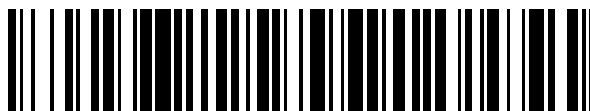


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 757 841**

51 Int. Cl.:

G06F 17/50 (2006.01)

B21D 22/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.07.2009** **PCT/JP2009/063532**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.04.2010** **WO10038539**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2009** **E 09817576 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019** **EP 2333684**

54 Título: **Método de simulación de conformación por presión, simulador de conformación por presión, programa, medio de grabación para ello, y método de conformación por presión basado en el resultado de la simulación**

30 Prioridad:

30.09.2008 JP 2008252730
30.09.2008 JP 2008253278

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.04.2020

73 Titular/es:

NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo, JP

72 Inventor/es:

SUZUKI NORIYUKI;
ARIGA TAKASHI;
UENISHI AKIHIRO y
YONEMURA SHIGERU

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 757 841 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 simulación de conformación por presión, simulador de conformación por presión, programa, medio de grabación para ello, y método de conformación por presión basado en el resultado de la simulación

5 La presente invención se refiere a un método de simulación de conformación por presión, un simulador de conformación por presión, un programa y un medio de grabación para ello y un método de conformación por presión basado en la simulación. Más particularmente, la presente invención se refiere a una simulación de conformación de materiales de plástico elástico tales como chapas de acero y chapas de aluminio, y materiales plásticos y materiales compuestos, y un método de conformación por presión basado en simulación.

10 Las piezas de automóviles y las piezas de productos eléctricos domésticos a menudo se han conformado por presión a partir de chapas metálicas delgadas, tales como chapas de acero y chapas de aluminio, hasta una configuración predeterminada utilizando herramientas superiores e inferiores que tienen salientes y muescas. Recientemente, se han empleado materiales de mayor resistencia y espesor reducido con el fin de proporcionar productos livianos conformados por presión. Sin embargo, cuando tales materiales de alta resistencia se conforman por presión, los materiales pueden deformarse elásticamente y a menudo se puede proporcionar un producto que
15 tiene una configuración diferente de una configuración en el punto muerto inferior de la herramienta. Cuando tal vuelta a su forma original (es decir, recuperación elástica) es grande en cantidad, la precisión de la pieza puede disminuir. Con el fin de evitar la disminución de la precisión de la pieza, la cantidad de recuperación generalmente se reduce modificando la configuración del producto para aumentar la rigidez. La configuración de la herramienta generalmente se modifica de antemano esperando la cantidad de recuperación.

20 Ya que los productos conformados por presión generalmente tienen configuraciones complicadas, no se distorsionan uniformemente durante la conformación. Por lo tanto, no es fácil especificar áreas que inducen la recuperación. Con el fin de abordar este problema, los documentos JP 2007-229724 A, JP 2008-49389 A y JP 2008-55476 A describen métodos de áreas específicas responsables de la ocurrencia de recuperación. En los métodos, el producto se divide en varias áreas de acuerdo con la distribución de tensiones en el punto muerto inferior de la herramienta en el
25 producto de interés, es decir, una configuración objetivo del producto de interés. La recuperación se analiza mientras el esfuerzo en cada área se cambia secuencialmente. Los métodos descritos en los documentos JP 2007-229724 A, JP 2008-49389 A y JP 2008-55476 A utilizan un método de elemento finito descrito en "Finite element method Handbook" (Manual del método de elemento finito) editado por Kyuichiro WASHIZY y col. Baifukan, 1981.

30 Los documentos JP 2006-272413 A, JP 2007-222906 A, JP 2008-12570 A y JP 2008-1844 2A describen métodos para controlar el esfuerzo residual interior que puede causar la recuperación. En los métodos descritos, las porciones y salientes en relieve se conforman previamente en áreas específicas que corresponden a configuraciones características de producto, cuyas porciones y salientes en relieve se aplanarán en el siguiente paso. El documento JP 2006-35245 A describe un método para conformar porciones y salientes en relieve en toda la superficie de una materia prima (es decir, una pieza en bruto) que se aplanará en el siguiente paso.

35 El documento WO 2008/084920 A1 describe un método de conformación de superficie curvada para una placa metálica, en la que el análisis del elemento finito no lineal de gran deformación elasto-plástica se realiza sobre una placa metálica que está conformada de modo que tenga una superficie curvada objetivo tridimensional de acuerdo con los resultados del análisis utilizando una pluralidad de punzones de conformación conectados a un aparato hidráulico.

40 K.P. Li y col. "Simulation of Springback with the Draw/Bend Test" (simulación de recuperación con ensayo de embutición/doblado), Intelligent Processing and Manufacturing of Materials (Procesamiento y Fabricación inteligente de Materiales), 1999, volumen 1, 10 de Julio de 1999, págs. 91.104, describe un análisis de longitud de la recuperación del ensayo de embutición/doblado, conducido utilizando tres materiales de chapas, varios coeficientes de fricción, un radio de troquel, y fuerzas de contención.

45 R.H. Wagoner y col. "Springback" (recuperación), ASM Handbook, volumen 14B, Metalworking: Sheet Forming, 2006, págs. 1-23, describe una introducción a los conceptos de la simulación de recuperación así como la recomendación para su puesta en práctica en una configuración de conformación de metal.

50 En los métodos descritos en los documentos JP 2007-229724 A, JP 2008-49389 A y JP 2008-55476 A, el producto se divide por adelantado en varias áreas. Por lo tanto, es necesario repetir el cálculo de recuperación, que consiste en resolver ecuaciones simultáneas a gran escala, para el número de áreas divididas. Tal cálculo repetido puede complicar la operación para especificar las áreas que inducen la recuperación. Los resultados del cálculo pueden variar según la forma en que se divide el producto (es decir, el tamaño y el número de áreas divididas). Por consiguiente, existe el problema de que es difícil especificar suficientemente las áreas que inducen la recuperación.

55 En vista de lo anterior, es un primer objeto de la presente invención proporcionar un método de simulación de conformación por presión, un dispositivo, un programa y un medio de grabación para ello que pueda utilizarse para una conformación por presión precisa mediante un cálculo simple para especificar eficientemente áreas que inducen la recuperación durante la conformación por presión de una chapa metálica delgada de una manera significativamente rápida y fiable, sin requerir cálculos complicados y que requieren mucho tiempo, tales como

operaciones matriciales de ecuaciones simultáneas a gran escala.

En los métodos descritos en los documentos JP 2006-272413 A, JP 2007-222906 A, JP 2008-12570 A y JP 2008-18442A se forman porciones o salientes en relieve sobre una superficie de banda o una superficie de brida. Las porciones o los salientes en relieve tienen secciones transversales en forma de U o en forma de sombrero y tienen configuraciones relativamente simples que se doblan a lo largo de una dirección de altura o una dirección longitudinal. Las porciones o los salientes en relieve se aplanan en la siguiente etapa. Sin embargo, las piezas de automóviles reales suelen tener una configuración complicada con salientes y muescas o aberturas para, por ejemplo, unir otras piezas. Por consiguiente, el esfuerzo o la distorsión durante la conformación no son uniformes en la superficie de la banda o en la superficie de la brida, sino que se distribuyen de manera complicada. Por consiguiente, los métodos descritos en los documentos JP 2006-272413 A, JP 2007-222906 A, JP 2008-12570 A y JP 2008-18442 A tienen el problema de que los efectos del relieve no se exhiben según las ubicaciones de las partes estampadas o que la recuperación puede aumentarse.

El método descrito en el Documento JP 2006-272413 A, JP 2007-222906 A, JP 2008-12570 A y JP 2008-18442 A también tiene un problema de fuerza de conformación aumentada con el fin de aplastar las porciones en relieve en toda la superficie en blanco. El esfuerzo de compresión ocurre cuando las porciones en relieve se aplanan, lo que puede convertirse en una fuerza motriz que puede aumentar la recuperación. Incluso si los métodos descritos en los documentos JP 2006-272413 A, JP 2007-222906 A, JP 2008-12570 A y JP 2008-18442 A y el método descrito en el documento JP 2007-229724 A se combinan, la recuperación durante la conformación por presión de un producto conformado por presión que tiene una configuración complicada no se ha evitado suficientemente.

En vista de lo anterior, es un segundo objeto de la presente invención proporcionar un método de conformación con una precisión dimensional excelente, con respecto a un producto conformado por presión que tiene una configuración complicada, especificando eficientemente áreas que inducen la recuperación durante la conformación por presión y que controlan la recuperación que ocurre en estas áreas.

El objeto anterior puede lograrse mediante las características definidas en las reivindicaciones.

Según la presente invención, las áreas que inducen la recuperación durante la conformación por presión del material elástico-plástico pueden especificarse mediante un simple cálculo en vez de cálculos complicados y que requieren mucho tiempo, tal como una operación matricial de ecuaciones simultáneas a gran escala. Como resultado, se puede proporcionar una conformación precisa. Según las características preferidas de la presente invención, las áreas que inducen la recuperación durante la conformación por presión del material elástico-plástico se especifican de manera aún más fiable y se puede proporcionar una conformación precisa. Según la presente invención, de acuerdo con los resultados de los métodos de simulación, incluso si el producto a procesar tiene una configuración complicada, que de áreas que inducen la recuperación durante la conformación por presión pueden especificarse de manera eficiente como una manera precisa y la recuperación inducida en las áreas se controla de manera que se pueda proporcionar un método de conformación por presión de un material elástico-plástico con una precisión dimensional excelente.

La invención se describe en detalle junto con los dibujos en los que:

La fig. 1 es una vista en perspectiva esquemática de una configuración objetivo de conformación ejemplar de una chapa metálica delgada de interés para la simulación de conformación (es decir, una configuración en el punto muerto inferior de la conformación) según la presente realización.

La fig. 2 es un diagrama esquemático de un elemento de estructura de cuatro nodos.

La fig. 3 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente una configuración de un simulador de conformación según la primera realización.

La fig. 4 es un diagrama de flujo de un método de simulación de conformación según la primera realización ilustrada paso a paso.

La fig. 5A es un diagrama esquemático de un producto metálico (es decir, una chapa de acero de alta resistencia a la tracción) utilizado en la primera realización.

La fig. 5B es una vista ampliada de una porción A en la FIG. 5A.

La fig. 6 es un diagrama esquemático que ilustra la distribución de una cantidad desplazada de recuperación obtenida formando una simulación después de liberar el producto metálico.

La fig. 7A es un diagrama esquemático de un dispositivo de presentación gráfico ejemplar de una sección de presentación según la primera realización.

La fig. 7B es un diagrama esquemático de un dispositivo de presentación gráfico ejemplar de la sección de presentación según la primera realización.

La fig. 8 es un diagrama esquemático de los resultados de deformación de un producto metálico según un ejemplo comparativo de la primera realización.

La fig. 9 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente una configuración de un simulador de conformación según la segunda realización.

- 5 La fig. 10 es un diagrama de flujo de un método de simulación de conformación según la segunda realización ilustrada paso a paso.

La fig. 11A es un diagrama esquemático de un producto metálico (es decir, una chapa de acero de alta resistencia) utilizado en la segunda realización.

La fig. 11B es una vista ampliada de una porción A en la fig. 11A.

- 10 La fig. 12 es un diagrama esquemático que ilustra una distribución de una cantidad desplazada de recuperación obtenida mediante la simulación de conformación después de liberar el producto metálico.

La fig. 13A es un diagrama esquemático de un dispositivo de presentación gráfico ejemplar en una sección de presentación según la segunda realización.

- 15 La fig. 13B es un diagrama esquemático de un dispositivo de presentación gráfico ejemplar en la sección de presentación según la segunda realización.

La fig. 14 es un diagrama esquemático de los resultados de deformación de un producto metálico según un ejemplo comparativo de la segunda realización.

La fig. 15 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente una configuración de un simulador de conformación según la tercera realización.

- 20 La fig. 16 es un diagrama de flujo de un método de simulación de conformación según la tercera realización ilustrada paso a paso.

La fig. 17A es una vista en perspectiva de un producto metálico (es decir, una chapa de acero de alta resistencia) utilizado en la tercera realización.

La fig. 17B es una vista parcial ampliada de la fig. 17A.

- 25 La fig. 18 es un diagrama esquemático que ilustra una distribución de la cantidad desplazada de recuperación obtenida mediante la simulación de conformación después de liberar el producto metálico.

La fig. 19 es un diagrama esquemático de un dispositivo de presentación gráfico ejemplar en una sección de presentación según la tercera realización.

- 30 La fig. 20 es un diagrama esquemático de los resultados de deformación de un producto metálico según un ejemplo comparativo de la tercera realización.

La fig. 21 es un diagrama esquemático que ilustra una configuración interna de un terminal de usuario personal según una cuarta realización.

La fig. 22 es una vista esquemática en perspectiva de un producto ejemplar conformado por presión de una chapa metálica delgada de interés que está sujeta a conformación por presión.

- 35 La fig. 23 es un diagrama esquemático que ilustra una distribución de una cantidad desplazada de recuperación obtenida mediante la simulación de conformación después de liberar el producto metálico.

La fig. 24 es un diagrama esquemático que ilustra la distribución de esfuerzo en el punto muerto inferior de la herramienta en un producto metálico obtenido mediante la simulación de conformación.

- 40 La fig. 25 es un diagrama esquemático que ilustra una distribución de un grado de influencia sobre la distorsión de un producto metálico obtenido mediante la simulación de conformación según una quinta realización.

La fig. 26 es una vista en planta de un producto conformado en una primera etapa de conformación por presión según la quinta realización.

La fig. 27 es una vista en sección transversal del producto conformado en la primera etapa de conformación por presión y una herramienta tomada a lo largo de la línea A-A en la FIG. 26 según la quinta realización.

- 45 La fig. 28 es una vista en planta de un producto conformado en una segunda etapa de conformación por presión según la quinta realización.

La fig. 29 es una vista en sección transversal del producto conformado en la segunda etapa de conformación por presión y una herramienta tomada a lo largo de la línea A-A en la FIG. 28 según la quinta realización, y

La fig. 30 es un diagrama esquemático de una herramienta interna en relieve cilíndrica según la quinta realización.

En lo sucesivo, se describirán realizaciones de la presente invención con referencia a la simulación de conformación por presión de chapas metálicas delgadas. Las aplicaciones de la presente invención, sin embargo, no se limitan a la simulación de conformación por presión de chapas metálicas delgadas. La presente invención también se puede aplicar, por ejemplo, a la simulación de conformación por presión de materiales elástico-plástico, tales como materiales plásticos y materiales compuestos.

Con referencia ahora a las Figs. 1 a 8, se describirá en detalle una primera realización de la presente invención.

La fig. 1 es una vista en perspectiva esquemática de una configuración ejemplar en un punto muerto inferior de la herramienta de una chapa metálica delgada de interés para conformar simulación (es decir, una configuración de objetivo de conformación) según una realización de la presente invención.

La fig. 1 incluye un área de malla M que representa un elemento finito sobre una chapa metálica 10 delgada. Un elemento de estructura de cuatro nodos como se ilustra en la fig. 2 se utiliza en la presente memoria como el elemento finito. El elemento de estructura de cuatro nodos tiene seis grados de libertad haciendo referencia cada nodo a un sistema de coordenadas general como se representa en la siguiente Ecuación (1). Cada punto de integración tiene tres componentes de esfuerzo plana como se representa en la siguiente ecuación (2). Aunque no se ilustra, los puntos de integración están ubicados en varias capas (cinco en la presente realización) en una dirección de espesor de la chapa metálica delgada.

$$\{u \quad v \quad w \quad \theta_x \quad \theta_y \quad \theta_z\} \quad \dots(1)$$

Grado de libertad de los nodos:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad \dots(2)$$

Tensor de esfuerzo de punto de integración:

En primer lugar, se calcula un vector de fuerza nodal equivalente de elemento para cada elemento finito utilizando la siguiente Ecuación (3). Aunque el vector de fuerza nodal equivalente del elemento se calcula para cada elemento finito en el presente documento, el vector de fuerza nodal equivalente del elemento se puede calcular alternativamente para cada grupo de elementos finitos que consisten en varios elementos finitos.

$$\{f\}_e = \int_e [L]^T [B] \{\sigma\} dV = \begin{Bmatrix} N_x^i \\ N_y^i \\ N_z^i \\ M_x^i \\ M_y^i \\ M_z^i \end{Bmatrix} \quad \dots(3)$$

Vector nodal equivalente de elemento:

En la ecuación (3), [L] representa una matriz de transformación de coordenadas y [B] representa una matriz de relación entre desplazamiento y deformación. La matriz de transformación de coordenadas [L] es una matriz de transformación para convertir el vector de fuerza nodal equivalente del elemento en un sistema de coordenadas del elemento hacia un vector en un sistema de coordenadas general. La matriz de transformación de coordenadas [L] se calcula utilizando un coseno de dirección con respecto a un sistema de coordenadas de elementos (X', Y' y Z') de los ejes X, Y y Z del sistema de coordenadas general. La matriz de relación entre desplazamiento y deformación [B] cambia dependiendo del tipo de elemento finito a utilizar. Con respecto a esto, la formulación de varios elementos finitos se describe, por ejemplo, en el documento 1 sin patente.

Posteriormente, como se representa en la siguiente Ecuación (4), un vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ calculado para cada elemento se integra con respecto a todas las áreas de la chapa metálica delgada para obtener un vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$. Aunque la integración se lleva a cabo para todas las áreas de la chapa metálica delgada en la presente realización, solo áreas específicas (por ejemplo, áreas que tienen configuraciones especialmente complicadas) de la chapa metálica delgada pueden integrarse alternativamente para obtener un vector de fuerza nodal equivalente total de las áreas especificadas.

$$\{f\} = \int \{f\}_e dV \quad \dots(4)$$

Vector nodal equivalente total:

El vector de fuerza nodal equivalente total calculado se obtiene al convertir el esfuerzo en el punto muerto inferior de la herramienta a la fuerza nodal equivalente (es decir, fuerza interna). El vector de fuerza nodal equivalente total consiste en la fuerza de la sección transversal (N_x , N_y y N_z) y el momento de flexión (M_x , M_y y M_z) en el sistema de coordenadas general. Los presentes inventores han hecho una evaluación de muchos productos ejemplares. Como resultado, los presentes inventores han descubierto que tres componentes del momento de flexión entre la fuerza nodal equivalente se convierten en la fuerza motriz de la recuperación. Los presentes inventores también han descubierto que, a diferencia de la distribución de esfuerzo, las áreas con una gran cantidad de momentos de flexión se localizan en una región limitada de una chapa metálica delgada.

En la primera realización de la presente invención, las áreas con una gran cantidad de momento de flexión se ilustran utilizando, por ejemplo, un mapa de contorno con respecto al momento de flexión del vector de fuerza nodal equivalente total calculado de acuerdo con el conocimiento descrito anteriormente. Con esta configuración, las áreas que inducen la recuperación se pueden especificar de forma detallada y precisa en un tiempo significativamente corto sin experimentar operaciones complicadas, tales como resolver ecuaciones simultáneas a gran escala.

(Simulador de conformación según la Primera Realización)

La fig. 3 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente una configuración de un simulador de conformación según la primera realización.

El simulador de conformación realiza la simulación de conformación en el punto muerto inferior de la herramienta de una chapa metálica delgada utilizando el método de elemento finito. El simulador de conformación incluye una primera calculadora 101, una segunda calculadora 102, una sección 103 de especificación y una sección 104 de presentación. La primera calculadora 101 calcula el vector de fuerza nodal equivalente de cada elemento. La segunda calculadora 102 calcula el vector de fuerza nodal equivalente total. La sección 103 de especificación especifica áreas que inducen la recuperación en la chapa metálica delgada. La sección 104 de presentación muestra los resultados de la especificación de la sección 103 de especificación. La primera calculadora 101, la segunda calculadora 102 y la sección 103 de especificación se incorporan, por ejemplo, como funciones de una unidad de procesamiento central (CPU) de un ordenador.

La primera calculadora 101 resuelve, por ejemplo, la ecuación (3) de acuerdo con un tensor de esfuerzo dado (véase la ecuación (2)) y obtiene el vector de fuerza nodal equivalente del elemento para cada elemento finito (por ejemplo, un elemento de estructura de cuatro nodos). El vector nodal equivalente al elemento puede calcularse alternativamente para cada grupo que consiste de varios elementos finitos. La segunda calculadora 102 integra el vector de fuerza nodal equivalente del elemento para cada elemento finito calculado por la primera calculadora 101 con respecto a todas las áreas de la chapa metálica delgada (véase la ecuación (4)) y calcula el vector de fuerza nodal equivalente total. Aunque el vector de fuerza nodal equivalente del elemento está integrado para todas las áreas en la presente memoria, el vector de fuerza nodal equivalente al elemento puede integrarse alternativamente solamente para áreas predeterminadas, tales como áreas con configuraciones complicadas.

Con respecto al momento de flexión (M_x , M_y y M_z) de los componentes del vector de fuerza nodal equivalente total calculado que se calcula por la segunda calculadora 102, la sección 103 de especificación especifica posiciones de áreas con una gran cantidad de momento de flexión entre las áreas en el punto muerto inferior de la conformación de la chapa metálica delgada como áreas que inducen la recuperación en la chapa metálica delgada. Con el fin de especificar la posición con una gran cantidad de momentos de flexión, por ejemplo, la cantidad del momento de flexión de cada área se compara con un umbral predeterminado. A continuación, un área con una cantidad de momento de flexión que excede el umbral se especifica como áreas que inducen la recuperación en la chapa metálica delgada. Alternativamente, se pueden preparar por adelantado varios umbrales diferentes y se pueden seleccionar adecuadamente para su uso.

La sección 104 de presentación muestra la cantidad de momento de flexión como, por ejemplo, una imagen correspondiente a una configuración de la chapa metálica delgada. En particular, la imagen completa de la chapa metálica delgada se colorea según la cantidad de momento de manera que un usuario pueda reconocer las áreas que inducen la recuperación que tienen una gran cantidad de momento. Adicional o alternativamente, la sección 104 de presentación puede tener una función para mostrar gráficamente los resultados de la especificación de la sección 103 de especificación correspondiente a la configuración de la chapa metálica delgada.

(Método de Simulación de Conformación por Presión Según la Primera Realización)

A continuación, se describirá un método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador que utiliza el simulador de conformación por presión anterior.

La fig. 4 es un diagrama de flujo del método de simulación de conformación según la primera realización ilustrada paso a paso. Un producto metálico (es decir, una chapa de acero de alta resistencia) ilustrado en las Figs. 5A y 5B se emplea como una chapa metálica delgada para la simulación de conformación en la presente realización. El producto metálico se ilustra como una descripción general en la fig. 5A y una vista parcialmente ampliada en la FIG. 5B.

En primer lugar, se calcula la distribución de esfuerzo (es decir, tensor de esfuerzo) en el punto muerto inferior de la herramienta del producto metálico (etapa S101). La distribución de esfuerzo en el punto muerto inferior de la herramienta se calcula utilizando, por ejemplo, un programa de simulación de conformación disponible comercialmente (PAM-STAMP disponible a partir de Nihon ESI K.K.). Las principales condiciones de análisis para la simulación de conformación según la primera realización se muestran en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Elemento	Condición de análisis
Material	Chapa de acero de alta resistencia (JAC980Y)
Espesor de placa	1,2 mm
Método de conformación	Una etapa de conformación
Número de elementos	31.712
Número de nodos	31.997
Elementos usados	Elemento de estructura de cuatro nodos (elemento reducido-integrado: 1 punto de integración en plano x 5 puntos de integración en dirección de espesor)

La distribución de la cantidad desplazada causada por la recuperación obtenida mediante una simulación de conformación después de la liberación del producto se ilustra en la fig. 6. La cantidad desplazada se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad presentada. La densidad más alta indica la cantidad desplazada más grande. Como se ilustra en la fig. 6, la cantidad desplazada en una dirección del eje Z en un punto A es especialmente grande, lo que indica que el producto metálico está deformado y distorsionado en el punto A.

Posteriormente, la primera calculadora 101 resuelve, por ejemplo, la ecuación (3) de acuerdo con el tensor de esfuerzo obtenido en la etapa S101 y el vector de fuerza nodal equivalente del elemento se calcula para cada elemento finito (por ejemplo, el elemento de estructura de cuatro nodos) o para varios elementos finitos (etapa S102). Posteriormente, la segunda calculadora 102 integra el vector de fuerza nodal equivalente del elemento para cada uno o varios elementos finitos calculados por la primera calculadora 101 con respecto a todas las áreas o áreas específicas de la chapa metálica delgada y calcula el vector de fuerza nodal equivalente total de las áreas (etapa S103).

Posteriormente, con respecto al momento de flexión (M_x , M_y y M_z) de los componentes del vector de fuerza nodal equivalente total calculado por la segunda calculadora 102, la sección 103 de especificación especifica posiciones de áreas con una gran cantidad de momento de flexión entre las áreas en el punto muerto inferior de la herramienta en la chapa metálica delgada como áreas que inducen la recuperación en la chapa metálica delgada (etapa S104).

La sección 104 de presentación muestra a continuación la cantidad de momento de flexión como, por ejemplo, una imagen correspondiente a una configuración de la chapa metálica delgada (etapa S105). Aunque la etapa S105 en la presente memoria sigue a la etapa S104, la etapa S105 puede preceder alternativamente a la etapa S104. La etapa S104 también puede omitirse. Además, o como alternativa a la presentación gráfica de la cantidad de momento de flexión en la etapa S105, los resultados de la especificación de la sección 103 de especificación pueden mostrarse como una imagen.

Una presentación gráfica ejemplar de la cantidad de momento de flexión por la sección 104 de presentación se ilustra en las figs. 7A y 7B. El momento de flexión M_x sobre el eje X se ilustra en la fig. 7A y el momento de flexión M_y sobre el eje Y se ilustra en la fig. 7B. La cantidad del momento de flexión se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad presentada. La densidad más alta indica la cantidad de momento de flexión más grande. La cantidad de momento de flexión del producto metálico se localiza como se ilustra en los dibujos. En las figs. 7A y 7B, se especifican dos áreas como áreas que inducen la recuperación.

Como ejemplo comparativo de la primera realización, un producto metálico idéntico al de la primera realización 1 se ha sometido a una simulación de conformación utilizando la técnica descrita en el Documento de Patente 3. Aquí, el

producto metálico se divide en varias áreas en base a la distribución de esfuerzo obtenida en la etapa S101. Las áreas de alta esfuerzo se liberan secuencialmente (es decir, el esfuerzo se reduce a cero). A continuación, las áreas divididas están sujetas a análisis de recuperación (es decir, se libera la restricción de la herramienta y se calcula la cantidad de deformación causada por la recuperación elástica) para especificar áreas con una mayor cantidad de deformación.

El resultado del ejemplo comparativo (es decir, el esfuerzo principal en el centro del espesor de la placa) se ilustra en la fig. 8) El esfuerzo se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad presentada. La densidad más alta indica el esfuerzo más grande. Como se ilustra en la fig. 8, varias áreas con una gran cantidad de esfuerzo están ampliamente distribuidas. Así, es difícil especificar con precisión las áreas que inducen la recuperación. Ya que el resultado de la presentación depende de cómo se dividen las áreas, es difícil mostrar la cantidad de deformación con precisión.

En la primera realización, como se ilustra en las figs. 7A y 7B, en comparación con lo ilustrado en la fig. 8, el momento de flexión M_x sobre el eje X y el momento de flexión M_y sobre el eje Y son localmente altos en un par positivo/negativo en una porción de una línea de cresta del producto metálico. Se comprende fácilmente que el momento de flexión en estas áreas tiene una influencia significativa sobre la cantidad de recuperación. Si se pueden especificar las áreas que tienen influencia significativa, se puede modificar ligeramente la configuración del producto en las áreas. Por lo tanto, es posible reducir eficientemente la recuperación y mejorar la precisión dimensional del producto conformado por presión.

Como se ha descrito anteriormente, según la primera realización, las áreas que inducen la recuperación durante la conformación de la chapa metálica pueden especificarse mediante un cálculo simple en lugar de un cálculo complicado y que requiere mucho tiempo, tal como una operación matricial de ecuaciones simultáneas a gran escala. Como resultado, se puede proporcionar una conformación precisa.

Con referencia ahora a las figs. 9 a 14, se describirá en detalle una segunda realización de la presente invención.

En primer lugar, se calcula un vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ como en la primera realización con respecto al elemento finito establecido en la chapa metálica 10 delgada utilizando las ecuaciones (1) a (4). El vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ se representa como un vector de fuerza externa, como se ilustra en la siguiente Ecuación (5) utilizando una matriz de rigidez $[K]$ y desplazamiento nodal específico (u_i) con el fin de estimar la recuperación.

$$[K]\{u\} = \{f\} \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

A continuación, después de que se den las condiciones de restricción adecuadas, se calcula una matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez $[K]$ mediante un método ordinario. La cantidad de recuperación (u) de todo el producto se puede obtener como se representa en la siguiente ecuación como un método ordinario.

$$\{u\} = [K]^{-1}\{f\} \quad \cdot \cdot \cdot (6)$$

El desplazamiento nodal específico (u_i) para la evaluación de la recuperación se puede calcular como se representa en la siguiente ecuación.

$$\begin{Bmatrix} \vdots \\ u_i \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots & \cdots & \vdots \\ k_{i1}^{-1} & \cdots & k_{iN}^{-1} \\ \vdots & \cdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_N \end{Bmatrix}$$

$$u_i = \sum_{j=1}^N k_{ij}^{-1} f_j \quad \cdot \cdot \cdot (7)$$

Los presentes inventores han encontrado que $(k_{ij}^{-1} f_j)$ en sigma en la ecuación (7) representa la contribución (desplazamiento) para cada componente del vector de fuerza externa (f_j) con respecto a la cantidad desplazada (u_i) causada por la recuperación en una posición especificada. Es decir, se comprende que, si el componente del vector de fuerza externa tiene la misma dirección (es decir, tiene el mismo signo) que el del desplazamiento de recuperación en la posición especificada y tiene un valor absoluto mayor, el componente del vector de fuerza externa tiene mayor contribución positiva con respecto al desplazamiento de recuperación en la posición especificada (se promueve la recuperación). Si el componente del vector de fuerza externa tiene una dirección

inversa (es decir, tiene un signo diferente) al del desplazamiento de recuperación en la posición especificada, el componente del vector de fuerza externa tiene una contribución negativa con respecto al desplazamiento de recuperación en la posición especificada (la recuperación se suprime). Si el componente del vector de fuerza externa tiene un valor absoluto menor, el componente del vector de fuerza externo tiene una contribución menor al desplazamiento de recuperación en la posición especificada. Por consiguiente, las áreas que inducen la recuperación pueden especificarse de manera eficiente al mostrar la cantidad nodal como la contribución del componente del vector de fuerza externa con respecto a la cantidad desplazada de la posición especificada, sin repetir cálculos complicados y que requieren mucho tiempo, tal como una operación matricial de ecuaciones simultáneas a gran escala.

(Simulador de conformación por presión según la segunda realización)

La fig. 9 es un diagrama de bloques de una estructura esquemática del simulador de conformación por presión según la segunda realización.

El simulador de conformación lleva a cabo una simulación de conformación en el punto muerto inferior de la herramienta de la chapa metálica delgada utilizando un método de elemento finito. El simulador de conformación incluye una primera calculadora 201, una segunda calculadora 202, una tercera calculadora 203, una cuarta calculadora 204 y una sección 205 de presentación. La primera calculadora 201 calcula cada vector de fuerza nodal equivalente del elemento. La segunda calculadora 202 calcula el vector de fuerza nodal equivalente total. La tercera calculadora 203 calcula una matriz inversa de la matriz de rigidez general. La cuarta calculadora 204 multiplica el vector de fuerza nodal equivalente total por la matriz inversa de la matriz de rigidez general, siendo el vector de fuerza nodal equivalente total el vector de fuerza externa. La sección 205 de presentación muestra los resultados de cálculo de la cuarta calculadora 204. Las calculadoras 201 a 204 primera a cuarta, se incorporan como, por ejemplo, funciones de una unidad de procesamiento central (CPU) de un ordenador.

La primera calculadora 201 resuelve, por ejemplo, la ecuación (3) de acuerdo con el tensor de esfuerzo dado (véase la ecuación (2)) y calcula el vector de fuerza nodal equivalente del elemento para cada elemento finito (por ejemplo, un elemento de estructura de cuatro nodos) o para varios elementos finitos. La segunda calculadora 202 integra el vector de fuerza nodal equivalente del elemento para cada elemento finito (o para varios elementos finitos) calculado por la primera calculadora 201 con respecto a todas las áreas de la chapa metálica delgada (véase la ecuación (4)) y calcula el vector de fuerza nodal equivalente total.

La tercera calculadora 203 calcula la matriz inversa de la matriz de rigidez general. La matriz de rigidez general se obtiene utilizando una matriz de relación entre desplazamiento y deformación correspondiente a los diversos elementos finitos anteriores, una matriz de relación entre esfuerzo y deformación basada en una ley constitutiva de elasticidad lineal general y una matriz de transformación de coordenadas, como se describe, por ejemplo, en el Documento 1 sin patente. La matriz inversa se puede obtener mediante un método de cálculo ordinario.

La cuarta calculadora 204 multiplica la matriz inversa de la matriz de rigidez general por el vector de fuerza nodal equivalente total siendo el vector de fuerza nodal equivalente total, el vector de fuerza externo (véanse Ecuaciones (5) a (7)). En la multiplicación, $(k^{-1}_{ij}f_j)$ en sigma en la ecuación (7) representa la contribución de cada componente del vector de fuerza externa. La cantidad desplazada causada por la recuperación en la posición específica obtenida por la multiplicación representa la suma de cada contribución.

La sección 205 de presentación muestra la contribución de cada componente del vector de fuerza externa con respecto a la cantidad desplazada en la posición específica de la chapa metálica delgada adquirida por la cuarta calculadora 204. En particular, la contribución de cada vector de fuerza externa se colorea con respecto a la posición específica de la chapa metálica delgada, por ejemplo, de manera que un usuario pueda reconocer el área que induce la recuperación correspondiente a la posición específica.

(Método de Simulación de conformación por presión Según la Segunda Realización)

En lo sucesivo, se describirá el método de simulación de conformación que utiliza el simulador de conformación por presión anterior.

La fig. 10 es un diagrama de flujo del método de simulación de conformación según las segundas realizaciones ilustradas paso a paso. Un producto metálico (es decir, una chapa de acero de alta resistencia) ilustrado en las figs. 11A y 11B se emplea como una chapa metálica delgada para simulación de conformación. El producto metálico se ilustra como una descripción general en la fig. 11A y una vista parcialmente ampliada en la fig. 11B.

En primer lugar, se calcula la distribución de esfuerzo (es decir, el tensor de esfuerzo) en el punto muerto inferior de la herramienta para el producto metálico (etapa S201). La distribución de esfuerzo en el punto muerto inferior de la herramienta se calcula utilizando, por ejemplo, un programa de simulación de conformación disponible comercialmente (PAM-STAMP disponible a partir de Nihon ESI K.K.). Las principales condiciones de análisis en la simulación de conformación según la segunda realización son las mismas que las mostradas en la Tabla 1 empleadas en la primera realización.

La distribución de la cantidad desplazada causada por la recuperación obtenida mediante una simulación de conformación después de la liberación del producto se ilustra en la fig. 12. La cantidad desplazada se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad presentada. La densidad más alta indica la cantidad desplazada más grande. Como se ilustra en la fig. 12, la cantidad desplazada en una dirección del eje Z en un punto A es especialmente grande, lo que indica que el producto metálico está deformado y distorsionado en el punto A.

La primera calculadora 201 resuelve, por ejemplo, la ecuación (3) de acuerdo con el tensor de esfuerzo dado obtenido en la etapa S201 y calcula el vector de fuerza nodal equivalente del elemento para cada elemento finito (por ejemplo, un elemento de estructura de cuatro nodos) o para varios elementos finitos (etapa S202). La segunda calculadora 202 integra el vector de fuerza nodal equivalente del elemento para cada elemento finito (o para varios elementos finitos) calculado por la primera calculadora 201 con respecto a todas las áreas de la chapa metálica delgada y calcula el vector de fuerza nodal equivalente total (etapa S203).

A continuación, la tercera calculadora 203 calcula la matriz inversa de la matriz de rigidez general (etapa S204).

La cuarta calculadora 204 multiplica a continuación, la matriz inversa de la matriz de rigidez general por el vector de fuerza nodal equivalente total, siendo el vector de fuerza nodal equivalente total el vector de fuerza externa (etapa S205). La sección 205 de presentación (etapa S206) muestra gráficamente la contribución de cada componente del vector de fuerza externa de la cantidad desplazada causada por la recuperación con respecto a una posición predeterminada (es decir, especificada) de la chapa metálica delgada.

Una contribución ejemplar de cada componente del vector de fuerza externa de la cantidad desplazada causada por la recuperación con respecto a la posición especificada de la chapa metálica delgada por la sección 205 de presentación se ilustra en las figs. 13A y 13B. Aquí, la distribución de la contribución (Dz) de la cantidad de momento de flexión (Mx, My) que es un componente del vector de fuerza externa con respecto al desplazamiento en la dirección del eje Z en el punto A de la fig. 12 se ilustra mediante líneas de contorno. La contribución (es decir, el desplazamiento) se hace adimensional dividiendo la contribución por el desplazamiento en la dirección z en el punto A. Es decir, la relación de contribución del componente del vector de fuerza externa con respecto al desplazamiento en el punto A se muestra en el ejemplo ilustrado. La fig. 13A ilustra la distribución Dz del momento de flexión Mx sobre el eje X. La fig. 13B ilustra la distribución Dz del momento de flexión My sobre el eje Y. En el ejemplo ilustrado en las figs. 13A y 13B, Dz se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad mostrada. La densidad más grande indica la Dz más grande.

Como ejemplo comparativo de la segunda realización, un producto metálico idéntico al de la segunda realización está sujeto a una simulación de conformación utilizando la técnica descrita en el Documento de Patente 3. Aquí, el producto metálico se divide en varias áreas de acuerdo con la distribución de esfuerzo obtenida en la etapa S201. Las áreas de alta esfuerzo se liberan secuencialmente (es decir, el esfuerzo se reduce a cero). A continuación, las áreas divididas están sujetas a análisis de recuperación (es decir, se libera la restricción de la herramienta y se calcula la cantidad de deformación causada por la recuperación elástica) para especificar áreas con una mayor cantidad de deformación.

El resultado del ejemplo comparativo (es decir, el esfuerzo principal específico en el centro del espesor de la placa) se ilustra en la fig. 14. El esfuerzo se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad presentada. La densidad más alta indica el esfuerzo más grande. Como se ilustra en la fig. 14, varias áreas con una gran cantidad de esfuerzo están ampliamente distribuidas. Por lo tanto, es difícil especificar con precisión las áreas que inducen la recuperación. Ya que el resultado de la presentación depende de cómo se dividen las áreas, es difícil mostrar la cantidad de deformación con precisión.

En la segunda realización, como se ilustra en las figs. 13A y 13B, en comparación con lo ilustrado en la fig. 14, la magnitud de la influencia de la distribución Dz en el punto A en la fig. 12 se pueden reconocer de forma detallada y cuantitativa. Si se pueden especificar las áreas que tienen influencia significativa, se puede modificar ligeramente la configuración del producto en las áreas. Por lo tanto, es posible reducir eficientemente la recuperación y mejorar la precisión dimensional del producto conformado por presión.

Como se ha descrito anteriormente, según la segunda realización, las áreas que inducen la recuperación durante la conformación de la chapa metálica delgada pueden especificarse mediante un cálculo simple en lugar de un cálculo complicado y que requiere mucho tiempo, tal como una operación matricial de ecuaciones simultáneas a gran escala. Como resultado, se puede proporcionar una conformación precisa.

Con referencia ahora a las figs. 15 a 20, se describirá en detalle una tercera realización de la presente invención.

En primer lugar, como en la segunda realización, con respecto al elemento finito establecido en la chapa metálica 10 delgada, el desplazamiento nodal específico (u_i) se calcula utilizando las ecuaciones (1) a (7) para la evaluación de la recuperación. El desplazamiento nodal específico para la evaluación de la recuperación calculada se considera en la presente memoria como primer desplazamiento de referencia ($u_i^{(1)}$).

El vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ calculado para cada elemento se resta a continuación del vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ para obtener un vector de fuerza nodal equivalente corregido $\{f'\}$.

$$\{f'\} = \{f\} - \{f\}_e \quad \dots (8)$$

Vector nodal equivalente total corregido:

El elemento de vector de fuerza nodal equivalente $\{f\}$ puede calcularse utilizando la Ecuación (3) o utilizando solamente componentes específicos, por ejemplo, fuerza y momento en el plano. Ya que el propósito en la presente memoria es obtener la contribución del elemento con respecto a la recuperación como se describe más adelante, se puede utilizar un valor obtenido a través de la multiplicación escalar por un cierto coeficiente.

Posteriormente, el segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) con respecto al nodo específico para la evaluación de la recuperación se obtiene como se representa en la ecuación (9) utilizando la matriz inversa $[K]^{-1}$ obtenida utilizando la ecuación (6) y el vector de fuerza nodal equivalente corregido $\{f'\}$.

$$u_i^{(2)} = \sum_{j=1}^N k_{ij}^{-1} f_j' \quad \dots (9)$$

Las ecuaciones (8) y (9) se resuelven para cada elemento y la cantidad de cambio en el primer desplazamiento ($u_i^{(1)}$) y el segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) se calculan, por ejemplo, de la siguiente manera.

$$(u_i^{(2)} - u_i^{(1)}) \quad \dots (10)$$

Cambio en la cantidad desplazada:

Si el valor absoluto del segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) es menor que el valor absoluto del primer desplazamiento ($u_i^{(1)}$) como se representa en la Ecuación (11), se indica que el esfuerzo restante del elemento de interés tiene una función para reducir la recuperación cuando se libera.

Si el valor absoluto del segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) es mayor que el valor absoluto del primer desplazamiento ($u_i^{(1)}$) como se representa en la Ecuación (12), se indica que el esfuerzo restante del elemento de interés tiene una función para incrementar la recuperación.

Si el valor absoluto del primer desplazamiento ($u_i^{(1)}$) y el valor absoluto del segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) son sustancialmente iguales a los representados por la Ecuación (13), se indica que el esfuerzo restante del elemento de interés no tiene contribución a la recuperación.

$$|u_i^{(1)}| > |u_i^{(2)}| \quad \dots (11)$$

$$|u_i^{(1)}| < |u_i^{(2)}| \quad \dots (12)$$

$$|u_i^{(1)}| \approx |u_i^{(2)}| \quad \dots (13)$$

Las áreas que inducen la recuperación se pueden especificar eficientemente al mostrar, para cada elemento, la cantidad de cambio en el primer desplazamiento ($u_i^{(1)}$) y el segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) que se calcula utilizando la Ecuación (10)

Los cálculos de las Ecuaciones (8) y (9) son cálculos vectoriales simples que no incluyen operaciones de inversión de matriz a gran escala. Por consiguiente, los cálculos de las Ecuaciones (8) y (9) tienen una carga de cálculo pequeña y así, pueden calcularse en poco tiempo, incluso si la cantidad desplazada para cada elemento se calcula para todos los elementos.

El método de cálculo de la cantidad de cambio en el primer desplazamiento ($u_i^{(1)}$) y el segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) aquí no se limita al representado en la Ecuación (10). En cambio, la cantidad de cambio puede calcularse mediante, por ejemplo, un método que se hace adimensional con el primer desplazamiento, como se representa en la siguiente Ecuación (14).

$$(u_i^{(2)} / u_i^{(1)} - 1) \quad \dots (14)$$

El desplazamiento nodal específico puede representarse alternativamente mediante una expresión aritmética de las cantidades de cantidades de varias cantidades desplazadas nodales, como se representa mediante la siguiente Ecuación (15) en lugar de usar un solo nodo.

$$\sum_{i=1} c_i u_i^{(j)} \quad (j = 1, 2) \quad \cdot \cdot \cdot (15)$$

(Simulador de conformación por presión según la tercera realización)

La fig. 15 es un diagrama de bloques de una estructura esquemática del simulador de conformación por presión según la tercera realización.

5 El simulador de conformación realiza la simulación de conformación en el punto muerto inferior de la herramienta de una chapa metálica delgada utilizando el método de elemento finito. El simulador de conformación incluye una primera calculadora 301, una segunda calculadora 302, una tercera calculadora 303, una cuarta calculadora 304, una quinta calculadora 305, una sexta calculadora 306 y una sección 307 de presentación. La primera calculadora 301 calcula cada vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$. La segunda calculadora 302 calcula el vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$. La tercera calculadora 303 calcula la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general. La cuarta calculadora 304 multiplica el vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ por la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general siendo el vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ el vector de fuerza externa. La quinta calculadora 305 multiplica el vector de fuerza nodal equivalente total corregido $\{f'\}$ por la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general para cada uno o varios elementos. La sexta calculadora 306 calcula la cantidad de cambio en los resultados de cálculo de la calculadora 304 y los resultados de cálculo de la calculadora 305 para cada uno o varios elementos. La sección 307 de presentación muestra los resultados de cálculo de la calculadora 306. Las calculadoras de 301 a 306 se incorporan como, por ejemplo, funciones de una unidad de procesamiento central (CPU) de un ordenador.

20 La primera calculadora 301 resuelve, por ejemplo, la Ecuación (3) de acuerdo con el tensor de esfuerzo dado (véase la ecuación (2)) y calcula el vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ para cada elemento finito (por ejemplo, un elemento de estructura de cuatro nodos) o para varios elementos finitos.

25 La segunda calculadora 302 integra el vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ para cada elemento finito calculado por la primera calculadora 301 (o para varios elementos finitos) con respecto a todas las áreas (o áreas específicas) de la chapa metálica delgada (véase la ecuación (4)) y calcula el vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ de las áreas.

30 La tercera calculadora 303 calcula la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general. La matriz de rigidez general se obtiene utilizando una matriz de relación entre desplazamiento y deformación correspondiente a los diversos elementos finitos anteriores, una matriz de relación entre esfuerzo y deformación basada en una ley constitutiva de elasticidad lineal general y una matriz de transformación de coordenadas, como se describe, por ejemplo, en el Documento Sin Patente 1. La matriz inversa $[K]^{-1}$ se puede obtener mediante un método de cálculo ordinario.

La cuarta calculadora 304 multiplica la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general por el vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ siendo el vector de fuerza nodal equivalente total el vector de fuerza externa (véanse Ecuaciones (5) a (7)).

35 La quinta calculadora 305 multiplica la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general por el vector de fuerza nodal equivalente corregido $\{f'\}$, siendo el vector de fuerza nodal equivalente corregido $\{f'\}$ obtenido restando el vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ calculado para cada elemento a partir del vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$, la fuerza externa (véanse Ecuaciones (8) y (9)).

40 La sexta calculadora 306 calcula la cantidad de cambio en el desplazamiento con respecto al nodo específico para la evaluación de la recuperación utilizando el primer desplazamiento ($u_i^{(1)}$) obtenido a partir de la cuarta calculadora 304 y el segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) obtenido a partir de la quinta calculadora 305 (véase la Ecuación (10)).

45 La sección 307 de presentación muestra la contribución de cada componente de la cantidad desplazada en la posición específica de la chapa metálica delgada obtenida por la sexta calculadora 306. En particular, la contribución de cada componente se colorea con respecto a la posición específica de la chapa metálica delgada, por ejemplo, de manera que un usuario pueda reconocer el área que induce la recuperación correspondiente a la posición específica.

(Método de simulación de Conformación por Presión Según la Tercera Realización)

En lo sucesivo, se describirá un método de simulación de conformación por presión que utiliza el simulador de conformación.

50 La fig. 16 es un diagrama de flujo de un método de simulación de conformación según la tercera realización ilustrada paso a paso.

Un producto metálico (es decir, una chapa de acero de alta resistencia) ilustrado en las figs. 17A y 17B se emplea como una chapa metálica delgada para simulación de conformación en la presente realización. El producto metálico se ilustra como una descripción general en la fig. 17A y una vista parcialmente ampliada en la FIG. 17B.

En primer lugar, se calcula la distribución de esfuerzo (es decir, el tensor de esfuerzo) en el punto muerto inferior de la herramienta para el producto metálico (etapa S301). La distribución de esfuerzo en el punto muerto inferior de la herramienta se calcula utilizando, por ejemplo, un programa de simulación de conformación disponible comercialmente (PAM-STAMP disponible a partir de Nihon ESI K.K.). Las principales condiciones de análisis en la simulación de conformación según la tercera realización son las mismas que las mostradas en la Tabla 1 empleada en la primera realización.

La distribución de la cantidad desplazada causada por la recuperación obtenida mediante una simulación de conformación después de la liberación del producto se ilustra en la FIG. 18. La cantidad desplazada se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad presentada. La densidad más alta indica la cantidad desplazada más grande. Como se ilustra en la fig. 18, la cantidad desplazada en una dirección del eje Z en un punto A es especialmente grande, lo que indica que el producto metálico está deformado y distorsionado en el punto A.

Posteriormente, la primera calculadora 301 realiza un cálculo de, por ejemplo, la ecuación (3) de acuerdo con el tensor de esfuerzo obtenido en la etapa S301 y el vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ se calcula para cada elemento finito (por ejemplo, el elemento de estructura de cuatro nodos) o para varios elementos finitos (etapa S302).

La segunda calculadora 302 a continuación integra el vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ para cada elemento finito (o para varios elementos finitos) calculado por la primera calculadora 301 con respecto a todas las áreas (o áreas específicas) de la chapa metálica delgada y calcula el vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ (etapa S303).

A continuación, la tercera calculadora 303 calcula la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general (etapa S304).

La cuarta calculadora 304 a continuación multiplica la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general por el vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$, siendo el vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$, el vector de fuerza externa (etapa S305).

La quinta calculadora 305 multiplica la matriz inversa $[K]^{-1}$ de la matriz de rigidez general por el vector de fuerza nodal equivalente corregido $\{f' \}$, siendo el vector de fuerza nodal equivalente corregido $\{f'\}$ obtenido restando la fuerza nodal equivalente del elemento el vector $\{f\}$ calculado para cada elemento del vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$, la segunda fuerza externa (etapa S306).

La sexta calculadora 306 a continuación calcula la cantidad de cambio en el desplazamiento con respecto al nodo específico para la evaluación de la recuperación, es decir, la contribución de cada elemento, utilizando el primer desplazamiento ($u_i^{(1)}$) obtenido a partir de la cuarta calculadora 304 y el segundo desplazamiento ($u_i^{(2)}$) obtenido a partir de la quinta calculadora 305 (etapa S307).

La sección 307 de presentación (etapa S307) muestra gráficamente la contribución de cada componente de la cantidad desplazada causada por la recuperación con respecto a una posición predeterminada (es decir, especificada) de la chapa metálica delgada.

La contribución ejemplar de cada componente de la cantidad desplazada causada por la recuperación con respecto a la posición específica de la chapa metálica delgada mostrada por la sección 307 de presentación se ilustra en la FIG. 19. Una línea punteada discontinua en la fig. 19 indica un esquema de una configuración de la chapa metálica delgada en el punto muerto inferior de la herramienta. La distribución de la contribución del componente con respecto al desplazamiento en la dirección z en el punto A en la fig. 18 se ilustra con una línea de contorno en la fig. 19. La contribución se hace adimensional dividiendo por el desplazamiento en la dirección de z en el punto A. La densidad más alta de presentación indica la contribución más grande.

Como ejemplo comparativo de la tercera realización, un producto metálico idéntico al de la tercera realización está sujeto a una simulación de conformación utilizando la técnica descrita en el Documento de Patente 1. Aquí, el producto metálico se divide en varias áreas de acuerdo con la distribución de esfuerzo obtenida en la etapa S301. Las áreas de alta esfuerzo se liberan secuencialmente (es decir, el esfuerzo se reduce a cero). A continuación, las áreas divididas están sujetas a análisis de recuperación (es decir, se libera la restricción de la herramienta y se calcula la cantidad de deformación causada por la recuperación elástica) para especificar áreas con una cantidad de deformación más grande.

El resultado del ejemplo comparativo (es decir, la contribución de cada área) se ilustra en la fig. 20. La contribución se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad presentada. La densidad de presentación más alta indica la contribución más grande. Como se ilustra en la fig. 20, varias áreas con gran contribución están ampliamente distribuidas. Así, es difícil especificar con precisión las áreas que inducen la recuperación. Ya que el resultado de la presentación depende de cómo se dividen las áreas, es difícil mostrar la cantidad de deformación con precisión.

En la tercera realización, como se ilustra en la fig. 19, en comparación con lo ilustrado en la fig. 20, una magnitud de la influencia del desplazamiento en el punto A en la fig. 18 se puede reconocer de forma detallada y cuantitativa. Si las áreas que tienen influencia significativa se pueden especificar de forma detallada, se puede modificar

ligeramente la configuración del producto en las áreas. Por lo tanto, es posible reducir eficientemente la recuperación y mejorar la precisión dimensional del producto conformado por presión.

5 Como se ha descrito anteriormente, según la tercera realización, las áreas que se producen por recuperación durante la conformación de la chapa metálica delgada pueden especificarse mediante un cálculo simple en lugar de un cálculo complicado y que requiere mucho tiempo, tal como una operación matricial de ecuaciones simultáneas a gran escala. Como resultado, se puede proporcionar una conformación precisa.

La comparación del tiempo de cálculo según las realizaciones anteriores se muestra en la Tabla 2. El tiempo de cálculo en la presente memoria está representado por un valor relativo siendo el valor en el ejemplo comparativo 100.

Tabla 2

	Tiempo total de cálculo	Tiempo de cálculo para cada área dividida
Ejemplo 1	0,2	-
Ejemplo 2	0,6	-
Ejemplo 3 (31.712 áreas)	571	0,1
Ejemplo Comparativo (5 áreas)	100	100

10

Con referencia ahora a la FIG. 21, se describirá en detalle una cuarta realización de la presente invención.

15 Las funciones, tales como los componentes (excepto las secciones 104, 205 y 307 de presentación) que constituyen el simulador de conformación según las realizaciones primera a tercera, pueden incorporarse cuando se opera un programa almacenado en, por ejemplo, la RAM y la ROM de un ordenador. De manera similar, cada paso (por ejemplo, los pasos S101 a S105 de la figura 4, los pasos S201 a S206 de la figura 10 y los pasos S301 a S308 de la figura 16) del método de simulación de conformación pueden incorporarse cuando un programa almacenado en, por ejemplo, se opera la RAM y la ROM de un ordenador. El programa y un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene el programa almacenado en él están dentro del alcance de la presente invención.

20 En particular, el programa se graba, por ejemplo, en un medio de grabación, tal como un CD-ROM, o se proporciona a un ordenador mediante diversos medios de transmisión. Los ejemplos del medio de grabación que almacena el programa al respecto incluyen, además de un CD-ROM, un disco flexible, un disco duro, una cinta magnética, un disco magneto-óptico, una tarjeta de memoria no volátil. Los ejemplos del medio de transmisión del programa incluyen un medio de comunicación en un sistema de red informática que transmite y proporciona información del programa como una onda portadora. Los ejemplos de la red informática en la presente memoria incluyen LAN, WAN, 25 tales como Internet, y una red de comunicación inalámbrica. Los ejemplos del medio de comunicación incluyen circuitos cableados, tales como fibra óptica, y circuitos inalámbricos.

30 Los ejemplos de los programas incluidos en la presente invención no se limitan a aquellos que incorporan las funciones de las realizaciones anteriores cuando se ejecutan por un ordenador. Por ejemplo, en la presente invención se incluyen programas que incorporan las funciones de las realizaciones anteriores en cooperación con, por ejemplo, un sistema operativo (OS) u otro software de aplicación ejecutado en el ordenador. Además, los programas suministrados de los cuales algunos o todos los procesos se ejecutan por una placa de expansión o una unidad de expansión de un ordenador para incorporar las funciones de las realizaciones anteriores también se incluyen en la presente invención.

35 La fig. 21 es un diagrama esquemático de una configuración interna ejemplar de un terminal de usuario personal. En la Fig. 21, el número de referencia 400 indica un ordenador personal (PC) que incluye una CPU 401. El PC 400 ejecuta el software de control del dispositivo almacenado en una ROM 402 o en un disco duro (HD) 411, o suministrado desde una unidad de disco flexible (FD) 412. El PC 400 controla colectivamente cada dispositivo conectado a un bus de sistema 404.

40 Los procedimientos de las etapas S101 a S105 de la primera realización ilustrada en la FIG. 4, los procedimientos de las etapas S201 a S206 de la segunda realización ilustrada en la fig. 10 y los procedimientos de las etapas S301 a S308 de la tercera realización ilustrada en la fig. 16 se ejecutan mediante la CPU 401 y un programa almacenado en la ROM 402 o en el disco duro (HD) 411 del PC 400.

45 El número de referencia 403 indica una RAM que funciona como, por ejemplo, una memoria principal y un área de trabajo de la CPU 401. El número de referencia 405 indica un controlador de teclado (KBC) que controla la entrada de instrucciones desde, por ejemplo, un teclado (KB) 409 y dispositivos que no se ilustran.

El número de referencia 406 indica un controlador CRT (CRTC) que controla la presentación de un dispositivo de presentación CRT (CRT) 410. El número de referencia 407 indica un controlador de disco (DKC). El DKC 407 controla el acceso con el disco flexible (FD) 412 y el disco duro (HD) 411 que almacena, por ejemplo, un programa

de arranque, varias aplicaciones, un archivo de compilación, un archivo de usuario y un programa de gestión de red. El programa de arranque en la presente memoria es un programa de inicio, es decir, un programa que comienza la ejecución (operación) de hardware o software de un ordenador personal.

5 El número de referencia 408 es una tarjeta de interfaz de red (NIC) utilizada para el intercambio de datos bidireccional entre una impresora en red, otro equipo de red u otro PC a través de una LAN 420.

Según el terminal de usuario personal descrito anteriormente, las áreas que se producen durante la recuperación durante la conformación de la chapa metálica pueden especificarse mediante un cálculo simple en lugar de un cálculo complicado y que requiere mucho tiempo, tal como una operación matricial de ecuaciones simultáneas a gran escala. Como resultado, se puede proporcionar una conformación precisa.

10 Con referencia ahora a las Figs. 22 a 30, se describirá en detalle una quinta realización de la presente invención.

La fig. 22 es una vista esquemática en perspectiva de una configuración ejemplar de un producto conformado por presión (en lo sucesivo, denominado como "el producto actual") de una chapa metálica delgada que está sujeto a un control de recuperación durante la conformación por presión según una realización de la presente invención. El producto 501 actual se produce mediante conformado por presión en frío, utilizando herramientas superiores e inferiores, una materia prima, tal como un material elástico-plástico, tal como una chapa metálica delgada y una chapa delgada de aluminio, y un material compuesto. Después de que se libera la materia prima de las herramientas, la configuración del producto cambia debido a la recuperación elástica (es decir, recuperación) de una configuración en el punto muerto inferior de la herramienta (es decir, una configuración de objetivo de conformación). Por lo tanto, es imposible obtener una precisión dimensional predeterminada del producto, lo que puede causar defectos que incluyen una soldadura deficiente y una precisión de ensamblaje disminuida.

La fig. 23 ilustra una recuperación ejemplar del producto 501 actual en un diagrama de contorno de la cantidad desplazada causada por la recuperación. La densidad del color indica la cantidad desplazada a lo largo de la dirección del eje Z (es decir, una dirección perpendicular a la hoja de papel) en comparación con el valor en el punto muerto inferior de la herramienta. Un plano formado por líneas que conectan los puntos A, B, C y D del producto 501 actual ilustrado en la fig. 23 debe estar en paralelo con un plano X-Y (es decir, en una dirección horizontal de la hoja de papel). Los puntos de extremidad exteriores (puntos A y B) de una configuración curva se elevan en la dirección del eje Z, lo que indica que la sección transversal está distorsionada. Es un objeto de la presente invención controlar racionalmente la recuperación.

Los enfoques habituales para controlar la recuperación pueden incluir aumentar la rigidez elástica del propio producto (un primer método) y reducir el esfuerzo residual interior que induce la recuperación (un segundo método). El primer método generalmente puede incluir cambiar la configuración del producto y proporcionar molduras de fijación de forma. El segundo método generalmente puede incluir proporcionar molduras, conformación en varias etapas, conformación tibia y conformación en caliente. Si la precisión dimensional es insuficiente incluso después de tomar estos métodos, la configuración de la herramienta se corrige a una configuración diferente a la del producto que espera la cantidad de recuperación (un tercer método). Sin embargo, la precisión de la cantidad esperada está sujeta a varios factores y el coste de corrección de la herramienta también aumenta.

En un producto con una configuración complicada, la distribución del esfuerzo residual interior en el punto muerto inferior de la herramienta es desigual y complicada. La fig. 24 ilustra un ejemplo del esfuerzo residual interior esperado en el punto muerto inferior de la herramienta en el producto 501 actual calculado por la simulación de conformación por presión de acuerdo con el método de elemento finito. La distribución principal de esfuerzo en el centro del grosor de la chapa está representada por la densidad de color en la fig. 24. Hay varias áreas con un gran esfuerzo residual interior ilustrado con un color denso. También hay áreas con esfuerzo de resistencia y esfuerzo de compresión. La simulación de conformación por presión puede realizarse por cualquiera de los procesos de simulación según las realizaciones primera a cuarta.

El método de control de recuperación de la presente invención incluye una primera etapa para especificar áreas que inducen la recuperación del producto 1 actual, una segunda etapa para conformar previamente una o más porciones en relieve en las áreas que inducen la recuperación y una tercera etapa para aplastar las porciones en relieve plana de modo que proporcione una configuración de producto predeterminada. En la primera etapa de la presente invención, para el producto 1 actual que tiene la configuración complicada que exhibe una distribución de esfuerzo residual interior complicada, las áreas donde los cambios de recuperación debido a un cambio parcial del esfuerzo interino del producto 1 actual se extraen y se especifican como las áreas que inducen la recuperación (es decir, porciones).

En el método de extracción, el esfuerzo residual interior del producto 1 actual esperado mediante el cálculo a través de la simulación de conformación por presión de acuerdo con el método de elemento finito está hecho para cambiar para cada punto de producto y se vuelve a calcular para la expectativa. Las áreas donde la cantidad de recuperación cambia significativamente antes y después del cambio del esfuerzo residual interior se especifican como áreas que inducen la recuperación. El esfuerzo residual interior se puede cambiar de tal manera que el componente de esfuerzo en el área del producto se establezca uniformemente en cero (es decir, se libere) (el esfuerzo en el punto

muerto inferior de la herramienta se pone a 0) en los puntos de integración total de la dirección del espesor de la placa (es decir, puntos de evaluación de esfuerzo). Alternativamente, el esfuerzo residual interior se puede dividir en un componente de esfuerzo de membrana (el esfuerzo del punto de integración del centro del espesor de la placa) y un componente de esfuerzo de flexión (obtenido restando el esfuerzo de la membrana del esfuerzo de todo el punto de integración de la dirección de espesor de la placa). Estos componentes se ponen a cero de manera que la evaluación se pueda hacer con la influencia del esfuerzo en el plano y el esfuerzo de flexión se pueden separar entre sí. El tamaño del área del producto puede ser la división del área según la característica de las configuraciones, tales como la porción de brida, la porción de flexión R y una porción de banda. Sin embargo, las áreas de división de malla de elemento finito suficientemente finas para representar la configuración se utilizan preferiblemente como áreas de producto para permitir la extracción con alta resolución.

La fig. 25 es un diagrama de contorno en el que se libera el esfuerzo residual interior para cada área de producto correspondiente al elemento finito en la simulación de conformación por presión de acuerdo con el método de elemento finito ilustrado en la fig. 24 y la distribución de los valores obtenidos al normalizar la diferencia en la cantidad de recuperación antes y después de la liberación con la cantidad de recuperación antes de la liberación se ilustra mediante la densidad del color. Como se ilustra con un color denso en la fig. 25, las áreas E y F en una parte de los productos 501 actuales donde el cambio es grande (es decir, las áreas donde se reduce la recuperación cuando se libera) se pueden especificar como las áreas que inducen la recuperación E y F. Se ha descubierto que las áreas que inducen la recuperación E y F ilustradas en la fig. 25 son diferentes de las áreas con mayor esfuerzo residual interior ilustrado en la fig. 24, y que las áreas con mayor esfuerzo no siempre inducen la recuperación.

Otro método de extracción es especificar áreas en las que se cambia la recuperación cuando el esfuerzo interno del producto 501 actual se cambia parcialmente como las áreas que inducen la recuperación. Es decir, después de que un producto actual de conformado por presión se corta o perfora parcialmente de manera que se libere parcialmente el esfuerzo, las áreas en las que la cantidad de recuperación cambia significativamente antes y después de la liberación de esfuerzo pueden especificarse como áreas que inducen la recuperación.

A continuación, en la segunda etapa de la presente invención, las porciones en relieve se forman en las áreas que inducen la recuperación especificadas por el método en la primera etapa del proceso de conformación por presión. La fig. 26 es una vista en planta del producto 501 actual conformado en la primera etapa del proceso de conformación por presión. Aquí, dos porciones 502 y 503 en relieve circulares de tamaño idéntico están conformadas en las áreas E y F que inducen la recuperación ilustradas en la fig. 25. La fig. 27 ilustra una disposición del producto 501 actual conformado por presión y las herramientas (herramienta inferior 504, herramienta superior 505) en una sección transversal tomada a lo largo de la línea A-A en la fig. 26. En la Fig. 27, la sección en relieve está configurada de tal manera que se inserte una herramienta 506 interior cilíndrica en la herramienta 504 inferior. La herramienta 506 interior puede ser una pluralidad de herramientas 506 interiores cilíndricas extraíbles que tienen diferentes dimensiones de altura que están configuradas para encajar en el rebaje 504a de la herramienta 504 inferior. Las herramientas 506 interiores cilíndricas se reemplazan para ajustar fácilmente la altura de las porciones 502 y 503 en relieve. La configuración de las partes en relieve (es decir, la forma plana de la herramienta 506 interior) no está limitada a una forma circular, y puede ser cualquier configuración, tal como elíptica y rectangular. Sin embargo, se produce fácilmente una herramienta interior de forma cilíndrica y se pueden preparar varias herramientas 506 interiores que tienen diferentes alturas para el control de la dimensión de altura de las porciones 502 y 503 en relieve a un coste inferior.

A continuación, en la tercera etapa de la presente invención, es decir, la segunda etapa del proceso de conformación por presión, el producto conformado por presión con las porciones en relieve conformadas por presión en la primera etapa del proceso de conformación por presión se aplana mediante una herramienta plana sin relieve de modo que proporcione una configuración de producto predeterminada. La fig. 28 es una vista en planta del producto 501 actual conformado en la segunda etapa del proceso de conformación por presión. La fig. 29 ilustra una disposición del producto presente 501 actual conformado por presión y las herramientas (herramienta 507 inferior, herramienta 508 superior) en una sección transversal tomada a lo largo de la línea A-A en la fig. 27 en la segunda etapa del proceso de conformación por presión. Al aplastar las porciones una vez en relieve por presión, el efecto de doblar y volver repetidamente puede reducir el esfuerzo residual interior que induce la recuperación y así, la cantidad de recuperación disminuye significativamente.

En la etapa de ajuste de la herramienta, la altura de las porciones en relieve se ajusta utilizando herramientas interiores cilíndricas de varias alturas en la primera etapa del proceso de conformación por presión. Posteriormente, las porciones en relieve se aplanan en la segunda etapa del proceso de conformación por presión. Por consiguiente, la recuperación se puede controlar y suprimir fácilmente sin cambiar la configuración del producto. También es posible eliminar porciones en relieve innecesarias conformando la porción de extremidad de la herramienta 6 interior cilíndrica ilustrada en la fig. 27 no para ser una configuración de relieve curvado sino para ser una superficie plana. Además, una herramienta interior cilíndrica que tiene una porción de extremidad plana puede insertarse en el rebaje 504a para el saliente en relieve de la herramienta 504 inferior ilustrada en la fig. 27, y el rebaje 505a en relieve de la herramienta 505 superior puede hacerse plano utilizando una herramienta interior extraíble. De esta manera, es posible realizar la segunda etapa del proceso de conformación por presión utilizando la misma herramienta que la de la primera etapa del proceso de conformación por presión sin utilizar otra herramienta.

Aunque las herramientas ilustradas en las figs. 27 y 28 tienen una forma idéntica, excepto por las porciones en relieve en la primera y segunda etapas del proceso de conformación por presión, la presente invención no se limita a las mismas. Se pueden conformar para cada etapa configuraciones con radios de curvatura de esquina o superficies de asiento de montaje variados para otras partes.

- 5 La fig. 22 es una vista en perspectiva del producto conformado por presión (el producto 501 actual) al que se ha aplicado la presente invención. El material del producto 501 actual es una chapa de acero de alta resistencia laminada en frío que tiene un espesor de chapa de 1,2 mm y una resistencia a la tracción de aproximadamente 980 MPa. Antes de fabricar una herramienta para la conformación por presión, se han extraído las áreas que inducen la recuperación de acuerdo con la distribución de esfuerzo en el punto muerto inferior de la herramienta utilizando un programa de simulación de conformación (PAM-STAMP disponible a partir de Nihon ESI K.K.). Las condiciones de análisis principales en la simulación de conformación según la quinta realización son las mismas que las mostradas en la Tabla 1 empleadas en la primera realización.

- 10 Aquí, la distribución de la cantidad desplazada causada por la recuperación del producto 1 actual después de la liberación de la herramienta obtenida por la simulación de conformación se ilustra en la fig. 23. La cantidad desplazada se ilustra mediante líneas de contorno según la densidad mostrada. La densidad más alta indica la cantidad desplazada más grande. Como se ilustra en la fig. 23, la cantidad desplazada en una dirección del eje Z en los puntos A y B (es decir, la dirección perpendicular a la hoja de papel) es especialmente grande, lo que indica que el producto 501 actual está deformado y distorsionado. La fig. 24 es un diagrama principal de contorno de distribución de esfuerzo principal en el punto muerto inferior de la herramienta.

- 20 A continuación, con el fin de especificar las áreas que inducen la recuperación, la cantidad desplazada causada por la recuperación después de la liberación de la herramienta se ha calculado siendo el esfuerzo del punto muerto inferior de la herramienta obligatoriamente cero para cada área. La diferencia del desplazamiento de dirección DA y DC en la dirección del eje Z en los puntos A y C, es decir, DA-DC (= D_{A-C}), se usa como un índice que representa la cantidad de recuperación con respecto a la distorsión. El grado de influencia sobre la cantidad de recuperación de las áreas se ha representado por la Ecuación (16) de acuerdo con la cantidad de recuperación antes y después de que se libere el esfuerzo.

$$\text{Grado de influencia} = D_{A-C} (\text{después de liberar el esfuerzo}) / D_{A-C} (\text{antes de liberar el esfuerzo}) - 1 \dots (16)$$

- 25 Las áreas de producto se hacen corresponder a una unidad de elemento finito y la ecuación (16) se ha resuelto para cada componente. El grado de influencia resultante se ilustra en el diagrama de contorno de distribución en la fig. 25. La distribución del grado de influencia se ilustra mediante la densidad del color, de manera que un espectador puede especificar áreas E y F en una parte del producto 501 actual donde el cambio es grande, es decir, las áreas E y F que inducen la recuperación. Se ha descubierto que las áreas E y F que inducen la recuperación son diferentes de las áreas con mayor esfuerzo residual interior ilustradas en la fig. 24, y que las áreas con mayor esfuerzo no necesariamente inducen la recuperación.

- 35 A continuación, de acuerdo con el resultado de la especificación de las áreas E y F que inducen la recuperación mediante la simulación de conformación, se ha realizado un prototipo de una herramienta para la conformación por presión y se ha utilizado para experimentos de conformación. Las porciones 502 y 503 en relieve se han conformado por presión en dos puntos (es decir, puntos E y F) de las áreas E y F en la superficie de banda donde el grado de influencia es grande, en la primera etapa del proceso de conformación por presión. La fig. 26 es una vista en planta del producto conformado por presión de la primera etapa del proceso de conformación por presión.

- 40 Las porciones 502 y 503 en relieve cada una tiene una configuración de estructura esférica que tiene un diámetro de $\phi D=10$ mm. Para una herramienta de conformación, como se muestra en la fig. 27, se emplea una configuración en la que cuatro tipos de herramientas 506 interiores cilíndricas tienen alturas de H = 0, 1, 2 y 3 mm como se ilustra en la fig. 30 pueden insertarse respectivamente en la herramienta 504 inferior. Se han preparado muestras de la primera etapa del proceso de conformación por presión, de manera que las muestras tienen varias alturas de porciones en relieve respectivas conformadas por presión en los puntos E y F. A continuación, una muestra de producto (el producto 1 actual) como se ilustra en la fig. 28 se ha obtenido mediante una segunda etapa del proceso de conformación por presión que aplasta las porciones 502 y 503 en relieve con una herramienta lisa (la herramienta 507 inferior, la herramienta 508 superior) como se ilustra en la FIG. 29. Los resultados de la medición de la cantidad de recuperación D_{A-C} con respecto a cada muestra de producto se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Nº	Altura de porción en relieve [mm]		D _{A-C} [mm]	Comentarios
	Punto E	Punto F		
1	0	0	7,5	Comparativa
2	1	1	2,5	Ejemplo Inventivo
3	2	2	0,5	Ejemplo Inventivo

4	3	3	-0,5	Ejemplo Inventivo
5	1	2	1,5	Ejemplo Inventivo
6	0	2	-0,5	Ejemplo Inventivo

Se ha confirmado que, con respecto al Ejemplo Comparativo siendo la altura de la porción en relieve cero, cuando las porciones en relieve se hacen más altas, la cantidad de recuperación (D_{A-C}) disminuye, y que cuando la altura se ajusta de manera diversa, la cantidad de recuperación incluyendo la recuperación hacia fuera (D_{A-C} es negativo (recuperación hacia dentro)) puede variarse y controlarse. Debería observarse que el método de simulación de conformación de la presente invención se utiliza para especificar las áreas donde ocurre la recuperación.

Como se ha descrito anteriormente, según la quinta realización, incluso si un producto conformado por presión tiene una forma complicada, se puede obtener de manera eficiente un producto de herramienta de conformación por presión de excelente precisión de dimensión utilizando una herramienta fácilmente ajustable especificando áreas donde se produce la recuperación durante la conformación por presión sin cambiar la configuración del producto. En la descripción anterior, la presente realización se ha descrito con referencia al método para controlar la recuperación de la chapa metálica delgada. Sin embargo, las aplicaciones de la presente invención no se limitan a la simulación de conformación por presión de chapas metálicas delgadas. La presente invención también se puede aplicar, por ejemplo, a la simulación de conformación de materiales elástico-plásticos, tales como materiales plásticos y materiales compuestos. La presente invención también se puede aplicar a la simulación de conformación de materiales lineales y materiales de cierto espesor, así como materiales de placa delgada.

Según la presente invención, las áreas que inducen la recuperación durante la conformación de una chapa metálica pueden especificarse mediante un cálculo simple en lugar de un cálculo complicado y que requiere mucho tiempo, tal como una operación matricial de ecuaciones simultáneas a gran escala, con el fin de proporcionar una conformación precisa. Por lo tanto, es posible proporcionar una simulación de conformación de alta precisión y ahorro de tiempo.

A continuación, se enumeran los signos de referencia utilizados en la descripción y dibujos

101: primera calculadora

102: segunda calculadora

103: sección de especificación

104: sección de presentación

201: primera calculadora

202: segunda calculadora

203: tercera calculadora

204: cuarta calculadora

205: sección de presentación

301: primera calculadora

302: segunda calculadora

303: tercera calculadora

304: cuarta calculadora

305: quinta calculadora

306: sexta calculadora

307: sección de presentación

501: producto conformado por presión

502: porción en relieve (punto E)

503: porción en relieve (punto F)

504: herramienta inferior en la primera etapa del proceso de conformación por presión

505: superior herramienta en la primera etapa del proceso de conformación por presión

506: herramienta interior en relieve

507: herramienta inferior en la segunda etapa del proceso de conformación por presión

508: herramienta superior en la segunda etapa del proceso de conformación por presión

REIVINDICACIONES

1.- Un método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador para determinar un área que induce la recuperación de un material (10) elástico-plástico que está conformado con una herramienta de conformación, comprendiendo el método de simulación de conformación por presión:

- 5 calcular un vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ a partir de un tensor de esfuerzo σ que representa el esfuerzo en el material (10) elástico-plástico en un punto muerto inferior de la herramienta de conformación que utiliza un método de elemento finito para uno o una pluralidad de elementos finitos de una configuración objetivo del material (10) elástico-plástico basándose en la siguiente ecuación

$$\{f\}_e = \int_{V_e} [L]^T [B] \{\sigma\} dV = \begin{Bmatrix} : \\ N_x^i \\ N_y^i \\ N_z^i \\ M_x^i \\ M_y^i \\ M_z^i \\ : \end{Bmatrix}$$

- 10 En donde [L] representa una matriz de transformación de coordenadas y [B] representa una matriz de relación entre desplazamiento y deformación. La matriz de transformación de coordenadas [L] es una matriz de transformación para convertir el vector de fuerza nodal equivalente del elemento en un sistema de coordenadas del elemento hacia un vector en un sistema de coordenadas global, la matriz de transformación de coordenadas [L] se calcula utilizando un coseno de dirección con respecto a un sistema de coordenadas del elemento (X', Y' y Z') de los ejes X, Y y Z del sistema de coordenadas global;
- 15

calcular un vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ de áreas integrando una pluralidad de vectores de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ calculado para uno o una pluralidad de elementos finitos sobre todas las áreas o áreas específicas del material (10) elástico-plástico como se representa en la siguiente ecuación

$$\{f\} = \int_V \{f\}_e dV$$

- 20 el vector de fuerza nodal equivalente total que consiste en la fuerza de sección transversal (Nx, Ny, Nz) y en el momento de flexión (Mx, My, Mz); y

especificar posiciones de áreas con una cantidad de momento de flexión (Mx, My, Mz) que excede un umbral predeterminado como áreas que inducen la recuperación con respecto al momento de flexión (Mx, My, Mz) de componentes del vector de fuerza nodal equivalente total calculado.

- 25 2.- El método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador según la reivindicación 1, en donde la etapa de especificar áreas que inducen la recuperación se realiza entre todas las áreas o áreas específicas del material (10) elástico-plástico.

3.- El método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende:

- 30 calcular una matriz inversa de una matriz de rigidez general; y

multiplicar la matriz inversa de la matriz de rigidez general por el vector de fuerza nodal equivalente total, utilizando el vector de fuerza nodal equivalente total como un vector de fuerza externa, y calcular una contribución de cada

componente del vector de fuerza externa con respecto a una cantidad desplazada de una posición especificada del material (10) elástico-plástico.

4.- El método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador según la reivindicación 3, que comprende además:

- 5 mostrar la contribución de cada componente del vector de fuerza externa con respecto a una cantidad desplazada de la posición especificada del material elástico-plástico.

5.- El método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además:

calcular una matriz inversa de una matriz de rigidez general;

- 10 multiplicar la matriz inversa de una matriz de rigidez general por un primer vector de fuerza externa, utilizando el vector de fuerza nodal equivalente total como el primer vector de fuerza externa, y calcular una primera cantidad desplazada de una posición especificada del material elástico-plástico;

- 15 para uno o una pluralidad de elementos finitos, restar un vector de fuerza nodal equivalente del elemento del primer vector de fuerza externa, y utilizando un resultado de sustracción obtenido como un segundo vector de fuerza externa, y multiplicar la matriz inversa de la matriz de rigidez general por el segundo vector de fuerza externa, y calcular una segunda cantidad desplazada en una posición especificada del material (10) elástico-plástico; y para dicho uno o dicha pluralidad de elementos finitos, calcular una cantidad de cambio entre la primera cantidad desplazada y la segunda cantidad desplazada.

- 20 6.- El método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador según la reivindicación 5, que comprende además:

mostrar la cantidad de cambio entre la primera cantidad desplazada y la segunda cantidad desplazada.

7.- El método de conformación por presión de un material (10) elástico-plástico que está conformado con una herramienta de conformación basándose en un resultado del método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador según la reivindicación 1, comprendiendo el método de conformación por presión:

- 25 Especificar las áreas que inducen la recuperación basándose en el método de simulación de conformación por presión implementado por ordenador según la reivindicación 1:

Conformar porciones (502, 503) en relieve de antemano en las áreas que inducen la recuperación; y deformar de forma plástica las porciones (503, 503) en relieve con el objetivo de impartir esfuerzo compresivo.

- 30 8.- El método de conformación por presión de un material (10) elástico-plástico según la reivindicación 7, en donde las porciones (502, 503) en relieve conformadas en la conformación de las porciones en relieve son dos o más porciones en relieve circulares que tienen dimensiones sustancialmente idénticas.

- 35 9.- El método de conformación por presión del material (10) elástico-plástico según la reivindicación 7, en donde la conformación de las porciones (502, 503) en relieve comprende además ajustar las dimensiones de altura de las configuraciones de las porciones (502, 503) en relieve utilizando una pluralidad de herramientas (506) extraíbles que tienen diferentes dimensiones de altura que están configuradas para encajar en los rebajes (504a) provistos en un molde (504).

10.- Un programa que hace que un ordenador ejecute la simulación de conformación por presión para determinar un área que induce la recuperación de un material (10) elástico-plástico que está conformado con una herramienta de conformación, comprendiendo la simulación de conformación por presión:

- 40 calcular un vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ a partir de un tensor de esfuerzo σ que representa el esfuerzo en el material (10) elástico-plástico en un punto muerto inferior de la herramienta de conformación utilizando un método de elemento finito para uno o una pluralidad de elementos finitos de una configuración objetivo del material (10) elástico-plástico basándose en la siguiente ecuación

$$\{f\}_e = \int_{V_e} [L]^T [B] \{\sigma\} dV = \begin{Bmatrix} N_x^i \\ N_y^i \\ N_z^i \\ M_x^i \\ M_y^i \\ M_z^i \end{Bmatrix}$$

En donde [L] representa una matriz de transformación de coordenadas y [B] representa una matriz de relación entre desplazamiento y deformación, la matriz de transformación de coordenadas [L] es una matriz de transformación para convertir el vector de fuerza nodal equivalente del elemento en un sistema de coordenadas del elemento hacia un vector en un sistema de coordenadas global, la matriz de transformación de coordenadas [L] se calcula utilizando un coseno de dirección con respecto a un sistema de coordenadas del elemento (X', Y' y Z') de los ejes X, Y y Z del sistema de coordenadas global;

calcular un vector de fuerza nodal equivalente total {f} de áreas integrando una pluralidad de vectores de fuerza nodal equivalente del elemento {f}_e calculado para uno o una pluralidad de elementos finitos sobre todas las áreas o áreas específicas del material (10) elástico-plástico como se representa en la siguiente ecuación

$$\{f\} = \int_V \{f\}_e dV$$

el vector de fuerza nodal equivalente total que consiste en la fuerza de sección transversal (Nx, Ny, Nz) y en el momento de flexión (Mx, My, Mz); y

especificar posiciones de áreas con una cantidad de momento de flexión (Mx, My, Mz) que excede un umbral predeterminado como áreas que inducen la recuperación con respecto al momento de flexión (Mx, My, Mz) de componentes del vector de fuerza nodal equivalente total calculado.

11.- El programa según la reivindicación 10, en donde la etapa de especificar áreas que inducen la recuperación se realiza entre todas las áreas o áreas específicas son de material (10) elástico plástico.

12.- El programa según la reivindicación 10, que hace que un ordenador se ejecute:

calcular una matriz inversa de una matriz de rigidez general; y

multiplicar la matriz inversa de la matriz de rigidez general por el vector de fuerza nodal equivalente total, siendo el vector de fuerza nodal equivalente total un vector de fuerza externa, y calcular la contribución de cada componente del vector de fuerza externa con respecto a una cantidad desplazada de una posición especificada del material (10) elástico-plástico.

13.- El programa según la reivindicación 10, que además hace que un ordenador ejecute:

calcular una matriz inversa de una matriz de rigidez general;

multiplicar una matriz inversa de la matriz de rigidez general por un primer vector de fuerza externa, siendo el vector de fuerza nodal equivalente total el primer vector de fuerza externa, y calcular una primera cantidad desplazada de la posición especificada del material (10) elástico-plástico;

multiplicar la matriz inversa de la matriz de rigidez general por un segundo vector de fuerza externa y calcular una segunda cantidad desplazada en una posición especificada del material (10) elástico-plástico para uno o una pluralidad de elementos finitos con un resultado obtenido al restar un vector de fuerza nodal equivalente del elemento del elemento del primer vector de fuerza externa que es el segundo vector de fuerza externa; y

calcular una cantidad de cambio en la primera cantidad desplazada y la segunda cantidad desplazada para uno o

varios elementos finitos.

14.- Un medio de grabación legible por ordenador que tiene un programa según la reivindicación 10 almacenado en el mismo.

5 15.- Un simulador de conformación por presión que realiza la simulación de conformación por presión para determinar un área que induce la recuperación de un material (10) elástico-plástico, que está conformado con una herramienta de conformación, que comprende:

una primera calculadora (101) adaptada para calcular un vector de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ a partir del tensor de esfuerzo σ que representa el esfuerzo en el material (10) elástico-plástico en un punto muerto inferior de la herramienta de conformación utilizando un método de elemento finito para uno o una pluralidad de elementos finitos de una configuración objetivo del material (10) elástico-plástico basándose en la siguiente ecuación

$$\{f\}_e = \int_{V_e} [L]^T [B] \{\sigma\} dV = \begin{Bmatrix} : \\ N_x^i \\ N_y^i \\ N_z^i \\ M_x^i \\ M_y^i \\ M_z^i \\ : \end{Bmatrix}$$

En donde [L] representa una matriz de transformación de coordenadas y [B] representa una matriz de relación entre desplazamiento y deformación, la matriz de transformación de coordenadas [L] es una matriz de transformación para convertir el vector de fuerza nodal equivalente del elemento en un sistema de coordenadas del elemento hacia un vector en un sistema de coordenadas global, la matriz de transformación de coordenadas [L] se calcula utilizando un coseno de dirección con respecto a un sistema de coordenadas del elemento (X', Y' y Z') de los ejes X, Y y Z del sistema de coordenadas global;

una segunda calculadora (102) adaptada para calcular un vector de fuerza nodal equivalente total $\{f\}$ de áreas que integra una pluralidad de los vectores de fuerza nodal equivalente del elemento $\{f\}_e$ calculado para uno o una pluralidad de elementos finitos sobre todas las áreas o áreas específicas del material (10) elástico-plástico como se ha representado en la siguiente ecuación

$$\{f\} = \int_V \{f\}_e dV$$

el vector de fuerza nodal equivalente total que consiste en la fuerza de sección transversal (Nx, Ny, Nz) y en el momento de flexión (Mx, My, Mz);

25 una sección (103) de especificación adaptada para especificar posiciones de áreas con una cantidad de momento de flexión (Mx, My, Mz) que excede un umbral predeterminado como áreas que inducen la recuperación con respecto al momento de flexión (Mx, My, Mz) de componentes del vector de fuerza nodal equivalente total calculado basándose en el vector de fuerza nodal equivalente total obtenido por la segunda calculadora; y

una sección (104) de presentación adaptada para mostrar resultados especificados por la sección de especificación.

30 16.- El simulador de conformación por presión que realiza la simulación de conformación por presión para determinar un área que induce la recuperación de un material (10) elástico-plástico según la reivindicación 15, en donde la sección (103) de especificación está adaptada para especificar posiciones de áreas con una cantidad de momento de flexión (Mx, My, Mz) que excede un umbral predeterminado entre las áreas en el punto muerto inferior de la conformación del material (10) elástico-plástico como áreas que inducen la recuperación en el material (10) elástico-plástico.

35 17.- El simulador de conformación por presión que realiza la simulación de conformación por presión para determinar 1 a que induce la recuperación de un material (10) elástico-plástico según la reivindicación 15, en donde la sección (103) de especificación comprende:

una tercera calculadora (203) adaptada para calcular una matriz inversa de una matriz de rigidez general; y

una cuarta calculadora (204) adaptada para multiplicar una matriz inversa de la matriz de rigidez general por un primer vector de fuerza externa, siendo el vector de fuerza nodal equivalente total el primer vector de fuerza externa, y para calcular una primera cantidad desplazada de la posición especificada del material (10) elástico-plástico,

- 5 en donde la sección (205) de presentación está adaptada para mostrar la contribución de cada componente del vector de fuerza externa con respecto a la cantidad desplazada de la posición especificada del material (10) elástico-plástico obtenida por la cuarta calculadora (204).

- 10 18.- El simulador de conformación por presión que realiza la simulación de conformación por presión para determinar 1 a que induce la recuperación de un material (10) elástico-plástico según la reivindicación 15, comprendiendo la sección (103) de especificación:

una tercera calculadora (303) adaptada para calcular una matriz inversa de una matriz de rigidez general;

una cuarta calculadora (304) adaptada para multiplicar una matriz inversa de la matriz de rigidez general por un primer vector de fuerza externa, siendo el vector de fuerza nodal equivalente total el primer vector de fuerza externa, y para calcular la primera cantidad desplazada de la posición especificada del material (10) elástico-plástico;

- 15 una quinta calculadora (305) adaptada para multiplicar la matriz inversa de la matriz de rigidez general por un segundo vector de fuerza externa y para calcular una segunda cantidad desplazada en una posición especificada del material (10) elástico-plástico para uno o una pluralidad de elementos finitos con un resultado obtenido al sustraer un vector de fuerza nodal equivalente del elemento del elemento a partir del primer vector de fuerza externa que es el segundo vector de fuerza externa; y

- 20 una sexta calculadora (306) adaptada para calcular una cantidad de cambio en la primera cantidad desplazada y la segunda cantidad desplazada para uno o una pluralidad de elementos finitos,

en donde la sección (307) de presentación está adaptada para mostrar la contribución de cada componente de la cantidad desplazada en la posición especificada del material (10) elástico-plástico obtenida por la sexta calculadora (306).

25

FIG. 1

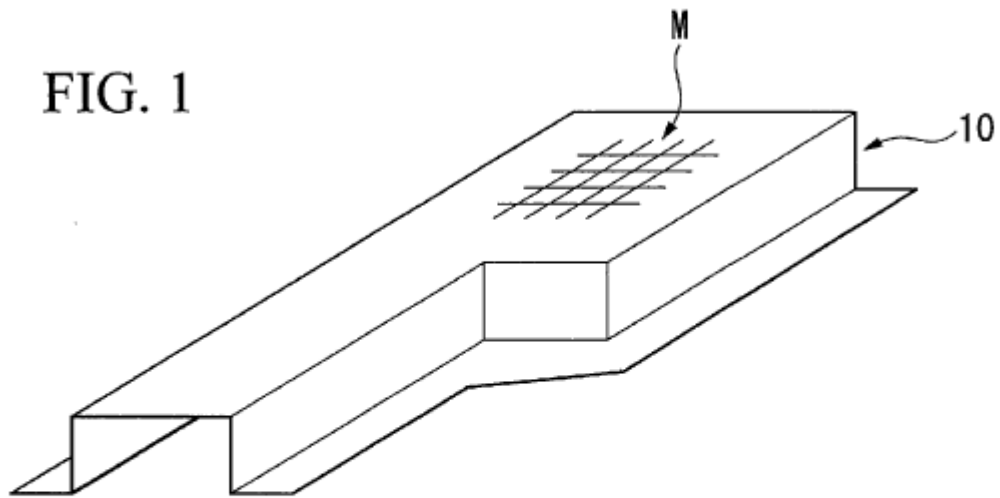


FIG. 2

ELEMENTO DE ESTRUCTURA DE CUATRO NODOS

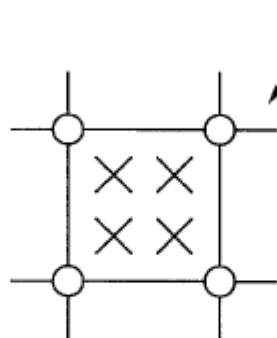


FIG. 3

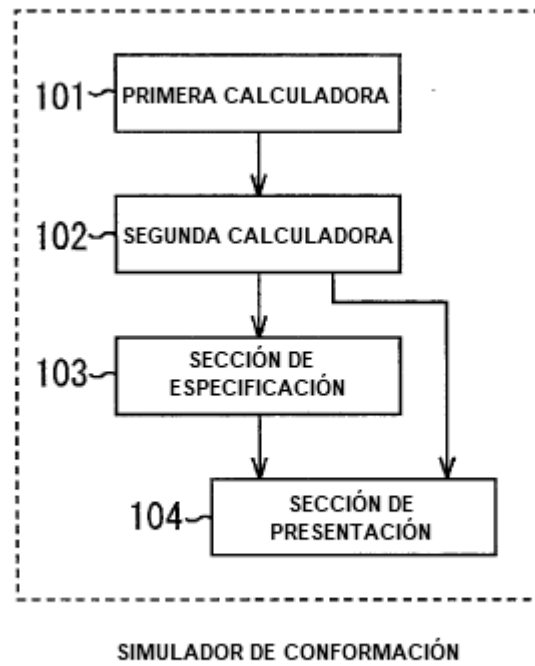


FIG. 4

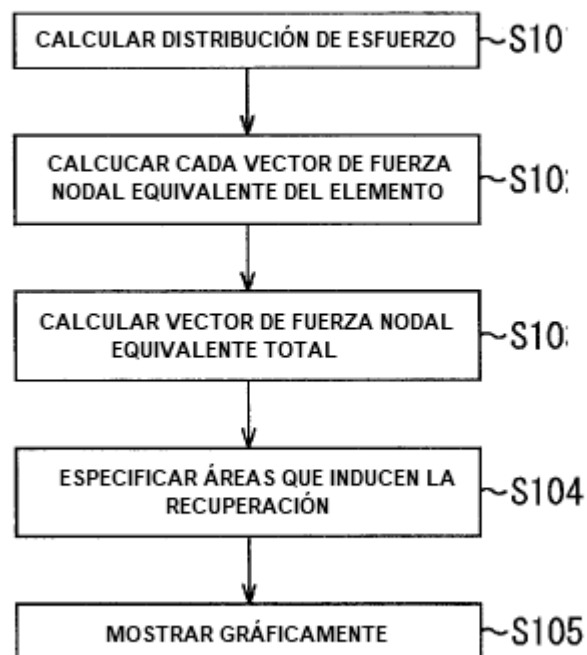


FIG. 5A

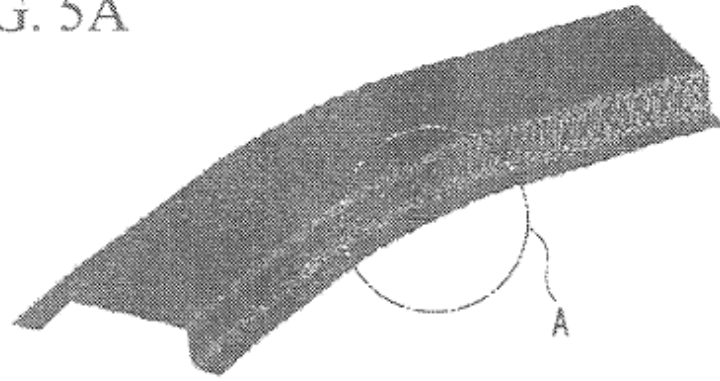


FIG. 5B

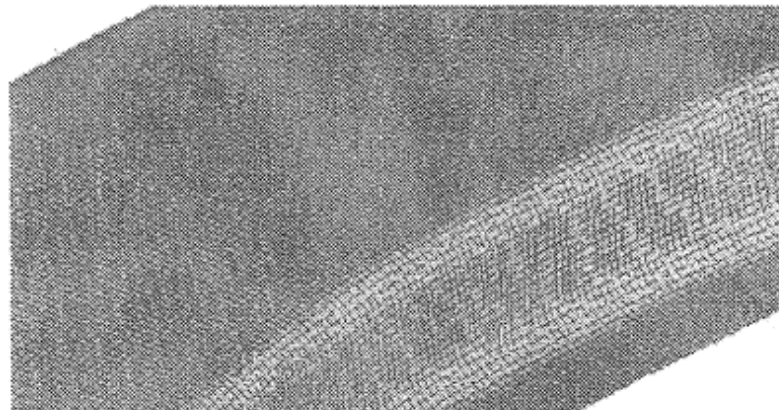


FIG. 6

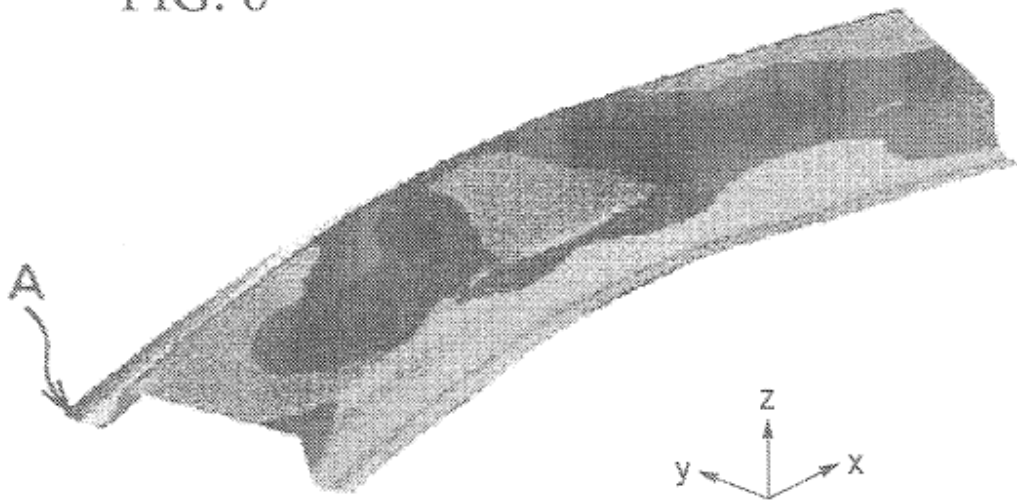


FIG. 7A

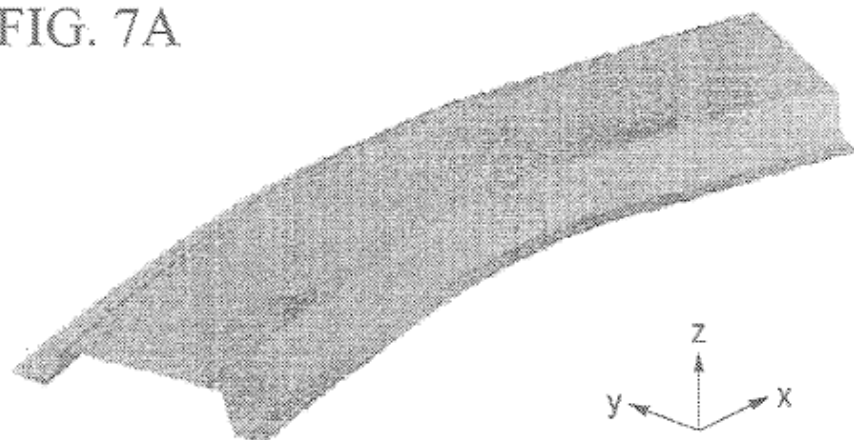


FIG. 7B

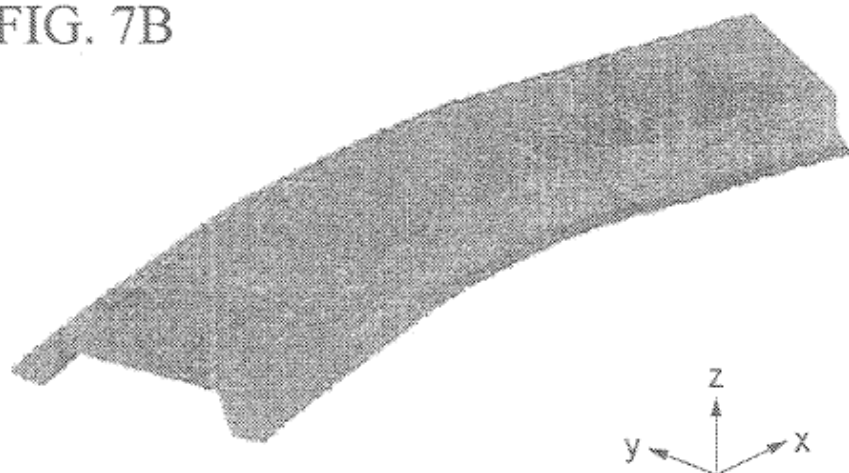


FIG. 8

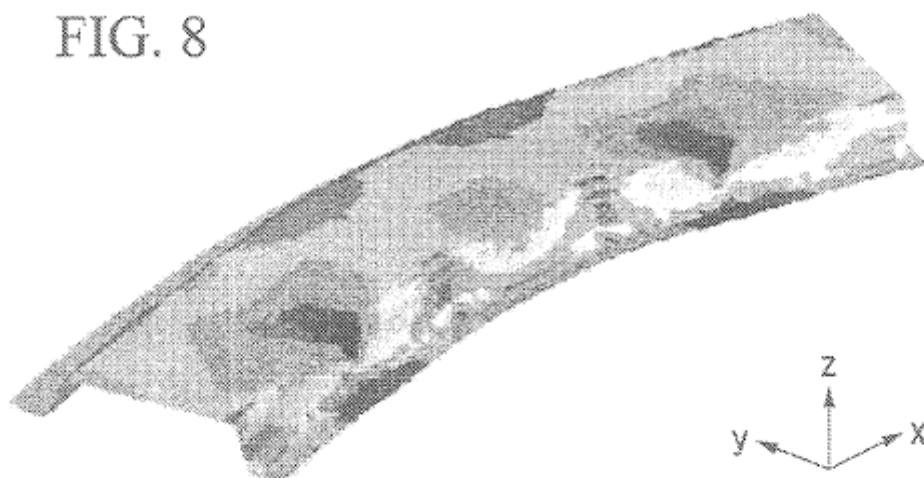


FIG. 9

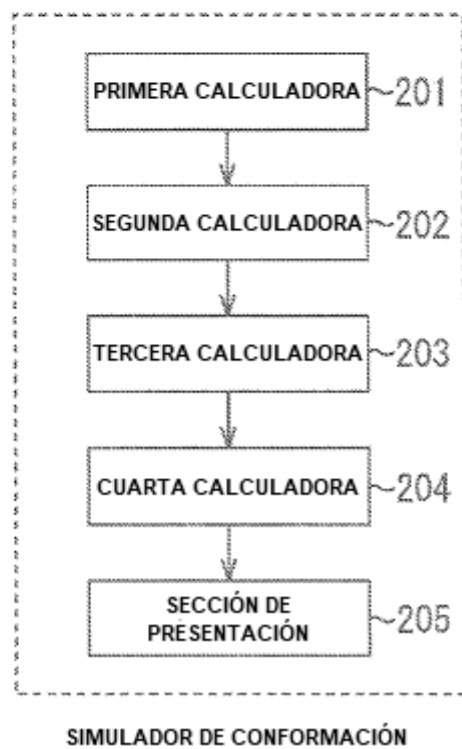


FIG. 10

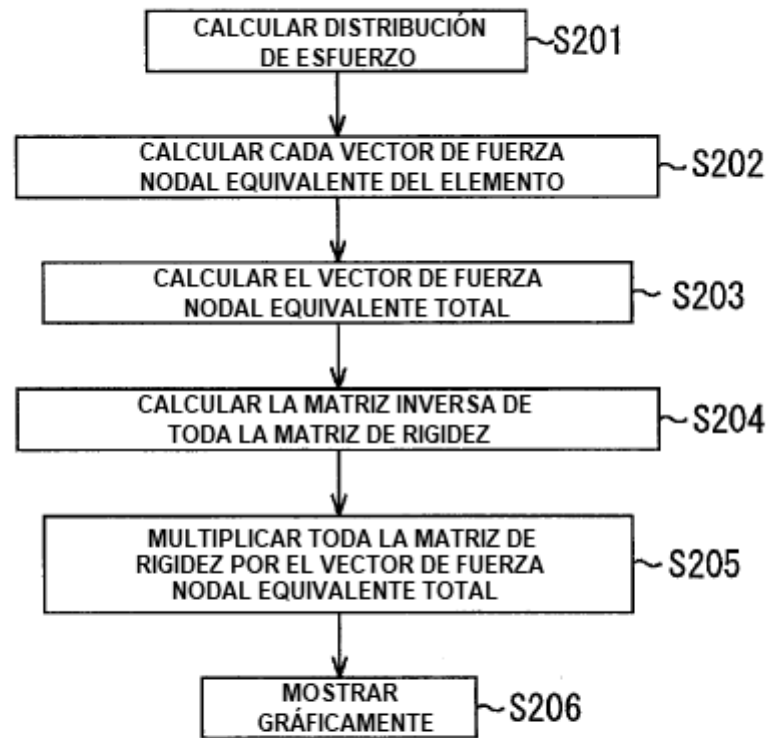


FIG. 11A

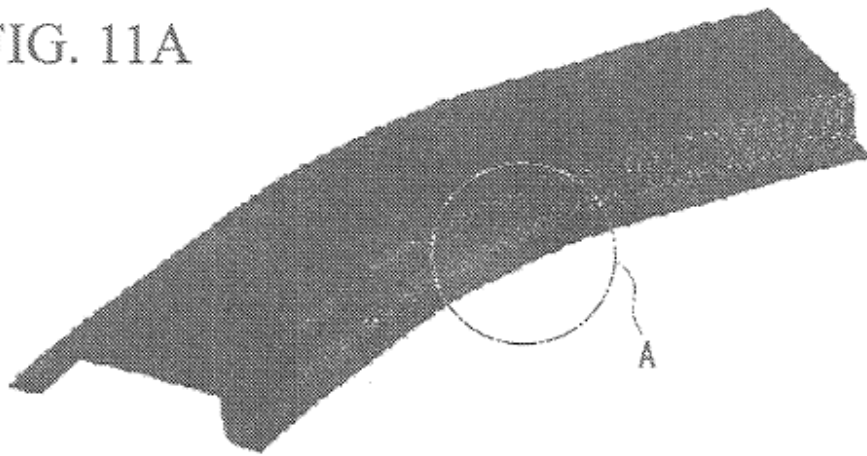


FIG. 11B

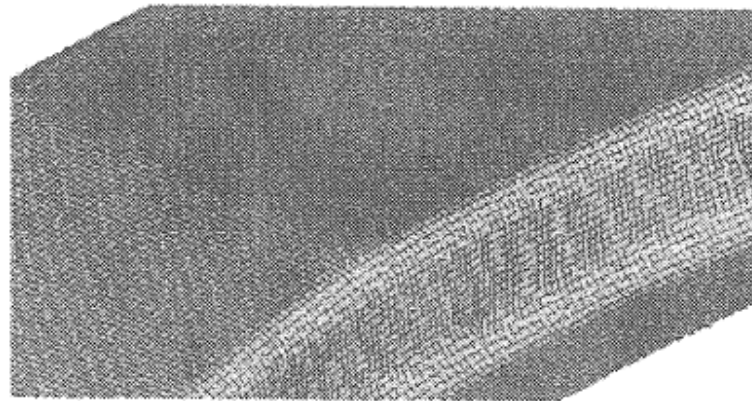


FIG. 12

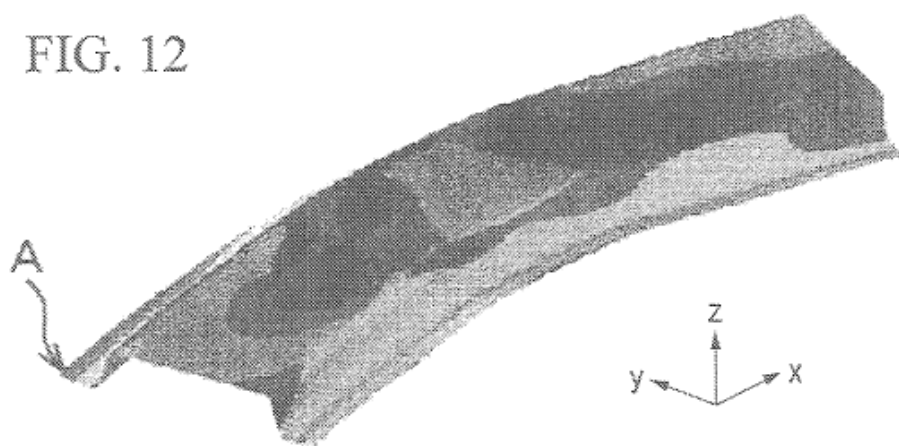


FIG. 13A

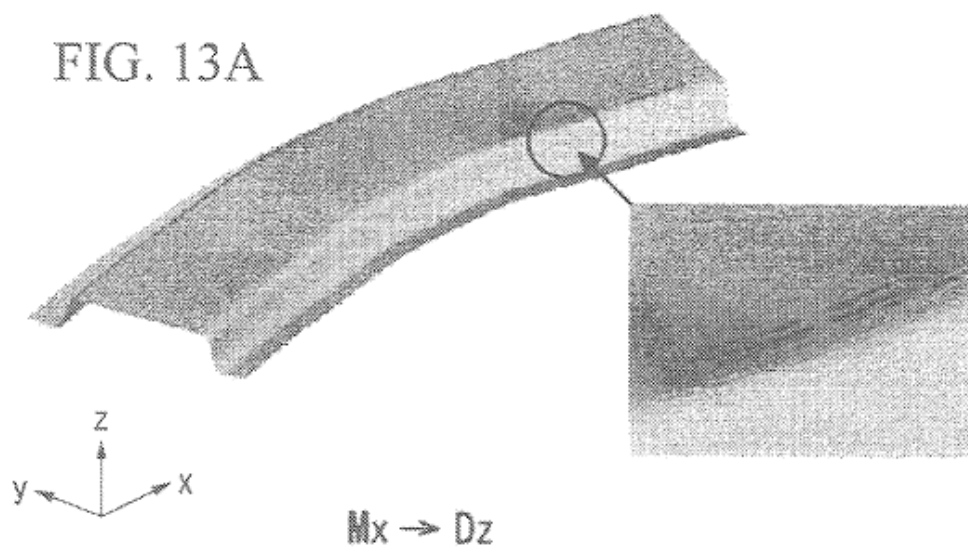


FIG. 13B

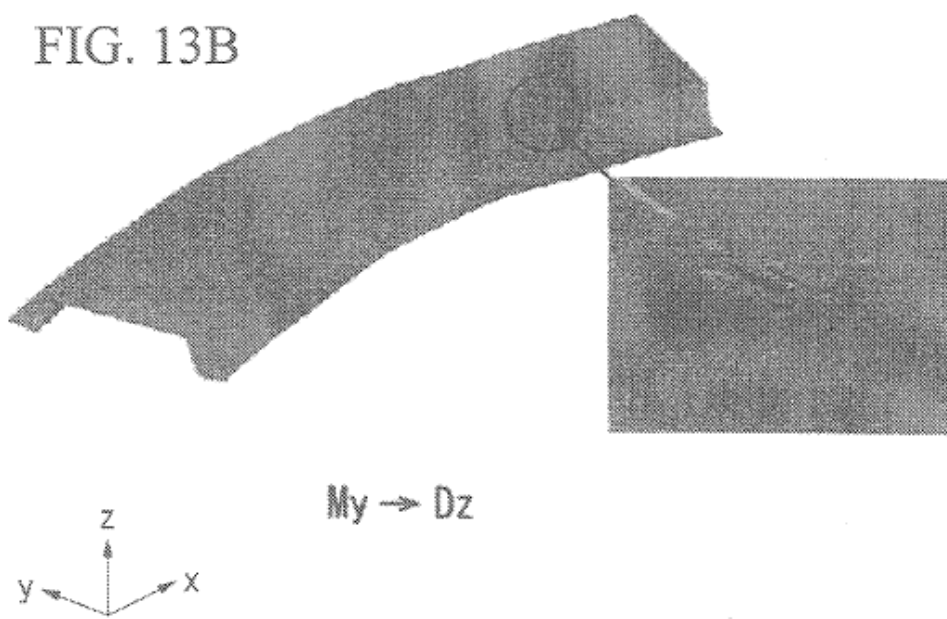


FIG. 14

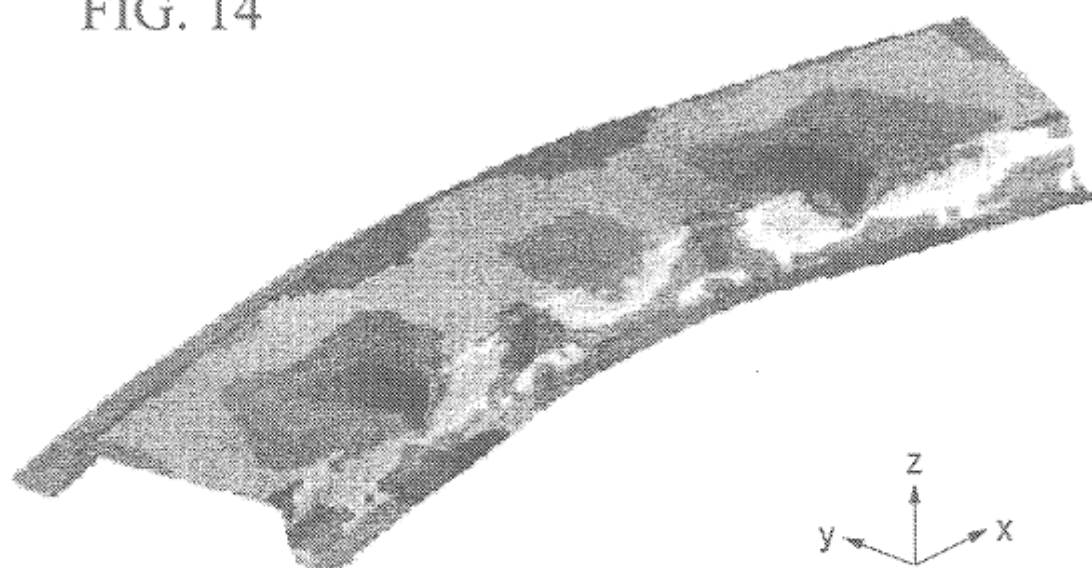


FIG. 15

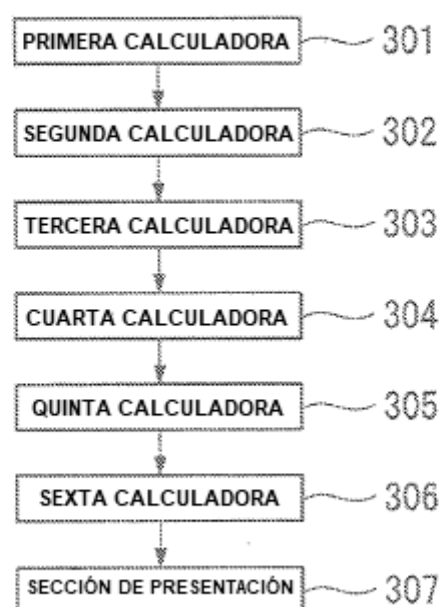


FIG. 16

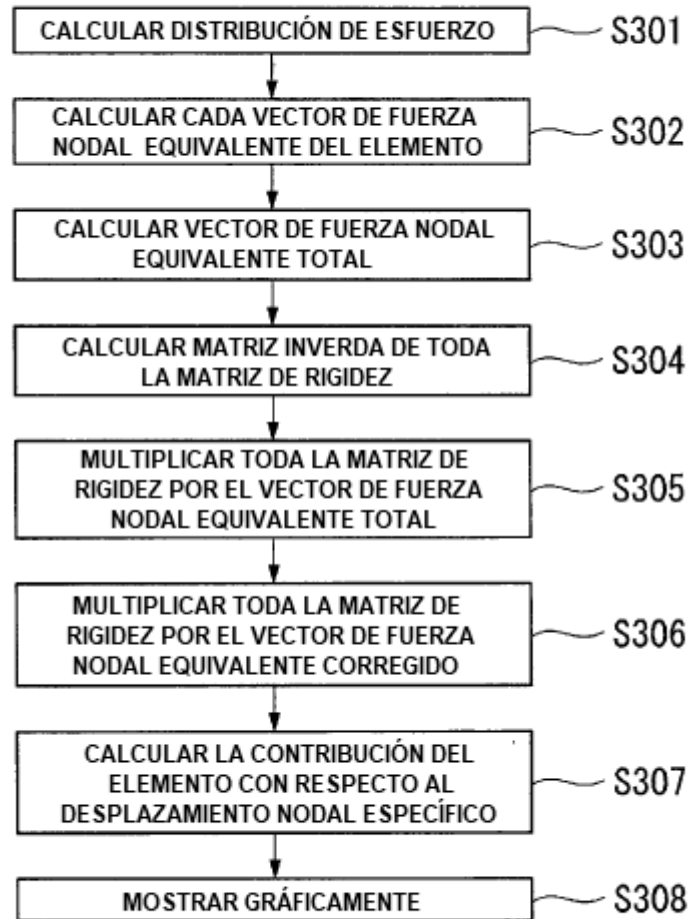


FIG. 17A

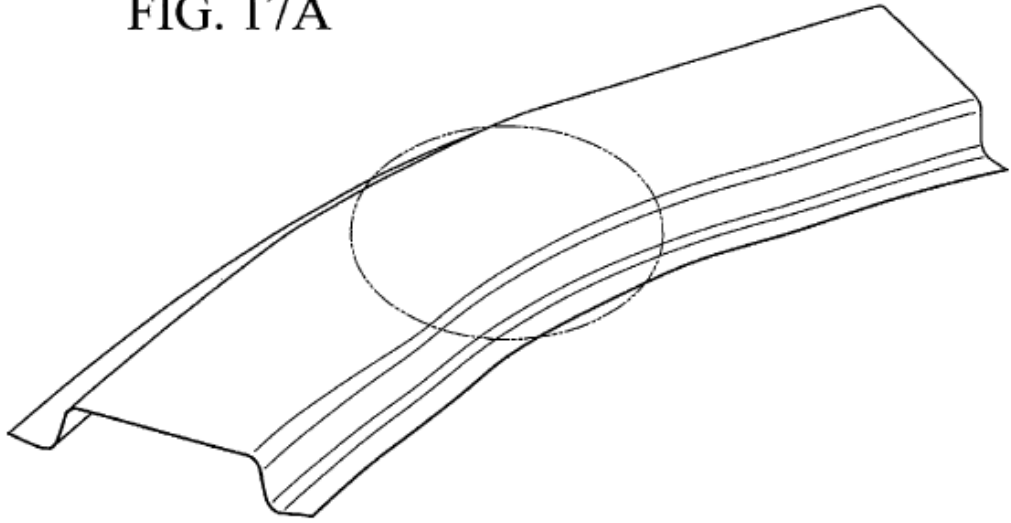


FIG. 17B

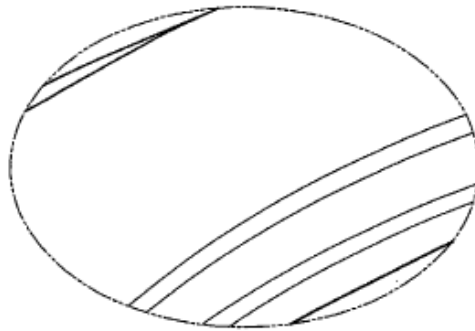


FIG. 18

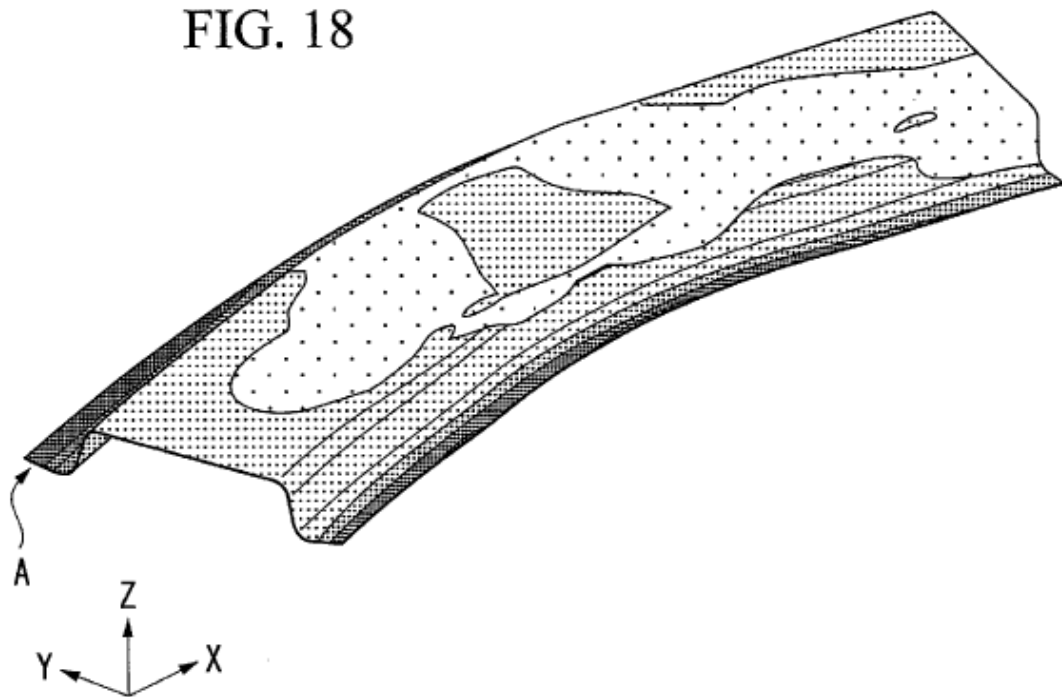
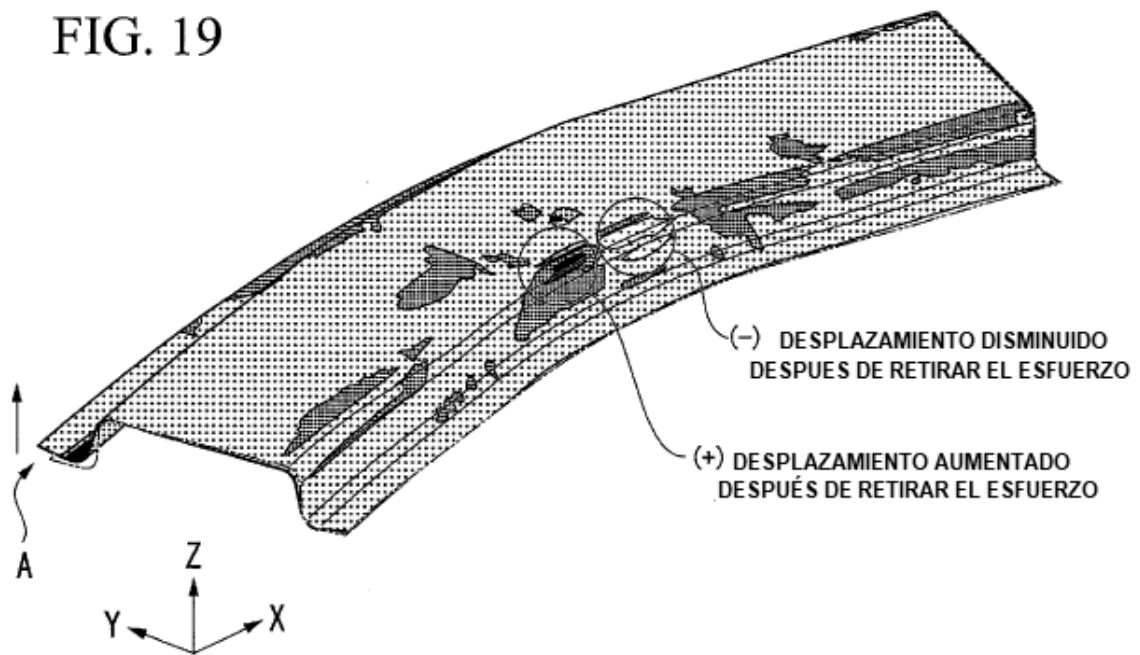


FIG. 19



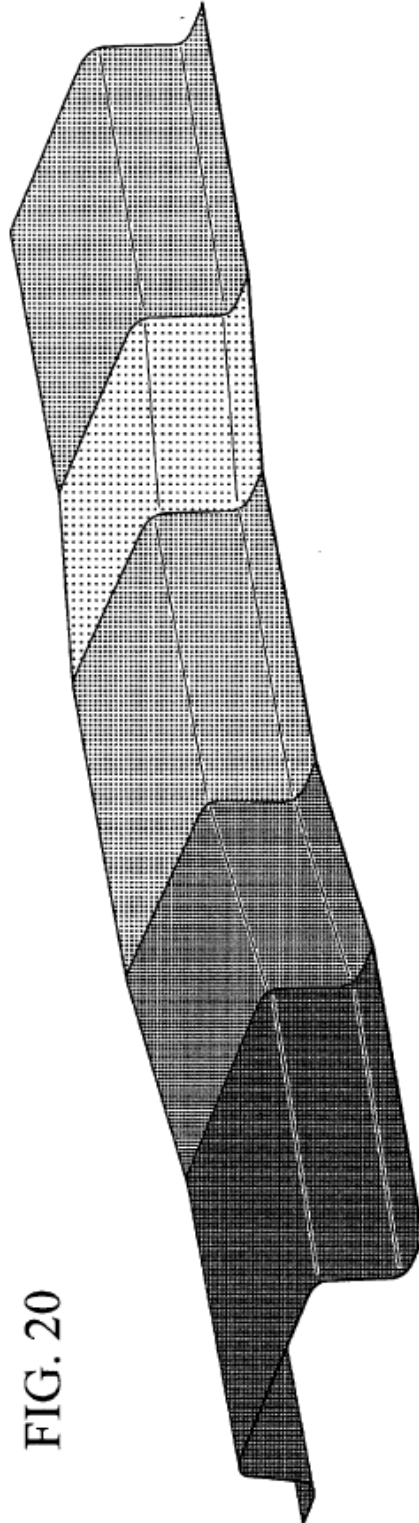
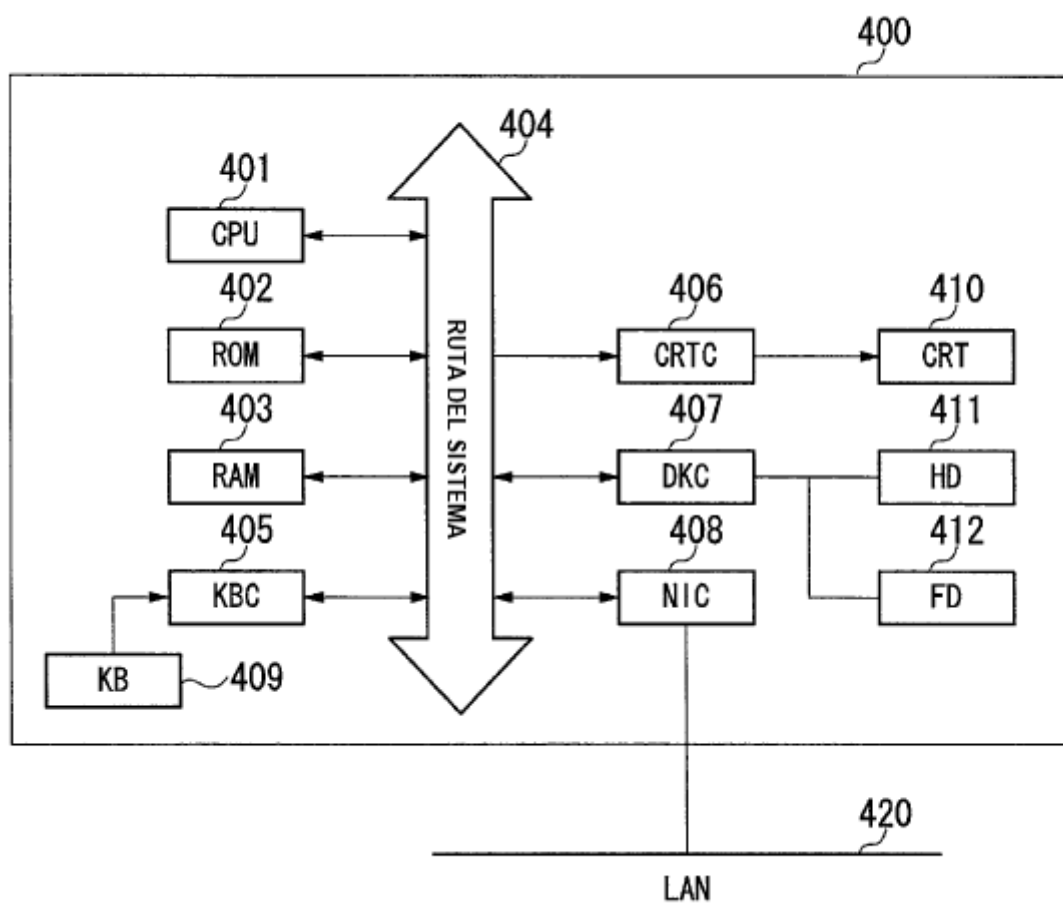


FIG. 20

FIG. 21



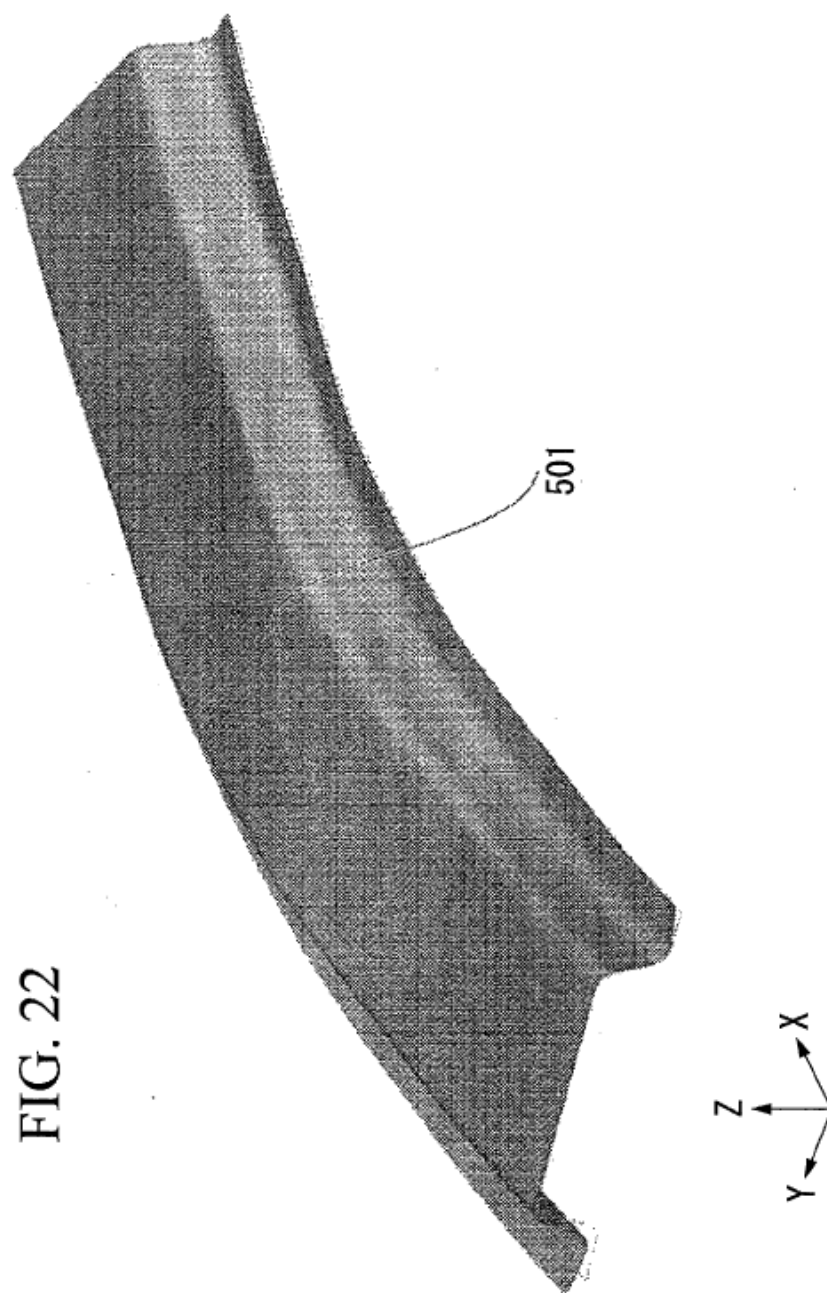


FIG. 23

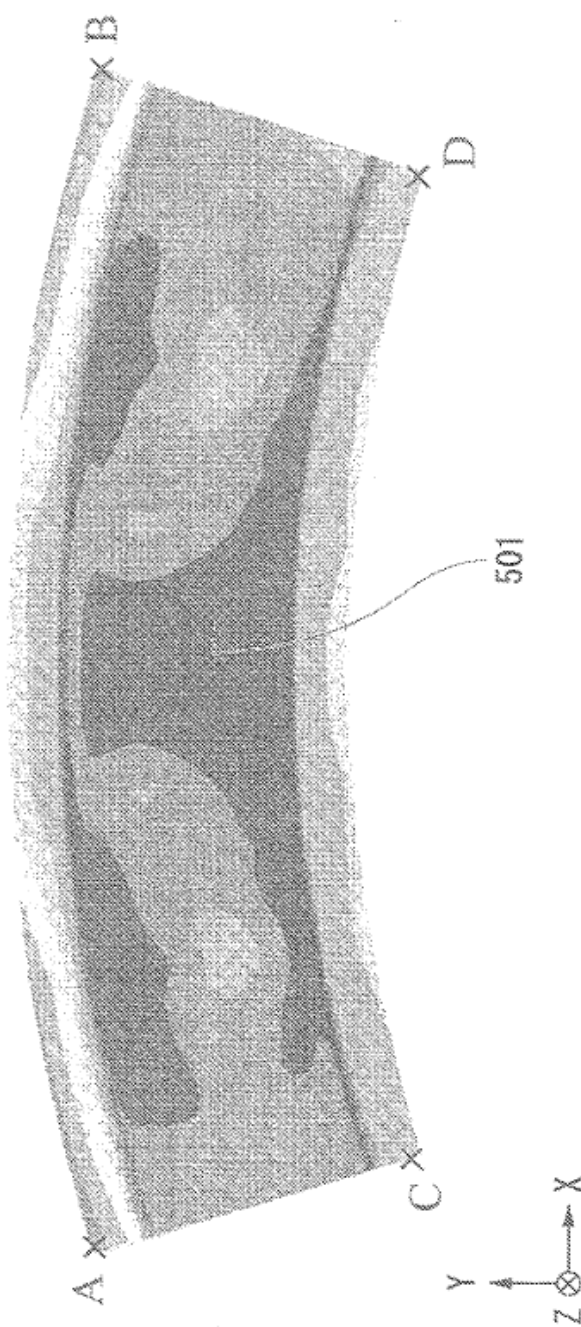


FIG. 24

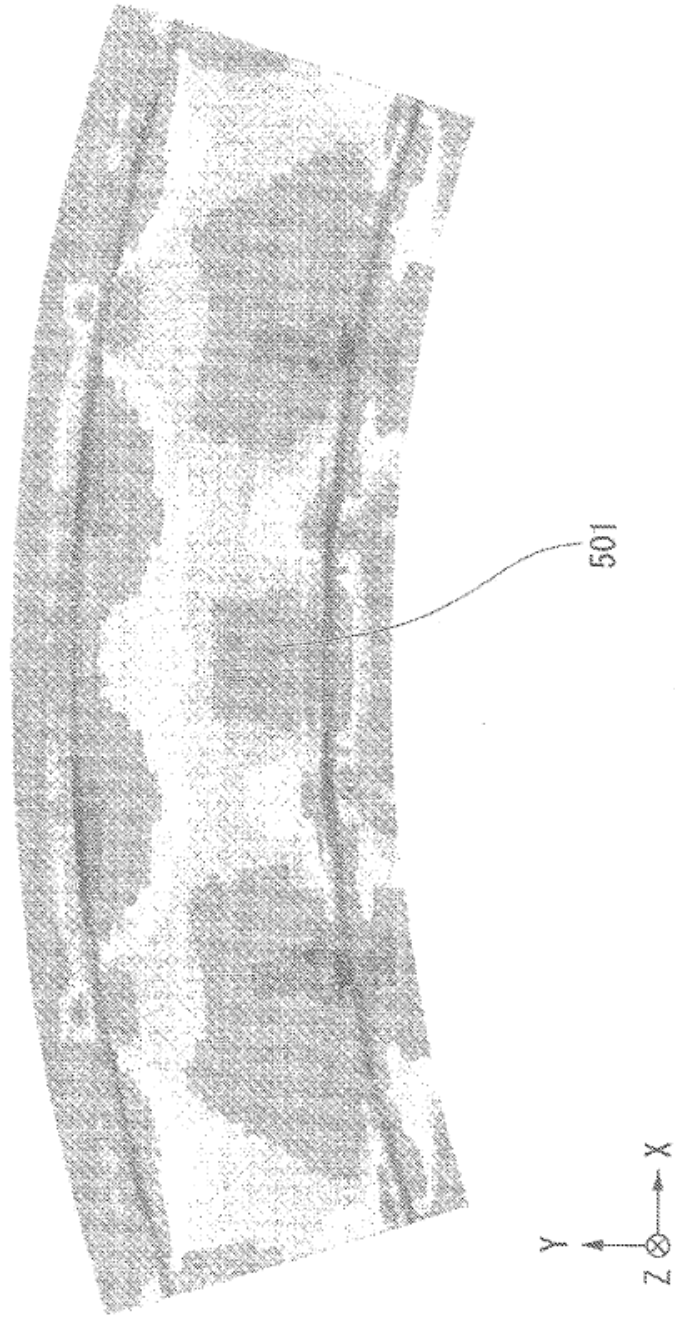


FIG. 25

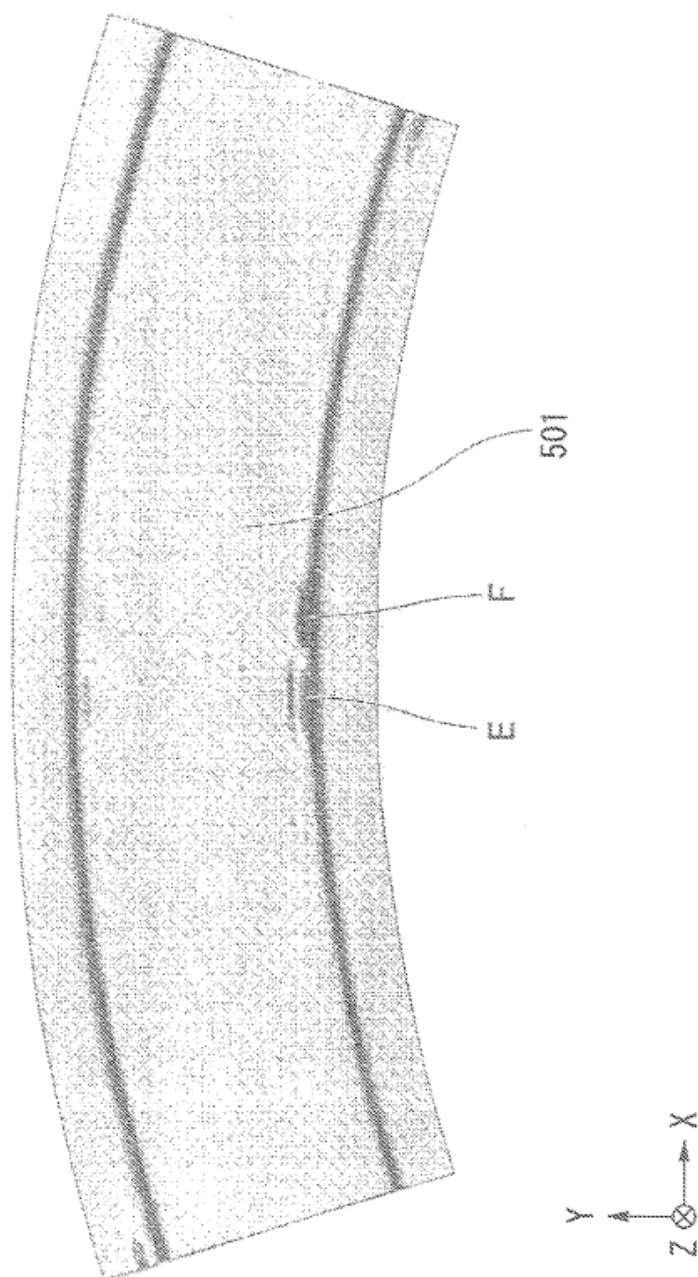


FIG. 26

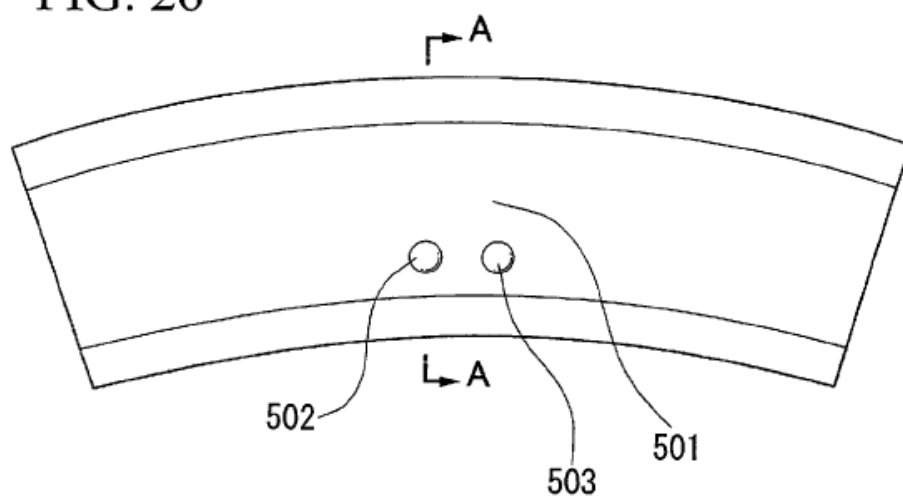


FIG. 27

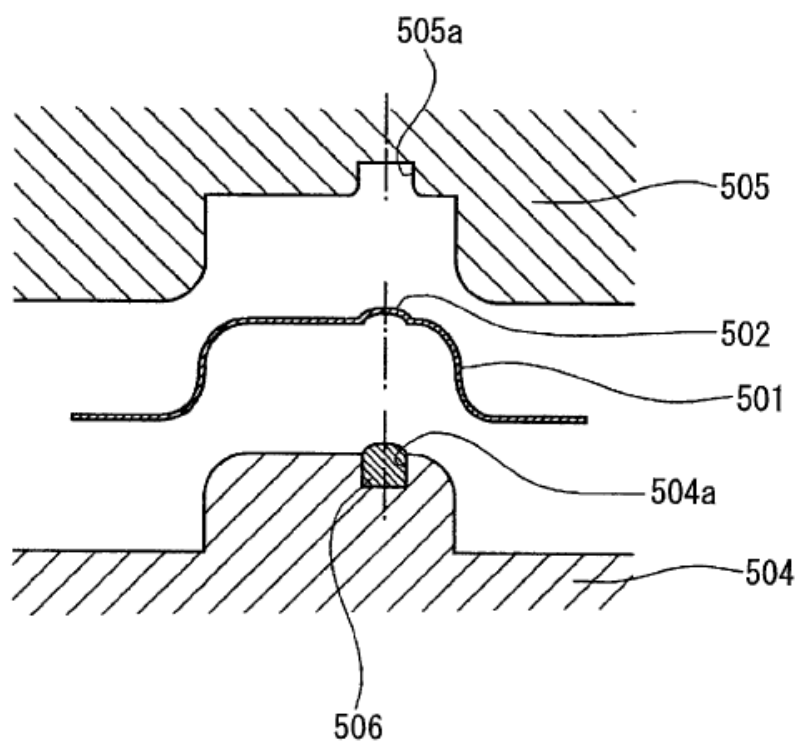


FIG. 28

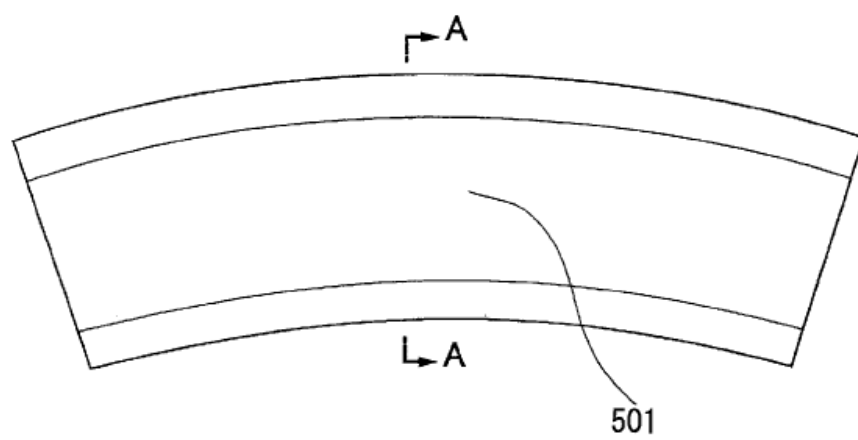


FIG. 29

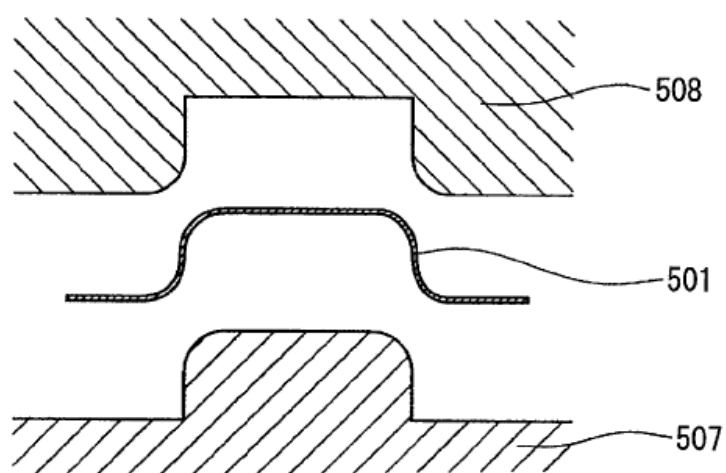


FIG. 30

