento y salida del cabezal de aplicación de material compuesto, así como los perfiles de movimiento de “adición en vuelo” y “corte en vuelo”, en todos los puntos definan un movimiento continuo y suave del cabezal, con respecto a la posición absoluta del cabezal correspondiente de aplicación de material compuesto así como la posición relativa del cabezal con respecto a la posición del carro de herramienta. Además, el post-procesador 22 puede verificar que los perfiles de movimiento de acercamiento, salida, “adición en vuelo” y “corte en vuelo” no violen requisitos o especificaciones relativos a la dinámica de la máquina de aplicación de material compuesto.

## ES 2 322 093 T3

En algunas realizaciones del generador de programa de parte compuesta 10, el post-procesador 22 puede incluir en la definición de acercamiento a superficie una posición especificada donde se ha de activar un dispositivo de compactación de aplicador de material compuesto, o posición de “compactación activada”. Igualmente, el post-procesador 22 puede incluir en la definición de salida de superficie una posición especificada donde se ha de desactivar el dispositivo de compactación de aplicador de material compuesto, o posición de “compactación desactivada”. En otras realizaciones, el post-procesador 22 puede especificar una posición de “compactación activada” y una posición de “compactación desactivada” para cada segmento de material compuesto a lo largo de cada uno de los recorridos 30, por ejemplo, en el caso de una máquina de colocación de cinta compuesta, para cada tramo de cinta a lo largo de cada recorrido 30.

Además, el post-procesador 22 puede definir un recorrido de constelación, o una secuencia de recorridos de constelación. Es decir, el post-procesador 22 puede evaluar un grupo de recorridos de aplicación de material 30 asignados a una sola pasada de carro de herramienta y determinar un recorrido medio con relación al grupo de recorridos 30. Por ejemplo, el post-procesador 22 puede determinar un recorrido de constelación ideal con respecto a cada cabezal de aplicación de material compuesto que tiene un recorrido asignado para la pasada de carro de herramienta, y en base al conjunto de recorridos ideales determinar un recorrido de constelación medio. El post-procesador puede verificar además que cada cabezal sea capaz de llegar a todos los puntos de las posiciones de recorrido correspondientes en base al recorrido de constelación.

Adicionalmente, el post-procesador 22 puede extender el recorrido medio y definir puntos de inicio y fin de constelación para la pasada, es decir, el post-procesador 22 puede especificar una posición en la que el cabezal de aplicación de material compuesto se puede poner o colocar en una configuración de constelación específica, y una posición en la que el cabezal de aplicación de material compuesto se puede volver a poner o volver a colocar en una configuración de constelación diferente. El post-procesador 22 puede conectar además los recorridos de constelación secuenciales a una cadena continua de recorridos direccionales, o un solo recorrido continuo.

Además, en base a los recorridos 30 y el recorrido de constelación correspondiente, el post-procesador 22 puede definir un recorrido relativo para cada cabezal de aplicación de material compuesto que tiene un recorrido asignado. Los recorridos relativos relacionan los recorridos individuales 30 con el recorrido de constelación. Consiguientemente, el post-procesador puede determinar soluciones de eje de máquina para controlar los movimientos de cabezales individuales con respecto al carro de herramienta en base a los recorridos relativos. Por ejemplo, el post-procesador 22 puede implementar lógica de cinemática clásica de máquinas para generar soluciones de posición de eje de máquina en base a los puntos de recorrido de constelación, los puntos de recorrido individuales y la superficie de la herramienta de fabricación o datos normales superficiales actualizados. Las soluciones de eje de máquina se pueden usar para controlar los movimientos de la máquina de aplicación de material compuesto por medio de servo motores, o cualquier accionador adecuado para producir el movimiento del cabezal de aplicación de material compuesto, carro de herramienta o herramienta de fabricación.

Dado que siempre hay al menos una dirección de movimiento de eje de máquina común compartida entre todos los cabezales de aplicación de material compuesto, los ejes de máquina de todos los cabezales se interpolan como un grupo. Sin embargo, los controladores CNO existentes no tienen la capacidad de interpolar un número relativamente grande de ejes en un solo grupo de interpolación. Así, con el fin de superar las limitaciones del controlador CNO existente en el número de ejes, el post-procesador 22, más bien que el controlador CNO, puede calcular la posición de eje de máquina individual, la velocidad, la aceleración, y la sacudida u oscilación en todos los puntos. El post-procesador 22 puede verificar además que las soluciones de eje de máquina no violen las limitaciones o especificaciones de la máquina y hacer ajustes menores en las soluciones de eje de máquina para producir transiciones físicas suaves, manteniendo al mismo tiempo recorridos exactos de aplicación de material compuesto. Así, el post-procesador puede sincronizar estrechamente las soluciones de eje de máquina de los cabezales de aplicación de material compuesto.

En base al recorrido de constelación, el post-procesador 22 puede definir una ruta de carro de herramienta y una ruta de herramienta de fabricación o mandril. Por ejemplo, el post-procesador 22 puede determinar una secuencia de pasadas direccionales del carro de herramienta a través de la superficie de la herramienta de fabricación o parte compuesta, y una secuencia de movimientos rotacionales o angulares para un mandril rotativo o movimientos de traslación para un mandril plano o contorneado. Dado que el movimiento de los cabezales de aplicación de material compuesto sobre la herramienta de fabricación o superficie de parte compuesta depende de la posición relacional del carro de herramienta con respecto a la herramienta de fabricación, algunos movimientos de los cabezales de aplicación de material compuesto sobre la herramienta de fabricación o superficie de parte compuesta pueden ser determinados por cambios en la posición del carro de herramienta, la posición de la herramienta de fabricación, o ambas. Así, la ruta de herramienta de fabricación y la ruta de carro de herramienta pueden ser interdependientes.

Consiguientemente, el post-procesador 22 puede sincronizar la ruta de herramienta de fabricación con la ruta de carro de herramienta para determinar una combinación eficiente u óptima de movimientos de herramienta de fabricación y carro de herramienta para obtener las posiciones relacionales requeridas en base al recorrido de constelación. Es decir, el post-procesador 22 puede implementar lógica de cinemática clásica de máquinas para generar simultáneamente soluciones de eje de máquina para el carro de herramienta y para la herramienta de fabricación con el fin de efectuar el recorrido de constelación. Además, el post-procesador 22 puede sincronizar estrechamente las soluciones de eje de máquina de cabezales individuales con el carro de herramienta y soluciones de eje de máquina de herramienta de fabricación con el fin de mantener un control exacto del cabezal de aplicación de material compuesto.

## ES 2 322 093 T3

En una realización preferida del generador de programa de parte compuesta 10, una relación de ejes maestro-esclavo a través de múltiples controladores CNO distribuidos se puede acomodar para gestionar el número relativamente grande de ejes de máquina coordinados. Por ejemplo, la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples puede ser controlada por un controlador CNO maestro y múltiples controladores CNO esclavos. El controlador maestro y los controladores esclavos pueden estar en red conjuntamente en un bus de alta velocidad que puede facilitar el intercambio de datos relevantes entre los varios controladores durante cada ciclo de interpolación. Así, el controlador maestro puede coordinar los ciclos de interpolación CNO individuales.

Por ejemplo, cada uno de los controladores CNO se puede configurar con tres canales de proceso, cada uno de los cuales puede tener un programa de parte permanente que se ejecuta cíclicamente durante actividades de aplicación de material compuesto. Los programas de parte permanentes pueden ser usados, por ejemplo, para coordinar el movimiento de cabezales individuales cuando el cabezal no está adyacente a la herramienta de fabricación o superficie de parte compuesta. Además, los programas de parte permanentes pueden ser usados para coordinar la carga de fondo incremental de datos de tabla de curvas en la memoria de controlador individual y controlar la secuencia de enganche de tabla de curvas a los servo ejes y flujos de datos de código auxiliares.

Además, con el fin de aumentar la tasa general de aplicación de material compuesto, el post-procesador 22 puede establecer una tasa de constelación, o la tasa de movimiento de un eje maestro -que puede corresponder, por ejemplo, al movimiento del carro de herramienta, al movimiento de la herramienta de fabricación, o a una combinación del movimiento del carro de herramienta y el movimiento de la herramienta de fabricación- a una de varias tasas predeterminadas que corresponden a varias operaciones de la máquina de aplicación de material compuesto por cada pasada del carro de herramienta. Por ejemplo, en una realización preferida, la tasa de constelación puede ser ajustada a una de tres tasas básicas, que corresponden a operaciones de la máquina de “añadir”, “tender” y “cortar” material compuesto. Generalmente, la tasa de constelación puede estar limitada por la dinámica del peor caso de cualquier cabezal activo de aplicación de material compuesto en cualquier punto del tiempo de una pasada del carro de herramienta, permitiendo el tiempo de aceleración y deceleración.

Además, el post-procesador 22 puede comprobar los límites de eje de máquina para todos los cabezales de aplicación de material compuesto, carro de herramienta y ejes de máquina de herramienta de fabricación con el fin de verificar que los límites de eje de máquina no se superen en ningún momento. Además, el post-procesador 22 puede comprobar todas las posiciones de cabezal de aplicación de material compuesto con el fin de asegurar que los recorridos de movimiento de los cabezales de aplicación de material compuesto estén libres de colisión. Además, el post-procesador 22 puede calcular e informar el uso total de material compuesto para el programa de parte compuesta.

Finalmente, el post-procesador 22 puede crear un archivo de salida, o un conjunto de archivos de salida, conteniendo los resultados de las soluciones de eje de máquina en un formato de datos que es compatible con el controlador CNO usado en unión con la máquina específica de aplicación de material compuesto. Por ejemplo, en una realización preferida del generador de programa de parte compuesta 10, el archivo de salida se puede escribir en un formato único de tabla de curvas que es compatible con la familia de controladores CNO Siemens 840D. En algunas realizaciones se puede crear un archivo de salida o un conjunto de archivos de salida para cada pasada de carro de herramienta definida por el programa de parte compuesta.

Por ejemplo, para cada pasada de carro de herramienta, el post-procesador 22 puede producir un archivo de tabla de curvas para cada eje de máquina para proporcionar datos posicionales, tales como pares de puntos de coordenadas de interpolación lineal o definiciones de funciones polinómicas, incluyendo las relaciones maestro-esclavo necesarias. Además, para cada pasada de carro de herramienta, el post-procesador 22 puede producir un archivo de tabla de curvas adicional para que cada cabezal de aplicación de material compuesto proporcione definiciones de código auxiliares, tal como datos de control de alimentación de material compuesto, datos de control de cuchilla, etc. Así, el post-procesador 22 puede crear múltiples programas de parte compuesta concurrentes para uso con un controlador CNO y una máquina de aplicación de material compuesto, tal como una máquina de laminación de cinta compuesta o una máquina automatizada de colocación de fibra (AFP) para fabricar una parte compuesta.

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

En una realización preferida de la invención, el post-procesador 22 puede crear un archivo de salida suplementario, o un conjunto de archivos de salida suplementarios, en un formato de datos que es compatible con el simulador de máquina 24. Por ejemplo, el post-procesador 22 puede producir un archivo de salida conteniendo un muestreo temporal de los datos posicionales de eje de máquina para uso por el simulador de máquina 24, que puede no ser capaz de interpretar el programa de parte compuesta, por ejemplo, en el formato de tabla de curvas Siemens 840D.

El simulador de máquina 24 puede recibir el archivo de salida o el archivo de salida suplementario y simular 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 simulador de máquina 24 puede modelar la

## ES 2 322 093 T3

máquina física, replicar las funciones del controlador CNO, y producir información de ciclo con el fin de facilitar la prevención de colisión de máquina y el refinamiento del proceso. Así, el simulador de máquina 24 puede eliminar el desperdicio y aumentar el valor económico del proceso de fabricación CNO.

5 Durante el desarrollo de un programa de parte compuesta, antes de ejecutar el programa en una máquina real de aplicación de material compuesto, el programa de parte compuesta, o el equivalente suplementario, puede ser simulada por el simulador de máquina 24 para verificar que el programa de parte compuesta no contiene errores, en particular, errores posicionales que podrían dañar potencialmente la máquina, como colisiones entre el cabezal de aplicación de material compuesto o entre un cabezal individual de aplicación de material compuesto y otras estructuras de la  
10 máquina.

El simulador de máquina 24 puede proporcionar realimentación de usuario, por ejemplo, por medio de una pantalla gráfica o mediante mensajes de precaución. El simulador de máquina 24 puede funcionar como un entorno interactivo de simulación 3-D. Así, el simulador de máquina 24 puede realizar la visualización y el análisis de la funcionalidad  
15 -por ejemplo, un proceso de aplicación o extracción de material compuesto- de la máquina física, incluyendo un controlador CNO. El simulador de máquina 24 puede permitir al usuario mejorar la calidad o eficiencia del programa de parte compuesta, eliminar errores catastróficos de programación, y optimizar los procesos de maquinado.

Por ejemplo, en una realización preferida de la invención, el simulador de máquina 24 se puede basar en el sistema de simulación DELMIA VNC, fabricado por Dassault Systèmes S.A. De Suresnes, Francia. Sin embargo, una versión  
20 existente de DELMIA VNC se limita a simular el movimiento de dieciocho o menos ejes de máquina en un modo de simulación sincronizado. Con el fin de soportar simulación de un mayor número de ejes, cada cabezal de aplicación de material compuesto puede ser definido como un dispositivo separado o independiente que tiene cinco ejes. Los cabezales individuales de aplicación de material compuesto pueden ser sincronizados en la simulación simulando  
25 señales de comunicación digitales (E/S) entre los dispositivos. Este proceso de simulación puede permitir la simulación sincronizada de un mayor número de ejes; por ejemplo, una máquina con cuarenta y dos ejes ha sido simulada en modo sincronizado usando este proceso.

Los dispositivos de laminado que incluyen generalmente múltiples cabezales de dispensación y, más en concreto, tecnología de laminadora de cinta de cabezales múltiples (MHTFM) proporcionan la posibilidad de incrementar de  
30 forma significativa la tasa de colocación de cinta compuesta. Sin embargo, sin simulación y modelado adecuados, la optimización de las configuraciones de los cabezales, los recorridos y análogos es un problema caro y lento. El simulador de tasa 23 incluye un programa de simulación de eventos discretos que imita las funciones de una MHTLM propuesta y predice su rendimiento potencial. El simulador de tasa 23 proporciona estadística detallada de una MH-  
35 TLM particular y algoritmo de asignación de cabezal para ingenieros de diseño y otros usuarios. El simulador de tasa 23 permite la predicción y verificación del rendimiento de un diseño propuesto de MHTLM y algoritmo de asignación de cabezal sin construcción real. Es decir, se pueden comprobar diseños MHTLM hipotéticos y es posible un amplio estudio comercial de los diferentes diseños. Esto puede reducir de forma significativa el costo y el tiempo de desarrollo y facilitar el diseño de una configuración de MHTLM óptima así como un algoritmo óptimo de asignación de cabezal.  
40 El simulador de tasa 23 también genera una recogida de valiosos datos estadísticos de operaciones de cabezales y recorridos para uso por parte de los ingenieros de diseño al construir el hardware.

El simulador de tasa 23 está configurado para simular geometría plana, cilíndrica y/o irregular usada por MHTLM, máquina de laminación de cinta contorneada (CTLM), laminadora de cinta plana (FTLM), o cualquier máquina cono-  
45 cida de colocación de cinta. Los datos estructurales de un diseño particular de MHTLM y/o una herramienta particular se usan para generar un modelo de sistema representativo. Cambiando los parámetros de diseño, es posible un amplio estudio comercial de muchos diseños de MHTLM. Dados los datos de pliegue deseados, el simulador de tasa 23 estima tasas de colocación de material de un diseño concreto y reporta varios datos estadísticos detallados de varios aspectos del rendimiento. La detallada presentación visual del proceso de simulación también mejora la potencia del simulador  
50 de tasa 23. Es decir, viendo una imagen y/o película simulada del diseño MHTLM que fabrica el elemento compuesto dado, los ingenieros de diseño y otros usuarios reciben información que permite una identificación rápida y eficiente de problemas potenciales. Además, la información en este formato proporciona una potente herramienta de marketing para usuarios más familiarizados con medios visuales.

55 La figura 3 es un diagrama de bloques de una arquitectura de sistema para el simulador de máquina 24 según una realización de la invención. Como se representa en la figura 3, el simulador de máquina 24 incluye un gestor de datos MHTLM 50, generador de recorrido 18, gestor de cabezal de tramo 20, generador de constelación de cabezales 56, gestor de eventos MHTLM 58, y visualizador de constelación de cabezales 60.

60 El gestor de datos MHTLM 50 accede y envía datos, según sea apropiado, a los otros varios módulos del simulador de máquina 24. Por ejemplo, el gestor de datos MHTLM 50 accede a un conjunto de datos de control de simulación 62. El conjunto de datos de control de simulación 62 incluye un archivo de datos de herramienta deseado 64, archivo de datos de orientación de cinta 66, y archivo de datos de petición de presentación visual 68. Además, el gestor de datos MHTLM 50 accede a un archivo de configuración MHTLM 70 y archivo de datos de geometría de pliegues 72.  
65 El gestor de datos MHTLM 50 comunica además con el generador de recorrido 18, el gestor de cabezal de tramo 20, el generador de constelación de cabezales 56, el gestor de eventos MHTLM 58, y el visualizador de constelación de cabezales 60 y suministra los datos pedidos, según sea apropiado, a estos módulos.

## ES 2 322 093 T3

El proceso de encintado para una geometría de pliegues dada se divide en una serie de recorridos de cinta sobre los que la MHTLM aplica cinta. El simulador de máquina 24 recibe un conjunto de recorridos ideales que han sido calculados por el generador de recorrido 18 y se basan en una representación numérica de la herramienta de fabricación 28 y la cinta a aplicar. El generador de recorrido 18 calcula recorridos para aplicación de la cinta en el elemento compuesto. Por ejemplo, dado un elemento compuesto esencialmente cilíndrico tal como el formado en la herramienta de fabricación 28 de la figura 2, el generador de recorrido 18 puede calcular un espacio bidimensional equivalente correspondiente a la superficie de la herramienta de fabricación 28. Dados los datos de geometría de pliegues 72 (en polígonos anidados, por ejemplo) y archivo de datos de orientación de cinta 66, el generador de recorrido 18 calcula los recorridos que cubren los pliegues deseados en una anchura apropiada de la cinta. Los recorridos calculados se denominan típicamente recorridos “ideales”. Esta información es utilizada para generar un modelo ideal de recorrido y superficie 74. En otros ejemplos, el generador de recorrido 18 puede calcular recorridos para superficies planas, contorneadas y/o irregulares.

Como se ha descrito en la figura 5, el gestor de cabezal de tramo 20 genera una secuencia de pasadas de “constelación”. Una constelación es una disposición de posiciones relativas de cabezal. En una realización, la disposición relativa de posiciones de cabezal es esencialmente fija para una constelación dada. Esta disposición está configurada para satisfacer las limitaciones impuestas por la MHTLM con respecto a dónde se pueden colocar los cabezales sin interferir uno con otro, con la estructura de la MHTLM, y/o con la estructura de la herramienta de fabricación 28. Se puede generar diseños de constelación separados para alguna o cada combinación de ángulo de pliegue y dirección de recorrido (hacia adelante o hacia atrás a lo largo del recorrido), y cuando se cambia un aspecto de la configuración de la MHTLM y/o la herramienta de fabricación 28.

Dado el modelo ideal de recorrido y superficie 74, los datos de geometría de pliegues 72, y el archivo de datos de orientación de cinta 66, el gestor de cabezal de tramo 20 genera una secuencia del archivo de pasadas de constelación 76. Para cada pasada, a los cabezales se les asigna recorrido particular. También se asigna la dirección de movimiento de toda la constelación para esta pasada.

El generador de constelación de cabezales 56 determina una constelación de cabezales para un conjunto dado de parámetros. Más en concreto, dado el archivo de datos de orientación de cinta 66 y el archivo de configuración de MHTLM 70, el generador de constelación de cabezales 56 calcula una constelación consistente con la necesidad de asignación de cabezal para la orientación especificada. Esta información se guarda en un archivo de datos de constelación 78.

El gestor de eventos MHTLM 58 incluye 2 módulos, un módulo de movimiento 58A que determina movimientos específicos de los cabezales y un módulo de temporización 58B que genera predicciones de rendimiento e informes de tiempo. Los movimientos de cabezal o los eventos de cabezal incluyen generalmente rotaciones de cabezal en los varios ejes, eventos de adición y corte de cinta, y análogos. Por ejemplo, cuando la constelación de cabezales esté pasando por los recorridos asignados en cada pasada, el cabezal de cinta girará según sea apropiado, realizará acciones de adición y/o corte y colocará la cinta sobre la zona especificada. El módulo de movimiento 58A genera el evento para cada cabezal para las varias acciones que tienen lugar durante el recorrido particular. Después de terminar el cálculo de estos eventos para toda la constelación de cabezales para una pasada particular, el módulo de temporización 58B una y clasifica los varios eventos y calcula el tiempo transcurrido para realizar la pasada. El módulo de temporización 58B también recoge una variedad de datos adecuados de cada evento para referencia posterior. Ejemplos de tales datos adecuados incluyen usos de cinta, información de recorridos especiales, y análogos. Al final del proceso de encintado de un pliegue dado, se registra el tiempo. Se envía un resumen de los datos de estos eventos como un archivo de eventos de cabezal 80 y/o un archivo de predicción de rendimiento e informe de tiempo 82. Estos informes pueden ser evaluados por los ingenieros u otros usuarios, por ejemplo.

El visualizador de constelación de cabezales 60 genera medios visuales en base a modelos numéricos asociados y/o cálculos de movimiento. El visualizador de constelación de cabezales 60 recibe los varios archivos de datos, modelos, y/o eventos del gestor de datos MHTLM 50 para generar imágenes 2D y/o 3D, y/o vídeo del proceso de encintado en forma de un archivo de salida visual 84. El archivo de salida visual 84 del visualizador de constelación de cabezales 60 se puede ver en cualquier formato adecuado. El visualizador de constelación de cabezales 60 puede además estar configurado para modificar el ángulo de visión, la distancia, la iluminación 3D, y presentar el tiempo de simulación.

La figura 3 también es un diagrama de bloques de una arquitectura de sistema para el simulador de tasa 23 según una realización de la invención. El simulador de tasa 23 incluye una arquitectura de sistema que es ampliamente similar al simulador de máquina 24 y así, por razones de brevedad, solamente se describirán más adelante los elementos diferentes. Una diferencia entre los dos es que el simulador de tasa 23 utiliza datos relativamente menos detallados que el simulador de máquina 24. Más en concreto, el simulador de tasa utiliza datos preliminares generados por el generador de recorrido 18, el gestor de cabezal de tramo 20, y el generador de constelación de cabezales 56. Es una ventaja del simulador de tasa 23 que los resultados predictivos en base a los datos menos detallados pueden ser generados más rápidamente. La rápida generación de múltiples configuraciones proporciona a los ingenieros la oportunidad de probar múltiples escenarios de “qué si” y por ello optimizar el proceso de fabricación. En la práctica, el simulador de tasa 23 puede ser utilizado de forma relativamente precoz en el diseño del proceso de constelación para identificar configuraciones prometedoras. Estas configuraciones prometedoras pueden ser utilizadas posteriormente como el punto de inicio de análisis adicional.

## ES 2 322 093 T3

La figura 4 es un diagrama de flujo de un método 90 que ilustra pasos que pueden seguirse para asignar y simular movimientos de cabezal según la realización de la figura 3. Como se representa en la figura 4, el método 90 se inicia generando la constelación 78 en el paso 92. La constelación 78 es generada en el paso 92 por el generador de constelación de cabezales 56 en respuesta a recibir el archivo de configuración de MHTLM 70, el archivo de datos de geometría de pliegues 72, y el archivo de datos de orientación de cinta 66.

En el paso 94, el modelo ideal de recorrido y superficie 74 es generado por el generador de recorrido 18 en respuesta a recibir el archivo de datos de herramienta deseado 64.

En el paso 96, la secuencia del archivo de pasadas de constelación 76 es generada por el gestor de cabezal de tramo 20 en respuesta a recibir el modelo ideal de recorrido y superficie 74 y el archivo de datos de constelación 78.

En el paso 98, el archivo de eventos de cabezal 80 es generado por el gestor de eventos MHTLM 58 en respuesta a recibir la secuencia del archivo de pasadas de constelación 76.

En el paso 100, el archivo de predicción de rendimiento e informe de tiempo 82 es generado por el gestor de eventos MHTLM 58 en respuesta a recibir el archivo de eventos de cabezal 80.

En el paso 102, el archivo de salida visual 84 es generado por el visualizador de constelación de cabezales 60 en respuesta a recibir el archivo de eventos de cabezal 80.

Siguiendo el método 90, el simulador de máquina 24 puede estar inactivo o parar hasta que el método 90 sea iniciado de nuevo.

La figura 5 es un diagrama de sistema del gestor de cabezal de tramo 20 para asignar cabezales de suministro a tramos respectivos según una realización de la invención. En general, el gestor de cabezal de tramo 20 está configurado para maximizar la eficiencia y/o la tasa de colocación de la MHTLM. La MHTLM incluye un carro para soportar los múltiples cabezales. Cada vez que este carro pasa de un extremo de la herramienta de fabricación al otro extremo, se dice que el carro ha realizado una pasada. Idealmente, todos los cabezales dispensarán cinta durante la pasada. En general, incrementando la eficiencia de la asignación de cabezales, se puede reducir el número total de pasadas requerido para fabricar el elemento compuesto. La eficiencia se define como el porcentaje medio de cabezales que están colocando cinta en cualquier tiempo concreto en comparación con el número total de cabezales. Sin embargo, en algunos casos esto no es apropiado, por ejemplo cuando la anchura de un pliegue no es suficientemente ancha para que todos los cabezales apliquen cinta.

Además, para maximizar la tasa de colocación de cinta, es deseable usar cinta relativamente ancha siempre que sea posible. Sin embargo, en algunos casos esto no es apropiado, por ejemplo cuando la anchura de un pliegue no es un múltiplo de la anchura de la cinta, o cuando la curvatura superficial produciría arrugas en una cinta ancha. Por lo tanto, el gestor de cabezal de tramo 20 acomoda cabezales que pueden incluir una variedad de características de cabezal y que pueden estar dispensando cinta que incluye una variedad de características de cinta. En general, las características de cabezal incluyen limitaciones o capacidades del cabezal particular. Los ejemplos de limitaciones y/o capacidades de cabezal incluyen uno o más de: capacidades de dispensación de anchura de cinta; requisitos de holgura de los cabezales; dimensiones de cada pliegue; ángulo de corte, tal como a tope, ahusado, etc; tamaño del cabezal; rango de movimiento; número de filas por cabezal; y análogos. Las características de cinta incluyen anchura, grosor, rigidez, curvatura en plano y/o capacidades de discontinuidad en pendiente, constituyentes de material, y análogos. Además el gestor de cabezal de tramo 20 puede acomodar otras varias características de cabezal y cinta.

Como se representa en la figura 5, el gestor de cabezal de tramo 20 incluye un pre-procesador de gestor de cabezal de tramo (CHM) 110, núcleo de gestor de cabezal de tramo (CHM) 112, y post-procesador de gestor de cabezal de tramo (CHM) 114.

En una realización, el gestor de cabezal de tramo 20 utiliza una disposición lógica 2D de recorridos de cinta, más bien que una representación 3D de los recorridos. El preprocesador CHM 110 accede a los recorridos 3D relativamente complejos definidos por el generador de recorrido 18, comprueba y corrige errores tales como, por ejemplo, quitar puntos redundantes y análogos, y genera un archivo 116 que incluye los recorridos 2D lógicos que son utilizados por el núcleo CHM 112. Para reducir la complejidad de esta disposición lógica 2D, se puede suponer que cada recorrido tiene esencialmente la misma anchura (anchura nominal de la cinta + intervalo ordenado nominal). Además, el pre-procesador CHM 110 realiza varias pruebas en los recorridos 3D para determinar qué recorridos pueden ser asignados a cabezales especializados. Para reducir la complejidad de asignación de cabezales, cada recorrido puede ser asignado a un solo cabezal de cinta en cualquier pasada dada.

Los recorridos producidos por el generador de recorrido 18 incluyen una colección de tramos de cinta tal como los tramos de cinta 36. Un tramo es un segmento de cinta que se ha de colocar. Cada tramo referencia un recorrido, que es el recorrido 3D que una línea central de cinta tomaría a través de la herramienta de fabricación 28 o superficie del mandril. Típicamente, cada recorrido soporta de 1 a 4 tramos; sin embargo la asociatividad es tramo a recorrido, no recorrido a tramo. Algunos recorridos pueden no tener tramos más grandes que la longitud mínima que puede ser colocada, y por lo tanto se pueden considerar recorridos vacíos.

## ES 2 322 093 T3

El pre-procesador CHM 110 agrupa tramos de cinta proporcionados por el generador de recorrido 18 a sus recorridos asociados, y clasifica los recorridos por orden (izquierda a derecha, arriba abajo), usando algoritmos de clasificación que emplean coordenadas cilíndricas y/o coordenadas cartesianas. El núcleo CHM 112 determina los recorridos en base al orden de recorridos, conjuntamente con las anchuras de recorrido nominales asociadas. Como tal, los recorridos vacíos se pueden conservar en la estructura lógica si modifican la geometría. Por ejemplo, los recorridos vacíos que separan recorridos no vacíos pueden modificar la estructura o la disposición de los recorridos.

Además, el pre-procesador CHM 110 determina si los tramos de cinta cumplen un conjunto predeterminado de parámetros en base a factores como, por ejemplo, características de cinta, características de cabezal, curvatura de la herramienta de fabricación 28, y análogos. Más en concreto, el pre-procesador CHM 110 puede determinar si cada tramo de cinta incluye una anchura de cinta completa sustancialmente constante. El pre-procesador CHM 110 puede determinar además si la curvatura en plano y/o discontinuidad en pendiente de cada tramo de cinta excede de un umbral predeterminado a través de la longitud del tramo. Si se determina que estos u otros parámetros exceden de los respectivos valores umbral, el pre-procesador CHM 110 puede marcar el tramo particular y/u otros tramos que forman el pliegue para indicar el uso de un cabezal especializado. De esta manera, el pre-procesador CHM 110 puede reducir o eliminar el rizado de la cinta aplicada u otros problemas potenciales.

El núcleo CHM 112 generalmente asigna los recorridos lógicos de cinta a cabezales específicos en pasadas específicas del carro de herramienta. Matemáticamente hablando, demostrar que una asignación particular de cabezales es más eficiente que cualquier otra posible asignación de cabezales es un problema computacionalmente intratable. Por lo tanto, una realización del núcleo CHM 112 incluye una combinación de heurística y optimización a pequeña escala para determinar asignaciones de cabezales. Además, el núcleo CHM 112 tiene en cuenta los tipos de configuraciones MHTLM utilizadas durante el proceso de determinación. Estas configuraciones MHTLM incluyen generalmente: máquinas laminadoras que solamente incluyen cabezales estándar o solamente incluyen un tipo de cabezal; y máquinas laminadoras que incluyen al menos un cabezal especial.

El núcleo CHM 112 está configurado para utilizar el concepto de una constelación para determinar asignaciones de cabezales para máquinas laminadoras que solamente incluyen un tipo de cabezal o cabezales de cinta estándar, cada uno de los cabezales puede aplicar cinta a cualquier recorrido. Una constelación es una disposición de posiciones de cabezal que permanece relativamente fija durante una pasada. El núcleo CHM 112 determina o selecciona una constelación particular que satisface las limitaciones impuestas por la MHTLM con respecto a dónde se pueden colocar los cabezales sin interferir uno con otro, la estructura de la MHTLM, y/o la herramienta de fabricación 28. Además, la constelación particular seleccionada por el núcleo CHM 112 está configurada para satisfacer estas limitaciones cuando las posiciones de cabezal individuales son moduladas dentro de un presupuesto predefinido a lo largo de cada eje. Estos presupuestos predefinidos se establecen con el fin de permitir que los cabezales individuales sigan la geometría 3D exacta de sus recorridos asignados en la superficie de la herramienta de fabricación 28. Además, la constelación particular seleccionada por el núcleo CHM 112 puede proporcionar eficiencia a 100% en pliegues completos. Los pliegues completos se definen como los pliegues que cubren toda la superficie de la herramienta de fabricación 28. En una realización, esto se realiza construyendo la constelación de modo que un pequeño número de pasadas con la misma constelación cubra un bloque contiguo de recorridos, trabajando esencialmente cada cabezal todo el tiempo.

En una realización, para cada combinación de ángulo de pliegue y dirección de recorrido (hacia adelante o hacia atrás a lo largo del recorrido), se calcula o selecciona una constelación correspondiente. Por ejemplo, cuando se cambia esencialmente cualquier aspecto de la configuración general de la máquina, la constelación correspondiente se modifica consiguientemente.

En una realización, el núcleo CHM 112 está configurado para optimizar la asignación de cabezal para cualquier cabezal especial presente. Por ejemplo, el núcleo CHM 112 puede utilizar optimización “exhaustiva” para máquinas laminadoras con uno o unos pocos cabezales especiales, siendo el resto cabezales estándar. Es decir, el núcleo CHM 112 está configurado para forzar la asignación de cabezales especiales presentes de tal manera que cada cabezal especial sea asignado a un recorrido que requiera el cabezal especial siempre que sea posible. En un ejemplo particular, el núcleo CHM 112 calcula asignaciones de cabezales usando las condiciones siguientes, en orden de prioridad decreciente: 1) no se ha asignado ningún recorrido a una pasada previa; 2) a cada cabezal especial se le asigna un recorrido que precisa dicho cabezal, si es posible; 3) se evitan los intervalos en la asignación de cabezales, a no ser que lo exija la no disponibilidad de suficientes cabezales especiales. Un “intervalo” se define aquí como un solo recorrido no vacío no asignado rodeado por recorridos asignados. El núcleo CHM 112 está configurado para reducir los casos de intervalos porque son generalmente difíciles de llenar eficientemente en una pasada posterior.

El núcleo CHM 112 puede generar además un archivo de asignación de cabezales 118 que incluye las asignaciones de cabezales. El post-procesador CHM 114 accede al archivo de asignación de cabezales 118 y el modelo ideal de recorrido y superficie 74 y generalmente asocia los recorridos 3D de cinta con sus respectivas asignaciones. Además, el post-procesador CHM 114 realiza varias tareas de limpieza y escribe código fuente APT que puede ser leído por el post CN. Esta información es utilizada para generar la secuencia de archivo de pasadas de constelación 76.

Una ventaja del gestor de cabezal de tramo 20 es una reducción significativa del tiempo del usuario y del gasto al preparar la fabricación de un elemento compuesto. Hasta la fecha, no hay ningún sistema computerizado capaz de asignar recorridos a una máquina laminadora de múltiples cabezales de suministro tal como la MHTLM. Como tal, en los sistemas convencionales, un ingeniero u otro usuario debe gastar mucho tiempo en determinar manualmente las

## ES 2 322 093 T3

5 asignaciones de cabezales. Los errores en estas asignaciones pueden dar lugar a ineficiencias de colocación y/o daño de la MHTLM y/o la herramienta de fabricación. A este respecto, otra ventaja del gestor de cabezal de tramo 20 es que se mejoran las eficiencias de colocación y se reducen los errores de asignación. Por ejemplo, el gestor de cabezal de tramo 20 puede tomar en cuenta más factores, limitaciones, y/o capacidad de forma más rápida y exacta de lo que puede hacer el usuario.

10 Otra ventaja adicional del gestor de cabezal de tramo 20 es que las asignaciones de cabezales pueden ser modeladas y/o simuladas y visualizadas en formato visual para evaluación por el usuario. Es decir, después de determinar una asignación viable de cabezales, las imágenes fijas y/o películas pueden ser visualizadas para el usuario por el visualizador de constelación de cabezales 60, por ejemplo. De esta manera, el usuario recibe un producto relativamente rápido y eficiente para evaluar la asignación de cabezales.

15 La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra una secuencia de pasos que pueden ser realizados para generar un programa de parte compuesta. El proceso puede comenzar pasando al paso número 120, "Recibir datos CAD", donde un generador de programa de parte compuesta puede recibir una definición de parte compuesta de un sistema CAD y convertir el formato de datos de definición de parte compuesta recibido, que puede ser único para el sistema CAD específico, a un formato que sea compatible con un generador de recorrido. Por ejemplo, como se ha explicado anteriormente, en el paso 122, "Crear definición de superficie", el generador de programa de parte compuesta puede crear un primer archivo de datos conteniendo la definición de superficie completa de una herramienta de fabricación o de una parte compuesta, y en el paso 124, "Crear definiciones de pliegue", el generador de programa de parte compuesta puede crear un segundo archivo de datos conteniendo definiciones de pliegue para los varios pliegues que forman la parte compuesta.

25 El proceso puede continuar entonces al paso 126, "Generar recorridos independientes de máquina", donde el generador de programa de parte compuesta puede definir recorridos, como se ha descrito anteriormente, que el cabezal de aplicación de material compuesto asociado con una máquina de aplicación de material compuesto puede seguir para aplicar un material compuesto sobre la superficie de la herramienta de fabricación, o sobre una superficie de pliegue anterior, con el fin de formar la parte compuesta. Como también se ha descrito anteriormente, el generador de programa de parte compuesta puede usar la superficie de la herramienta de fabricación y definiciones de límite de pliegue creadas en los pasos 122 y 124 para generar los recorridos. Además, como se ha explicado anteriormente, en el caso de una máquina de colocación de cinta, se pueden definir tramos de cinta individuales en base a las intersecciones de los recorridos con los límites de pliegue.

35 La figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra una secuencia de pasos detallados que pueden ser realizados con el fin de generar recorridos independientes de la máquina en el paso 126. En base a la definición de superficie de herramienta de fabricación, en el paso 138, "Seleccionar punto de semilla de pliegue", el generador de programa de parte compuesta puede seleccionar un punto de inicio apropiado dentro de un límite de pliegue en la superficie 2-D en que comenzar la generación de un pliegue dado. Esta selección puede ser realizada para cada pliegue definido de una secuencia.

40 A continuación, en el paso 140, "Tender recorridos", en base a la definición de superficie y las definiciones de pliegue, el generador de programa de parte compuesta puede tender recorridos paralelos en la superficie de referencia para cubrir toda la superficie en base a una anchura nominal del material compuesto, tomando en cuenta cualquier intervalo deseado entre las piezas de material. Como se ha explicado anteriormente, el generador de programa de parte compuesta puede analizar la superficie de la herramienta de fabricación y las definiciones de pliegue para generar los recorridos de aplicación de material compuesto, asegurando al mismo tiempo que cualesquiera intervalos o el solapamiento de recorridos adyacentes cumplan con el intervalo estándar, o especificación. Los recorridos también pueden ser optimizados según la forma superficial.

50 Después, en el paso 142, "Seleccionar superficie de referencia 2-D", el generador de programa de parte compuesta puede determinar una superficie de referencia bidimensional apropiada para representar la superficie de la herramienta de fabricación o la superficie de parte compuesta. Por ejemplo, el generador de programa de parte compuesta puede seleccionar una superficie simplificada que puede ser modelada fácilmente por una función matemática o un conjunto de funciones matemáticas para representar la herramienta de fabricación más compleja de la superficie de parte compuesta. En este caso, la herramienta de fabricación o superficie de parte compuesta se puede proyectar sobre la superficie simplificada, y la superficie simplificada puede ser "desenrollada" o aplanada para crear una superficie 2-D representativa sobre la que tender inicialmente los recorridos.

60 En el caso de un programa de máquina de laminación de cinta compuesta, en base a las intersecciones entre los límites de pliegue y los recorridos, en el paso 144, "Delinear tramos de cinta 2D", el generador de programa de parte compuesta puede delinear tramos de cinta bidimensionales correspondientes a cada recorrido dentro de los límites de cada pliegue de la secuencia. En el paso 146, "Definir cortes de cinta 2-D", el generador de programa de parte compuesta también puede delimitar las configuraciones exactas de corte de cinta requeridas para formar los tramos de cinta individuales en base a las intersecciones de los límites de pliegue y los recorridos.

65 Después de colocar los tramos 2-D, en el paso 148, "Transformar sobre superficie 3-D", el generador de programa de parte compuesta puede redefinir los recorridos en términos de la herramienta de fabricación 3-D real o la superficie de parte compuesta. Como se ha explicado anteriormente, esta transformación puede ser realizada, por ejemplo, apli-

## ES 2 322 093 T3

cando una función inversa a los datos 2-D en base a la función usada para crear la superficie de referencia. Finalmente, en el paso 150, “Actualizar superficie”, el generador de programa de parte compuesta puede actualizar la definición de superficie para añadir el grosor del material compuesto añadido a cada zona de pliegue de la secuencia, de modo que los recorridos 3-D y tramos de cinta definidos para la secuencia posterior puedan estar situados sobre la superficie de la secuencia corriente.

Con referencia de nuevo a la figura 6, después de generar los recorridos independientes de máquina en el paso 126, el control puede pasar al paso 128, “Generar recorridos específicos de máquina”, donde el generador de programa de parte compuesta puede asignar los recorridos independientes de máquina a cabezales de suministro específicos asociados con pasadas específicas del carro de herramienta de un tipo específico de máquina de aplicación de material compuesto para generar recorridos específicos de máquina. Como se ha descrito anteriormente, el generador de programa de parte compuesta puede realizar optimización específica de máquina para determinar las asignaciones más eficientes de cabezal de aplicación de material compuesto a recorrido.

La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra una secuencia de pasos detallados que pueden ser realizados con el fin de generar recorridos específicos de máquina en el paso 128. En base a las orientaciones de pliegue definidas y las direcciones de recorrido del carro de herramienta con relación a la superficie de la herramienta de fabricación (en cada una de dos direcciones a lo largo de los recorridos correspondientes), en el paso 152, “Resolver configuraciones de constelación”, el generador de programa de parte compuesta puede definir configuraciones de constelación de cabezales de aplicación de material compuesto correspondientes a cada combinación de orientación de pliegue, u orientación de fibra, y dirección de recorrido del carro de herramienta.

Después, en el paso 154, “Analizar recorridos 3-D”, el generador de programa de parte compuesta puede analizar la geometría 3-D de cada uno de los recorridos independientes de la máquina para determinar cuál, si lo hay, de los recorridos requieren una función especial de un cabezal de suministro especializado. A continuación, como se ha explicado mejor anteriormente, en el paso 156, “Crear recorridos lógicos 2-D”. El generador de programa de parte compuesta puede construir una representación 2D en base a la geometría 3-D de los recorridos para crear un conjunto ordenado de recorridos lógicos con igual espaciación.

Posteriormente, en el paso 158, “Asignar recorridos de cabezal especializado”, el generador de programa de parte compuesta puede realizar optimización específica de máquina para determinar las asignaciones más eficientes de cabezal a recorrido de aplicación de material compuesto, y asignar los recorridos que requieren funciones especiales de cabezal de aplicación de material compuesto a cabezales especializados específicos de pasadas específicas del carro de herramienta. Como se ha descrito anteriormente, el generador de programa de parte compuesta puede aplicar “optimización exhaustiva” para determinar la asignación más eficiente de los cabezales especializados.

Después, en el paso 160, “Asignar recorridos de cabezal estándar”, el generador de programa de parte compuesta también puede realizar optimización específica de máquina y asignar recorridos al cabezal estándar de aplicación de material compuesto. A continuación, en el paso 162, “Asociar recorridos a pasadas de carro de herramienta”, el generador de programa de parte compuesta puede asignar, o asociar, cada uno de los recorridos a una pasada específica de carro de herramienta sobre la superficie de la herramienta de fabricación. En algunas realizaciones, los pasos 158, 160 y 162 pueden ser sincronizados, por ejemplo, por una repetición iterativa de los pasos individuales, para producir la asignación general más eficiente de cabezales de aplicación de material compuesto. Después de determinar las asignaciones de cabezal a recorrido, en el paso 164, “Asociar recorridos 3-D”. El generador de programa de parte compuesta puede asociar los recorridos 3-D con las respectivas asignaciones 2-D de cabezal de aplicación de material compuesto y pasada de carro de herramienta.

Posteriormente, en el paso 166, “Delinear recorridos de constelación”, el generador de programa de parte compuesta puede delinear un recorrido de constelación. Por ejemplo, como se ha explicado anteriormente, el generador de programa de parte compuesta puede determinar un recorrido de constelación ideal con respecto a cada cabezal de aplicación de material compuesto que tenga un recorrido asignado para la pasada de carro de herramienta, y en base al conjunto de recorridos ideales determinar un recorrido de constelación medio, y conectar los recorridos de constelación resultantes a una cadena continua de recorrido direccional, o un solo recorrido continuo. Entonces, en el paso 168, “Determinar recorridos relativos de cabezales”, el generador de programa de parte compuesta puede definir un recorrido relativo para cada cabezal de aplicación de material compuesto que relacione los recorridos individuales con el recorrido de constelación.

Con referencia de nuevo a la figura 6, el control pasa al paso 130, “Calcular posiciones de eje de máquina”, donde el generador de programa de parte compuesta puede determinar soluciones de eje de máquina para controlar los movimientos de cabezales individuales con respecto al carro de herramienta en base a los recorridos relativos, controlar los movimientos del carro de herramienta, y controlar los movimientos de la herramienta de fabricación. Por ejemplo, como se ha descrito anteriormente, el generador de programa de parte compuesta puede implementar lógica de cinemática clásica de máquinas para generar soluciones de posición de eje de máquina de cabezal de aplicación de material compuesto en base a los puntos de recorrido de constelación, los puntos de recorrido individuales y la superficie de la herramienta de fabricación o datos normales superficiales actualizados. Así, como se ha explicado anteriormente, las soluciones de eje de máquina para el cabezal de aplicación de material compuesto, el carro de herramienta y la herramienta de fabricación pueden estar estrechamente sincronizadas. Además, el generador de programa de parte compuesta puede verificar que no se excedan los límites del eje de máquina en ningún momento, y comprobar todas

las posiciones de cabezal de aplicación de material compuesto para asegurar que los recorridos de movimiento de los cabezales estén libres de colisiones.

5 A continuación, en el paso 132, “Escribir archivo de salida CNO”, como se ha explicado anteriormente, el generador de programa de parte compuesta puede crear un programa de parte compuesta compuesto de un conjunto de archivos de salida conteniendo los resultados de las soluciones de eje de máquina en un formato de datos que sea compatible con el controlador CNO usado en unión con la máquina específica de aplicación de material compuesto, por ejemplo, en el formato de tabla de curvas Siemens 840D. A continuación, en el paso 134, “Escribir archivo de salida de simulación”, el generador de programa de parte compuesta puede crear opcionalmente un conjunto de archivos de salida suplementarios conteniendo un muestreo temporal de los datos posicionales de eje de máquina en un formato de datos de simulación.

15 Más tarde, en el paso 136, “Simular máquina”, el generador de programa de parte compuesta puede simular 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, como se ha descrito anteriormente, el generador de programa de parte compuesta puede modelar la máquina física, replicar las funciones del controlador CNO, y producir información de ciclo con el fin de facilitar la prevención de colisión de máquina y el refinamiento del proceso.

20 Las figuras 1, 3, 4, 5, 6, 7, y 8 son diagramas de bloques y diagramas de flujo de métodos, aparatos y productos de programa de ordenador según varias realizaciones de la presente invención. Se entenderá que cada bloque o paso de las ilustraciones de diagrama de bloques, diagrama de flujo y flujo de control, y combinaciones de las ilustraciones bloques en el diagrama de bloques, diagrama de flujo y flujo de control, se puede implementar mediante instrucciones de programa de ordenador u otros medios. Aunque se explican instrucciones de programa de ordenador, un aparato según la presente invención puede incluir otros medios, como hardware o alguna combinación de hardware y software, incluyendo uno o más procesadores o controladores, para realizar las funciones descritas.

30 A este respecto, la figura 1 ilustra el aparato de una realización incluyendo varios de los componentes clave de un ordenador de propósito general con el que se puede implementar una realización de la presente invención. Los expertos en la técnica apreciarán que un ordenador puede incluir muchos más componentes que los representados en la figura 1. Sin embargo, no es necesario que todos estos componentes generalmente convencionales se representen con el fin de describir una realización ilustrativa para llevar a la práctica la invención. El ordenador de propósito general puede incluir una unidad de procesamiento 12 y una memoria de sistema 14, que puede incluir memoria de acceso aleatorio (RAM) y memoria de lectura solamente (ROM). El ordenador también puede incluir memoria de almacenamiento no volátil, tal como una unidad de disco duro, donde se pueden guardar datos adicionales.

35 Una realización de la presente invención también puede incluir uno o más dispositivos de entrada o salida 28, tales como un ratón, teclado, monitor, y análogos. Se puede facilitar una pantalla para ver texto y datos gráficos, así como una interface de usuario para que el usuario pueda pedir operaciones específicas. Además, una realización de la presente invención puede estar conectada a uno o más ordenadores remotos mediante una interface de red. La conexión puede ser por una red de área local (LAN), red de área ancha (WAN), y puede incluir toda la circuitería necesaria para tal conexión. En una realización de la presente invención, la recogida de documentos incluye documentos recibidos por Internet. Otras realizaciones son posibles, incluyendo: una recogida local de documentos, es decir, todos los documentos en un ordenador, documentos almacenados en un servidor o un cliente en un entorno de red, etc.

45 Típicamente, las instrucciones de programa de ordenador se pueden cargar en el ordenador u otra máquina programable de propósito general para producir una máquina especializada, de tal manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otra máquina programable creen medios para implementar las funciones especificadas en los diagramas de bloques, diagramas esquemáticos o diagramas de flujo. Tales instrucciones de programa de ordenador también se pueden guardar en un medio legible por ordenador que, cuando se cargue en un ordenador u otra máquina programable, pueda hacer que la máquina funcione de una manera particular, de tal manera que las instrucciones almacenadas en el medio legible por ordenador produzcan un artículo manufacturado incluyendo medios de instrucción que implementan la función especificada en los diagramas de bloques, diagramas esquemáticos o diagramas de flujo.

55 Además, las instrucciones de programa de ordenador se pueden cargar en un ordenador u otra máquina programable para hacer que una serie de pasos operativos sean realizados por el ordenador u otra máquina programable para producir un proceso implementado por ordenador, de tal manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otra máquina programable realicen pasos para implementar las funciones especificadas en el diagrama de bloques, diagrama esquemático, diagrama de flujo o paso.

60 Consiguientemente, los bloques o pasos de las ilustraciones del diagrama de bloques, diagrama de flujo o flujo de control soportan combinaciones de medios para realizar las funciones especificadas, combinaciones de pasos para realizar las funciones especificadas y medios de instrucciones 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, pueden ser implementados por sistemas informáticos basados en hardware de propósito especial, o combinaciones de instrucciones de ordenador y hardware de propósito especial, que realizan las funciones especificadas o pasos.

## ES 2 322 093 T3

Por ejemplo, a efectos de ilustración solamente, una herramienta de software de entrada de datos de una aplicación de motor de búsqueda pueden ser unos medios representativos para recibir una consulta incluyendo uno o más términos de búsqueda. Similares herramientas de software 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 la interface de un elemento de procesado con un dispositivo de entrada controlado por el usuario, tal como un ratón, teclado, pantalla táctil, escáner, o análogos. Igualmente, una salida de una realización de la presente invención puede incluir, por ejemplo, una combinación de software de visualización, hardware de tarjeta vídeo, y hardware de visualización. Un elemento de procesado puede incluir, por ejemplo, un controlador o microprocesador, tal como una unidad central de proceso (CPU), unidad lógica aritmética (ALU), o unidad de control.

Las muchas características y ventajas de la invención son evidentes por la memoria descriptiva detallada, y así, se ha previsto que las reivindicaciones anexas cubran todas las características y ventajas de la invención.

Además, dado que los expertos en la técnica pensarán fácilmente en numerosas modificaciones y variaciones, no se desea limitar la invención a la construcción y operación exactas ilustradas y descritas, y consiguientemente, se puede recurrir a todas las modificaciones y equivalentes adecuados que caigan dentro del alcance de la invención.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 322 093 T3

## REIVINDICACIONES

5 1. Un método de modelar asignaciones de cabezales de una máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples que tiene un conjunto de cabezales, incluyendo el método:

recibir una geometría de pliegues (72) para una parte compuesta;

recibir una configuración (70) para la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples;

10 generar (92) una constelación de posiciones de cabezal en respuesta a la geometría de pliegues (72) y la configuración (70) para la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples;

15 asignar (96) una posición de cabezal de la constelación de posiciones de cabezal a un cabezal correspondiente del conjunto de cabezales; y

generar (102) un modelo gráfico que simule la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples aplicando el material compuesto sobre la parte compuesta en respuesta a las posiciones de cabezal asignadas.

20 2. El método según la reivindicación 1, incluyendo además:

recibir un archivo de herramientas deseado (64) correspondiente a la parte compuesta.

25 3. El método según la reivindicación 2, incluyendo además:

generar (94) un recorrido y un modelo de superficie de herramienta deseado en respuesta a recibir el archivo de herramientas deseado (64).

30 4. El método según la reivindicación 3, incluyendo además:

35 generar una secuencia de pasadas de constelación (76) en respuesta a recibir la constelación de posiciones de cabezal, el recorrido y el modelo de superficie de herramienta deseado, donde la secuencia de pasadas de constelación (76) incluye una constelación correspondiente de posiciones de cabezal para cada pasada de la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples a lo largo del modelo de superficie de herramienta deseado.

40 5. El método según la reivindicación 4, incluyendo además:

generar (98) un conjunto de eventos de cabezal en respuesta a la secuencia de pasadas de constelación, donde el conjunto de eventos de cabezal incluye instrucciones de movimiento para el conjunto de cabezales.

45 6. El método según la reivindicación 5, incluyendo además:

generar (100) un informe de predicción de rendimiento en respuesta a recibir el conjunto de eventos de cabezal.

50 7. El método según la reivindicación 5, incluyendo además:

generar un vídeo de una simulación de la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples aplicando material compuesto sobre el modelo de superficie de herramienta deseado en base al conjunto de eventos de cabezal.

55 8. Un sistema para modelar asignaciones de cabezales de una máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples que tiene un conjunto de cabezales, incluyendo el sistema:

un generador de constelación de cabezales (56) para generar una constelación de posiciones de cabezal en respuesta a recibir una geometría de pliegues (72) y una configuración (70) para la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples;

60 un gestor de asignación de cabezales (20) para asignar una posición de cabezal de la constelación de posiciones de cabezal a un cabezal correspondiente del conjunto de cabezales; y

65 un visualizador de constelación de cabezales (60) para generar un modelo gráfico que simula la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples aplicando el material compuesto sobre la parte compuesta en respuesta a recibir las posiciones de cabezal asignadas.

## ES 2 322 093 T3

9. El sistema según la reivindicación 8, incluyendo además:

un gestor de datos (50) para recibir datos de un conjunto de componentes del sistema y enviar datos al conjunto de componentes.

5

10. El sistema según la reivindicación 8, incluyendo además:

un generador de recorrido (18) para generar un recorrido y un modelo de superficie de herramienta deseado en respuesta a recibir un archivo de herramientas deseado (64) correspondiente a la parte compuesta.

10

11. El sistema según la reivindicación 10, donde:

el gestor de asignación de cabezales (20) está dispuesto para generar una secuencia de pasadas de constelación en respuesta a recibir la constelación de posiciones de cabezal, el recorrido y el modelo de superficie de herramienta deseado, donde la secuencia de pasadas de constelación incluye una constelación correspondiente de posiciones de cabezal para cada pasada de la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples a lo largo del modelo de superficie de herramienta deseado.

15

12. El sistema según la reivindicación 11, incluyendo además:

20

un gestor de eventos (58) para generar un conjunto de eventos de cabezal en respuesta a la secuencia de pasadas de constelación, donde el conjunto de eventos de cabezal incluye instrucciones de movimiento para el conjunto de cabezales.

25

13. El sistema según la reivindicación 12, donde el gestor de eventos (58) está configurado además para generar un informe de predicción de rendimiento en respuesta a recibir el conjunto de eventos de cabezal.

14. El sistema según la reivindicación 12, donde el visualizador de constelación de cabezales (60) está configurado además para generar un vídeo de una simulación de la máquina de aplicación de material compuesto de cabezales múltiples aplicando material compuesto sobre el modelo de superficie de herramienta deseado en base al conjunto de eventos de cabezal.

30

15. Un medio legible por ordenador que incorpora código de software dispuesto para realizar los pasos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

35

40

45

50

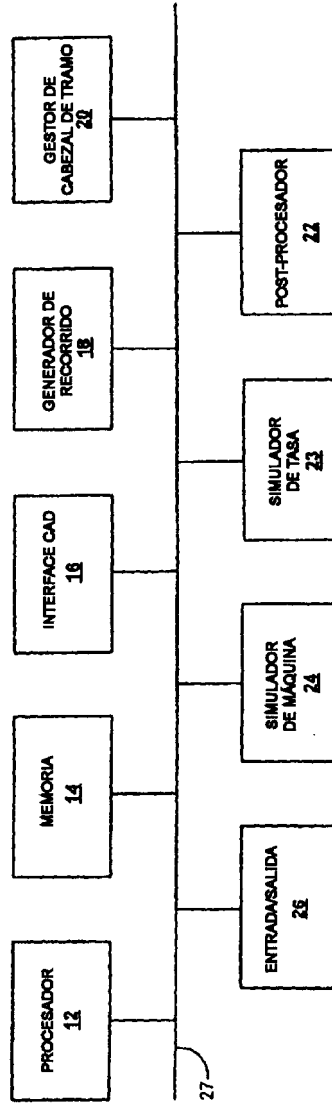
55

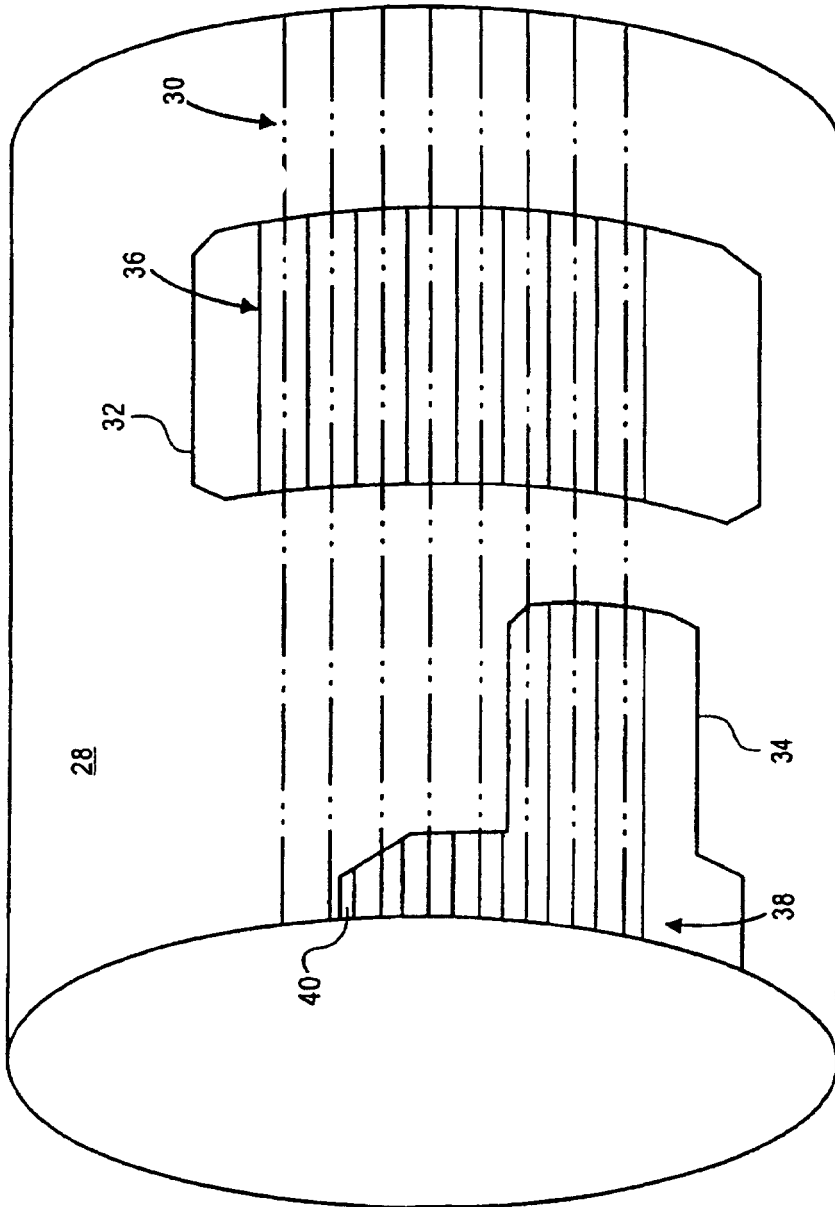
60

65

FIG. 1

GENERADOR DE PROGRAMA DE PARTE COMPUESTA  
10





**FIG. 2**

FIG. 3

23/24

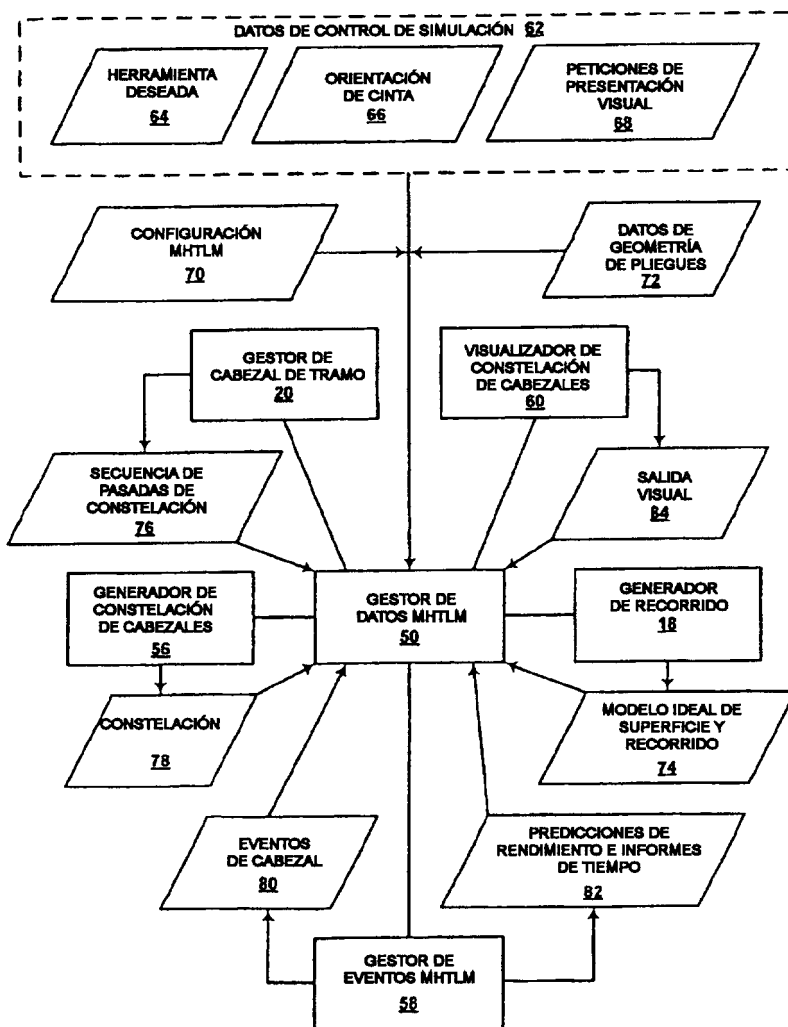


FIG. 4

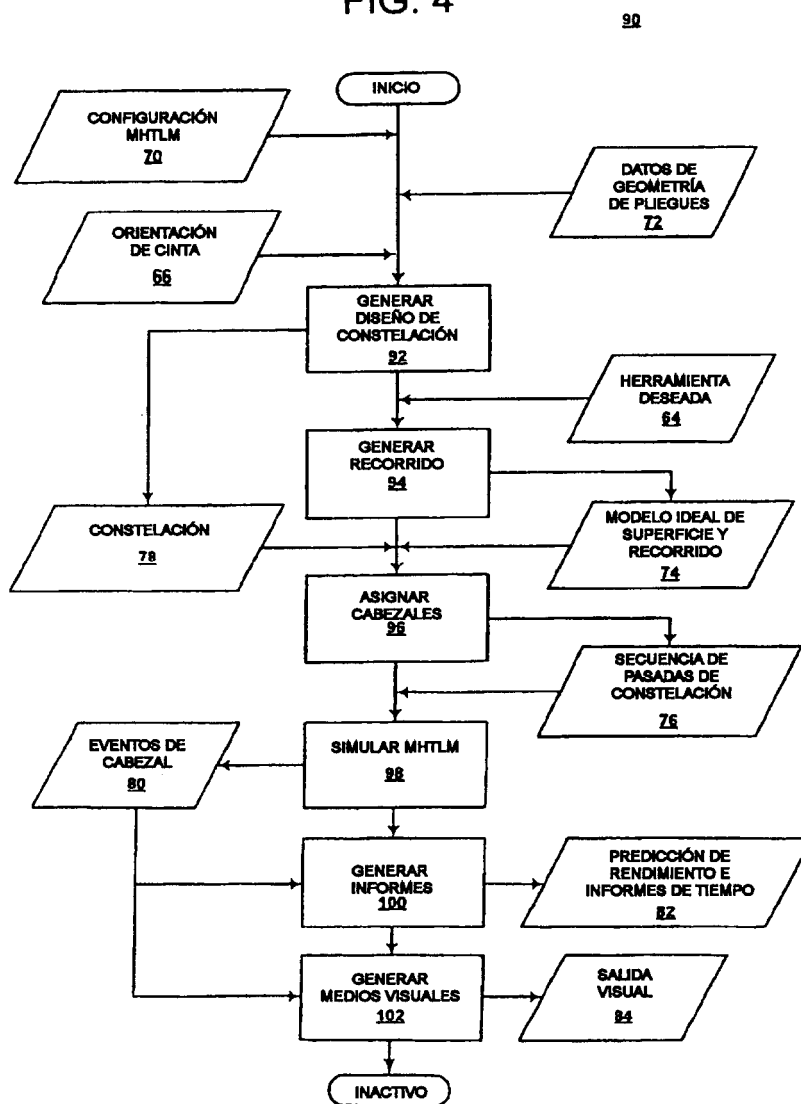


FIG. 5

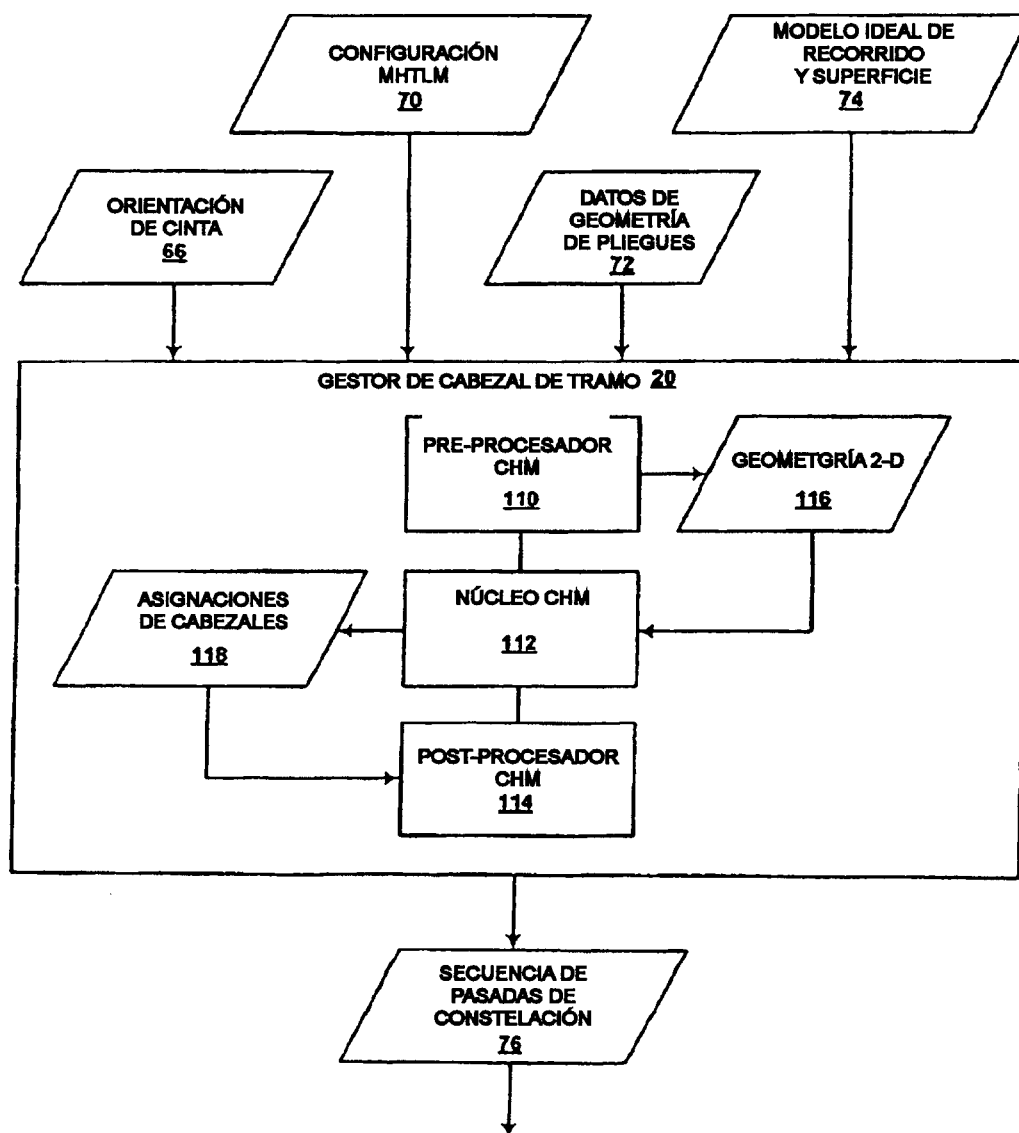


FIG. 6

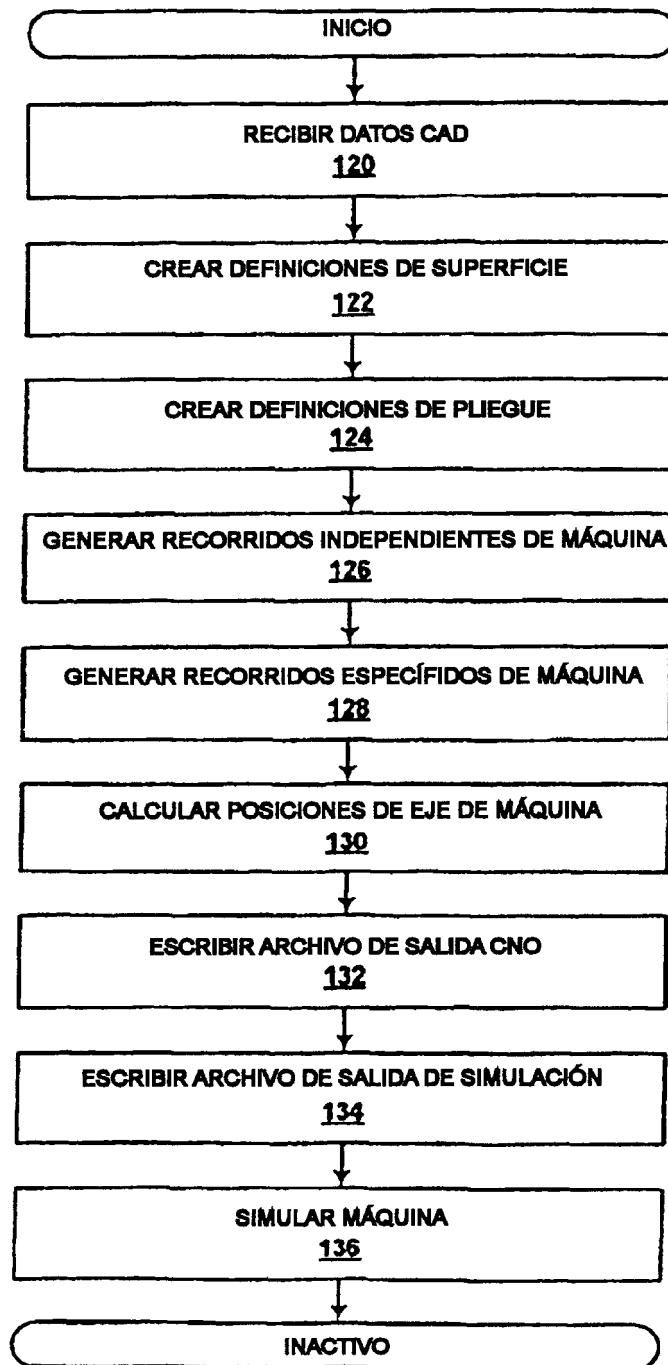


FIG. 7

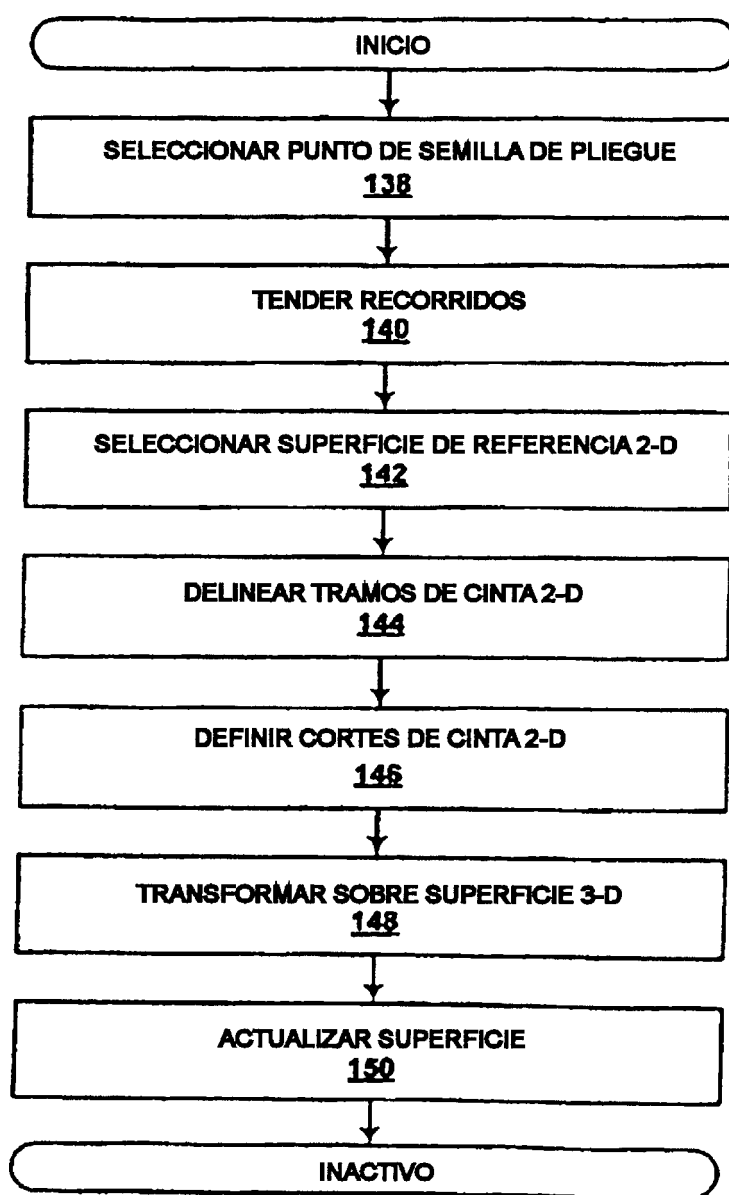


FIG. 8

