

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 565 802**

51 Int. Cl.:

**G01N 3/00** (2006.01)

**B21D 22/00** (2006.01)

**G01M 5/00** (2006.01)

**G01M 7/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2011 E 11765958 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.01.2016 EP 2543983**

54 Título: **Método de evaluación de fracturas, dispositivo de evaluación de fracturas, programa y medio de registro legible por ordenador**

30 Prioridad:

**07.04.2010 JP 2010088269**

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

**07.04.2016**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)  
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku  
Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**HIWATASHI, SHUNJI y  
YONEMURA, SHIGERU**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 565 802 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 evaluación de fracturas, dispositivo de evaluación de fracturas, programa y medio de registro legible por ordenador

5 La presente invención se refiere a un método de determinación de fracturas, un aparato de determinación de fracturas, un programa y un medio de registro legible por ordenador para la determinación de una fractura de una chapa de metal, una pieza formada de una chapa de metal, y una estructura formada por una chapa de metal, y similares, en una simulación de colisión de un automóvil, una simulación de conformación con de una pieza, o similares.

10 En los últimos años, en la industria de la automoción, es una cuestión urgente el desarrollo de una estructura de carrocería de vehículo capaz de reducir las lesiones a los pasajeros en una colisión. Se puede conseguir una estructura de carrocería de vehículo excelente en dicha seguridad en las colisiones mediante la absorción de la energía de impacto en caso de colisión, por elementos estructurales distintos del habitáculo de pasajeros, con el fin de minimizar la deformación del habitáculo de pasajeros y asegurar un espacio de supervivencia.

15 Es decir, es importante permitir que los elementos estructurales absorban la energía del impacto. Para mejorar la absorción de energía de impacto, es crucial estabilizar un modo de deformación e impedir la flexión o fractura en el medio, y es necesario evaluar con precisión qué grado de riesgo de fractura se ha alcanzado en el momento actual.

20 Sin embargo, en una colisión o conformación en prensa de un automóvil, cada elemento pasa a través de una compleja trayectoria de deformación, y en consecuencia el riesgo de fractura varía dependiendo de su historial de deformación. Por lo tanto, ha sido difícil evaluar con precisión el riesgo de fractura por parte de cada elemento.

25 Convencionalmente se han producido muchas propuestas de procedimientos y aparatos y similares para la predicción de una fractura. Por ejemplo, la publicación de patente abierta japonesa nº 2007-152407 (Documento de Patente 1) describe un aparato de procesamiento aritmético que predice una fractura en la prensa de conformación mediante el uso de medios de simulación de una conformación con prensa, medios de cálculo de deformación plástica equivalente, medios de cálculo del valor de determinación de la formación de una grieta, y medios de determinación de la formación de grietas. Los medios de determinación de la formación de grietas del aparato de procesamiento aritmético es capaz de predecir la formación de grietas con mayor precisión cuando predice la formación de una grieta con referencia a un diagrama de límite de formación prediciendo la una formación de grietas en base a si un objetivo de deformación plástica equivalente objetivo de determinación excede o no un valor de determinación de formación de grietas en la dirección de avance de la deformación. Sin embargo, el método del Documento de Patente 1 es evaluar un margen de fractura por la distancia a un valor límite de la formación no proporcional en un espacio de deformación, y el método necesita recalcular el valor límite de la formación no proporcional cada vez que cambia la dirección de avance de la deformación, y por lo tanto es complicado.

30 Además, la publicación de patente abierta japonesa nº 2007-232714 (Documento de Patente 2) describe que, con una línea obtenida mediante la conversión de una relación de expansión de un agujero en una tensión que se toma como una línea de tensión límite de fractura, el riesgo de fractura de un material se evalúa cuantitativamente comparando la relación entre los datos obtenidos de un análisis numérico utilizando un método de elementos finitos y la línea de tensión límite de fractura. En el método del Documento de Patente 2 es posible obtener de manera fácil y eficiente una línea límite de fractura cuando se determina el límite de fractura de una chapa delgada en un proceso que incluye una o más variaciones en la trayectoria de deformación, y determinar un límite de fractura con una alta precisión de la predicción.

35 Además, la publicación de patente abierta japonesa nº 2007-232715 (Documento de Patente 3) describe que, con una línea obtenida mediante la conversión de una relación de expansión de un agujero en una tensión que se toma como una línea de tensión límite de fractura, el riesgo de fractura de un material se evalúa cuantitativamente comparando la relación entre los datos obtenidos de un análisis numérico utilizando un método de elementos finitos y la línea límite de la tensión de fractura. En el método del Documento de Patente 3, es posible obtener de manera fácil y eficiente una línea límite de fractura al determinar el límite de fractura de una parte de brida estiramiento en una chapa delgada en un proceso que incluye una o más variaciones de la trayectoria de deformación, y determinar una fractura con alta precisión, permitiendo de este modo la evaluación del riesgo de fractura durante la conformación en prensa o en caso de colisión.

40 Por otra parte, la publicación de patente abierta japonesa Nº 2007-285.832 (Documento de Patente 4) describe un sistema de obtención del límite de fractura en el que un terminal de usuario proporciona los datos del material, como el objetivo de la determinación de fracturas, a un servidor y obtiene del servidor datos de una la línea límite de fractura. Describe que el terminal de usuario evalúa cuantitativamente el riesgo de fractura de un material utilizando la línea límite de fractura obtenida.

5 EP1 9851989 A describe un método de predicción de ruptura en el que mediante el uso de una línea de tensión límite de fractura obtenida mediante la conversión de una relación de expansión de agujero en una tensión como un criterio para una fractura, el riesgo de fractura en un material se evalúa cuantitativamente comparando la relación entre los datos obtenidos a partir de un análisis numérico utilizando un método de elementos finitos y la línea de tensión límite de fractura.

10 A.G, Mamalis y otros, "Prediction of the limit strains of sheet steel thermally art , mechanically worked in relation to surface integrity changes: A theoretical model", Journal of Materials Processing Technology, 25 (1991), 15 - -33, da a conocer un modelo teórico para predecir las tensiones limite y los diagramas límite de formación, tanto en el primer (I) como en el segundo (II) cuadrantes del lugar geométrico de la tensión de chapas delgadas sometidas a estiramiento biaxial.

15 H. Vegter y otros., "Influence of the plastic material behavior on the prediction of forming limits"; AIP, Conf, Proe. 908, 87 (2007), describe que el modelo de material que combina el comportamiento de daño producido por ductilidad y la plasticidad, es capaz de predecir el principio de estricción para DC06 de una manera precisa.

20 K. Mizutani y otros, "Estimation of a macro 'crack trajectory in orthogonal cutting of, ceramics by the finite element method", Journal of the Society of Material Science, Japón, vol. 32, N°. 363, enero de 1983, páginas 1327-1333, da a conocer el efecto de la plasticidad de materiales en la posición de inicio de la grieta y el papel de la fractura del material en la trayectoria de la extensión de la fisura

25 Sin embargo, aunque los documentos de patente 2 a 4 descritos anteriormente pueden corresponder a la deformación no proporcional mediante evaluación con tensión, no presentan de forma específica índices cuantitativos que representan el grado de riesgo de fractura. Además, en un método de determinación de la fractura simple hay un problema de que el riesgo de fractura varía si la estructura de metal ha vuelto desde un estado plástico a un estado elástico.

30 La presente invención se hace en vista de los problemas de las técnicas convencionales que se han descrito anteriormente, y es un objetivo de la misma el proporcionar un método de determinación de la fractura, un aparato de determinación de fracturas, un programa y un medio de registro legible por ordenador que sean capaces de realizar la determinación de la fractura con una alta precisión incluso cuando la estructura de metal ha retornado desde un estado plástico a un estado elástico.

35 El anterior objetivo se puede lograr mediante las características definidas en las reivindicaciones

Según la presente invención, la determinación de la fractura se puede realizar con gran precisión incluso cuando una porción objetivo de la determinación de la fractura de una estructura de metal ha vuelto desde un estado plástico a un estado elástico.

40 Esta invención se describe con detalle en conjuntamente con los dibujos, en los que:

[Figure 1] La Figure 1 es un diagrama que ilustra una estructura funcional de un aparato de determinación de fracturas.

45 [Figure 2] La Figure 2 es un diagrama de flujo que ilustra el procedimiento de un método de determinación de la fractura en un primer modo de determinación de la fractura.

[Figure 3] Figure 3 es un diagrama de flujo que ilustra el procedimiento de un método de determinación de fracturas en un segundo modo de determinación de la fractura.

[Figure 4] La Figure 4 es un diagrama que ilustra un espacio de tensiones en un estado elástico.

50 [Figure 5] La Figure 5 es un diagrama que ilustra un espacio de tensiones en un estado plástico.

[Figure 6] La Figure 6 es un diagrama que ilustra un espacio de tensiones cuando se ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico.

[Figure 7] La Figure 7 es un diagrama de flujo que ilustra el proceso del cálculo de un riesgo de fractura.

[Figure 8] La Figure 8 es un diagrama que ilustra el proceso del cálculo de una deformación plástica equivalente y un límite de fractura de deformación plástica equivalente.

55 [Figure 9] La Figure 9 es un diagrama de flujo que ilustra la determinación de la fractura en un proceso de formación.

[Figure 10] La Figure 10 es un diagrama de flujo que ilustra la determinación de la fractura en un proceso de colisión.

60 [Figure 11] La Figure 11 es un diagrama esquemático que ilustra una estructura interna del aparato de determinación de fracturas.

[Figure 12] La Figure 12 es un diagrama que ilustra un ejemplo de presentación de un riesgo de fractura calculado por un método de ejemplos comparativos con curvas de nivel.

[Figure 13] La Figure 13 es un diagrama que ilustra un ejemplo de presentación de un riesgo de fractura calculado por un método de primera forma de realización con curvas de nivel.

[Figure 14] Figure 14 es un diagrama que ilustra un ejemplo de presentación de un riesgo de fractura calculado por un método de segunda forma de realización con curvas de nivel.

[Figure 15] La Figure 15 es un diagrama que ilustra las curvas de nivel de riesgos de fractura desde un punto de partida s hasta la parte superior t.

5 En lo sucesivo, las formas de realización preferidas de la presente invención se describirán con referencia a los dibujos adjuntos.

10 La Figure 1 es un diagrama que ilustra una estructura funcional de un aparato 10 de determinación de fracturas según esta forma de realización. El aparato 10 de determinación de fracturas incluye una unidad principal 1 de determinación de la fractura, una unidad de entrada 2, y una unidad de visualización 3. La unidad principal 1 de determinación de la fractura incluye una unidad de análisis de la deformación 4, una unidad de extracción 5, y una unidad de análisis de la fractura 6. La unidad de análisis de la fractura 6 incluye una unidad de estimación 7, una unidad de conversión 8, y una unidad de determinación de la fractura 9.

15 El aparato 10 de determinación de fracturas de esta forma de realización simula una secuencia de deformación desde el inicio de la deformación hasta el final de la deformación de una chapa de metal, una pieza hecha de una chapa de metal, y una estructura hecha de una chapa de metal (denominado en lo sucesivo una estructura de metal). El aparato 10 de determinación de fracturas extrae una porción objetivo de determinación de la fractura como el objetivo de la determinación de la fractura a partir del estado de deformación de la estructura de metal en un momento arbitrario correspondiente a un modo de determinación de la fractura, y lleva a cabo la determinación de la fractura con respecto a esta porción objetivo de determinación de la fractura.

20 En un primer modo de determinación de fracturas, después de haber realizado un análisis de deformación desde el inicio de la deformación hasta el final de la deformación de la estructura de metal, se extrae la porción objetivo de determinación de la fractura a partir del estado de deformación en una o más etapas arbitrarias o predeterminadas, y se realiza la determinación de la fractura con respecto a la porción objetivo de determinación de la fractura extraída.

25 En un segundo modo de determinación de la fractura, se lleva a cabo un análisis de la deformación desde el inicio de la deformación de la estructura de metal y, a continuación, se extrae la porción objetivo de determinación de la fractura del estado de deformación de la misma, se realiza la determinación de la fractura con respecto a la porción objetivo de determinación de la fractura extraída, y se repiten los análisis de la deformación y la determinación de la fractura hasta el final de la deformación.

30 En primer lugar, se describirá, con referencia al diagrama de flujo ilustrado en la Figure 2, un método de determinación de fracturas en el primer modo de determinación de la fractura. Aquí, en el aparato 10 de determinación de fracturas, se almacenan por adelantado el material y los valores característicos mecánicos y etcétera de la estructura de metal, y queda listo para la simulación.

40 Suponiendo que se aplica una tensión predeterminada a una posición predeterminada de la estructura de metal, la unidad 4 de análisis de deformación inicia el análisis de la deformación de la estructura de metal en respuesta a una instrucción desde la unidad de entrada 2 (S21). La unidad 4 de análisis de la deformación lleva a cabo el análisis de deformación en etapas cada periodo de tiempo predeterminado o en cada momento determinado de acuerdo con el grado de deformación. Además, la unidad 4 de análisis de la deformación utiliza un enfoque como por ejemplo un método de elementos finitos para cada etapa con el fin de analizar secuencialmente el estado de deformación de tensión, deformación, o similar que ocurre en la estructura de metal, y realiza análisis de deformación en la siguiente etapa en base a este estado de deformación (S22). Por ejemplo, una porción de la estructura de metal cambia de un estado elástico a un estado plástico o vuelve de un estado plástico a un estado elástico, como se describirá más adelante. La unidad 4 de análisis de la deformación realiza el análisis de la deformación hasta el final de la deformación de la estructura de metal (S23). La unidad 4 de análisis de la deformación almacena el estado de deformación de la estructura de metal obtenida por el análisis de deformación en cada etapa. Téngase en cuenta que en un análisis práctico de una estructura de metal, el número de etapas puede ser, por ejemplo, desde varias decenas de miles de etapas hasta varios millones de etapas.

55 A continuación, la unidad de extracción 5 extrae el estado de deformación de una o más etapas arbitrarias o predeterminadas a partir de los estados de deformación almacenados, y extrae una porción objetivo de determinación de la fractura arbitraria o predeterminada a partir del estado de deformación extraído (S24). El estado de deformación que debe extraerse es el estado de deformación de una etapa que el usuario introduce arbitrariamente a través de la unidad de entrada 2, o el estado de deformación de una etapa predeterminada. Además, la porción objetivo de determinación de la fractura que se debe extraer es una porción objetivo de determinación de la fractura que el usuario introduce arbitrariamente a través de la unidad de entrada 2, o una porción objetivo de determinación de la fractura predeterminada. La porción objetivo de determinación de la fractura que se debe extraer puede ser todas las porciones de la estructura de metal. Además, para el estado de deformación de la etapa a extraer, aunque se desea extraer los estados de deformación de todas las etapas para

encontrar un estado de fractura, es preferible extraer el estado de deformación en cada 10 etapas a 1000 etapas con el fin de aumentar eficiencia del cálculo.

5 La unidad 6 de análisis de la fractura realiza la determinación de la fractura de cada porción objetivo de determinación de la fractura extraída (etapas S25, S26). Nótese que los detalles de la determinación de la fractura mediante la unidad de análisis de fractura 6 se describirán más adelante. La unidad de análisis de la fractura 6 almacena determinación de la fractura de la porción objetivo de la determinación de la fractura y completa la determinación de la fractura.

10 En el primer modo de determinación de fracturas, se extrae el estado de deformación de una o más etapas después del análisis de deformación desde el inicio de la deformación hasta el final de la determinación de la estructura de metal, se extrae una porción objetivo de determinación de la fractura arbitraria o predeterminada a partir del estado de la deformación extraído, y se lleva a cabo la determinación de la fractura para la porción objetivo de determinación de la fractura extraída. Por lo tanto, la determinación de la fractura en una etapa arbitraria es posible cuando la porción objetivo de determinación de la fractura de la estructura de metal se encuentra en cualquiera de los estados elástico o plástico. Además, dado que se puede realizar la determinación de la fractura de una porción objetivo de determinación de la fractura arbitraria, el usuario puede entender una resistencia local de la estructura de metal.

15 20 A continuación, se describirá, con referencia al diagrama de flujo ilustrado en la Figure 3, un método de determinación de fracturas en el segundo modo de determinación de la fractura. Aquí, en el aparato 10 de determinación de fracturas, se almacenan por adelantado el material y los valores característicos mecánicos y etcétera de la estructura de metal, y queda listo para la simulación.

25 Suponiendo que se aplica una tensión predeterminada a una posición predeterminada de la estructura de metal, la unidad 4 de análisis de deformación inicia el análisis de la deformación de la estructura de metal en respuesta a una instrucción desde la unidad de entrada 2 (S31). La unidad 4 de análisis de deformación realiza el análisis de la deformación en las etapas cada periodo de tiempo predeterminado o en cada momento determinado de acuerdo con el grado de deformación. Además, la unidad 4 de análisis de deformación utiliza un enfoque como por ejemplo un método de elementos finitos para cada etapa para analizar secuencialmente el estado de deformación de la tensión, la deformación, o similar que ocurre en la estructura de metal, y realiza análisis de deformación en la siguiente etapa en base a este estado de deformación (S32, S33). Por ejemplo, una porción de la estructura de metal cambia desde un estado plástico a un estado elástico o vuelve desde un estado plástico a un estado elástico, como se describirá más adelante. La unidad 4 de análisis de deformación almacena el estado de deformación de la estructura de metal obtenida por el análisis de la deformación en cada etapa.

30 35 40 45 A continuación, la unidad de extracción de 5 extrae una porción objetivo de determinación de la fractura arbitraria o predeterminada a partir del estado de deformación de la estructura de metal después de un intervalo de etapa predeterminado (S34). Téngase en cuenta que aunque el intervalo de etapa puede ser un intervalo de etapa o intervalos de etapas arbitrarios, es preferible que sea cada 10 a 1000 etapas con el fin incrementar la eficiencia del cálculo. Además, la porción objetivo de determinación de la fractura que se debe extraer es una porción objetivo de determinación de la fractura que el usuario introduce de forma arbitraria a través de la unidad de entrada 2, o una porción objetivo de determinación de la fractura predeterminada. La porción objetivo de determinación de la fractura a extraer puede ser todas las porciones de la estructura de metal. Nótese que el diagrama de flujo ilustrado en la Figure 3 describe un método para realizar el análisis de fractura después de un intervalo de dos etapas.

50 A continuación, la unidad 6 de análisis de fracturas realiza la determinación de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura extraída (S35). Nótese que los detalles de la determinación de la fractura mediante la unidad 6 de análisis de fractura se describirán más adelante. La unidad de análisis de la fractura 6 almacena la determinación de la fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura.

55 A continuación, de manera similar, después del análisis de la deformación, tras el intervalo de etapa predeterminado (S36, S37), la unidad de extracción 5 extrae una porción objetivo de determinación de la fractura arbitraria o predeterminada a partir del estado de deformación de la estructura de metal (S38). La unidad 6 de análisis de fractura realiza la determinación de la fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura extraída (S39), registra la determinación de la fractura, y completa la determinación de la fractura.

60 En el segundo modo de determinación de la fractura, a continuación del análisis de la deformación tras el intervalo de etapa predeterminado desde el inicio de la deformación de la estructura de metal, se extrae una porción objetivo de determinación de la fractura arbitraria o predeterminada a partir el estado de deformación de la misma, y se realiza la determinación de la fractura para la porción objetivo de determinación de la fractura extraída. Este proceso se realiza hasta el final de la deformación. Por lo tanto, la determinación de la fractura es posible cuando la porción objetivo de determinación de la fractura de la estructura de metal se encuentra en cualquiera de los estados elástico o plástico. Además, dado que se puede realizar de forma secuencia la determinación de la fractura de una porción

objetivo de determinación de la fractura, el usuario puede entender qué proceso atraviesa la estructura de metal hasta la fractura.

5 Por lo tanto, el aparato 10 de determinación de fracturas puede realizar la determinación de la fractura de un estado de deformación que el usuario desee. Además, puesto que el aparato 10 de determinación de fracturas es capaz de realizar secuencialmente la determinación de la fractura después del final de la deformación de la estructura de metal o desde el inicio de la deformación hasta el final de la deformación de la estructura de metal, es posible responder de forma flexible a un método de determinación de la fractura arbitrario que desee el usuario.

10 - Primera forma de realización -

A continuación, se describirá un método de determinación de fracturas de acuerdo con una primera forma de realización. Nótese que aunque se describirá a continuación la determinación de la fractura de una porción objetivo de determinación de la fractura extraída por la unidad de extracción 5, la determinación de la fractura se realiza de manera similar para cualquier otra porción objetivo de determinación de la fractura extraída.

15 La unidad 6 de análisis de fractura es capaz de realizar la determinación de la fractura de una porción objetivo de determinación de la fractura en un proceso que incluye una o más variaciones de la trayectoria de deformación. La unidad de análisis de fractura 6 incluye la unidad de estimación 7, la unidad de conversión 8, y la unidad 9 de determinación de fracturas, tal como se describe anteriormente. La unidad de estimación de 7 estima una línea límite de fractura en un espacio de deformaciones a través de una trayectoria de carga proporcional. La unidad de conversión de 8 convierte la línea de límite de fractura en el espacio de deformación obtenida a través de la trayectoria de carga proporcional hasta una línea de límite de fractura en un espacio de deformaciones (en lo sucesivo denominada una línea de tensión límite de fractura). La unidad 9 de determinación de la fractura calcula un riesgo de fractura mediante la línea de la tensión límite de fractura, realiza la determinación de la fractura del riesgo a partir del riesgo de fractura calculado, y muestra el resultado de la determinación de la fractura en la unidad de visualización 3, y / o muestra el riesgo de fractura en la forma de curvas de nivel.

30 Aquí, se ilustran en la Figure 4 a la Figure 6 las líneas de tensión límite de fractura convertidas en un espacio de tensiones por la unidad de conversión de 8. Las Figure 4 a Figure 6 son diagramas que ilustran el espacio de tensiones en un plano de coordenadas (x, y). En las Figure 4 a Figure 6, la porción objetivo de determinación de la fractura extraída es la mismo, pero el momento de la extracción difiere. Es decir, la Figure 4 ilustra el espacio de tensiones en el momento del estado elástico antes de extraerse la porción objetivo de determinación de la fractura que comienza a deformarse plásticamente. La Figure 5 ilustra el espacio de tensiones en el momento del estado plástico cuando se extrae la porción objetivo de determinación de la fractura que comienza a deformarse plásticamente. La Figure 6 ilustra el espacio de tensiones en el momento del estado en que se extrae la porción objetivo de determinación de la fractura cuando ha regresado del estado plástico al estado elástico. A continuación se describirá de forma específica las Figure 4 a Figure 6.

40 En el espacio de tensiones del estado elástico que se ilustra en la Figure 4, la línea de tensión límite de fractura antes descrita se puede representar en el lado más exterior y en el interior del mismo, se puede ser representar una curva de fluencia de un estado inicial estimado basándose en el material de la estructura de metal. Además, una tensión P del estado elástico ilustrado en la Figure 4 es una que ocurre en la porción objetivo de determinación de la fractura, y se puede representar con un tensión principal mínima  $\sigma_2$  sobre el eje x y una tensión principal máxima  $\sigma_1$  en el eje y.

45 En la Figure 4, suponiendo que la tensión P discurre a través de la trayectoria de carga proporcional, se puede obtener una línea recta que satisface una relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y que conecta el origen y la tensión P. La intersección, donde se cruzan esta línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y la curva de fluencia del estado inicial, es una tensión plástica inicial A estimada. La tensión plástica inicial A es una tensión cuando la porción objetivo de determinación de la fractura cambia desde el estado elástico al estado plástico. Por lo tanto, está en el estado elástico hasta que la tensión P excede la tensión plástica inicial A en la porción objetivo de determinación de la fractura, y cuando la tensión excede la tensión plástica inicial A, la porción comienza a deformarse plásticamente y vuelve al estado plástico.

50 Además, en la Figure 4, la intersección donde se cruzan la línea recta antes descrita que satisface la relación  $y = (\sigma_1 / \sigma_2) x$  y la línea de tensión límite de fractura es un tensión límite de fractura B estimada. La tensión límite de fractura B es una tensión cuando se fractura la porción de objetivo de determinación de la fractura . Por lo tanto, se produce una fractura cuando la tensión P en la porción objetivo de determinación de la fractura alcanza la tensión límite de fractura B.

60 A continuación, en el espacio de tensiones del estado plástico se ilustrado en la Figure 5, se pueden representar la misma línea de tensión límite de fractura y la curva de fluencia del estado inicial como en la Figure 4. Además, una tensión P del estado plástico que se ilustra en la Figure 5 es una que ocurre en la porción objetivo de determinación de la fractura, y se puede representar con una tensión principal mínima  $\sigma_2$  en el eje x, y una tensión principal máxima  $\sigma_1$  en el eje y.

65

En la Figure 5, como se ha descrito anteriormente en la Figure 4, la tensión P ha superado la tensión plástica inicial A, y por lo tanto la porción objetivo de determinación de la fractura está en el estado plástico. Además, conjuntamente con el aumento de la tensión P del estado plástico, se puede ilustrar la curva de fluencia del estado plástico.

Ahora, en el análisis de la deformación, la porción objetivo de determinación de la fractura puede descargarse debido, por ejemplo, al pandeo o similar de una parte diferente de la porción objetivo de determinación de la fractura. En este momento, la tensión P de la porción objetivo de determinación de la fractura es menor que la tensión P del estado plástico, y por lo tanto la porción objetivo de determinación de la fractura vuelve del estado plástico al estado elástico. La Figure 6 ilustra el espacio de tensiones cuando la porción objetivo de determinación de la fractura ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico de esta manera.

En el espacio de tensiones cuando la porción ha vuelto del estado plástico al estado elástico como se ilustra en la Figure 6, se pueden representar la misma línea de tensión límite de fractura y la curva de fluencia del estado inicial como en la Figure 4. Además, una tensión P cuando la porción ha vuelto al estado elástico como se ilustra en la Figure 6 es una que ocurre en la porción objetivo de determinación de la fractura, y se puede representar con una tensión principal mínima  $\sigma_2$  en el eje x, y una tensión principal máxima  $\sigma_1$  en el eje y. Nótese que la tensión P es menor que la tensión P del estado plástico ilustrada en la Figure 5 debido a la descarga.

Además, en la Figure 6, se puede ilustrar una curva de fluencia cuando la porción ha vuelto al estado elástico. La curva de fluencia cuando la porción ha vuelto al estado elástico y la curva de fluencia del estado plástico ilustrada en la Figure 5 son la misma curva. En lo sucesivo, la curva de fluencia cuando la porción ha vuelto al estado elástico de la Figure 6 y la curva de fluencia cuando la porción ha vuelto al estado elástico de la Figure 5 se describen como una curva de fluencia normal. Es decir, cuando la porción objetivo de determinación de la fractura ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico, la curva de fluencia normal que se ilustra en la Figure 6 se mantiene sin cambios respecto a la curva de fluencia normal que se ilustra en la Figure 5. Por lo tanto, la curva de fluencia normal ilustrada en la Figure 6 se puede obtener a partir de la curva de fluencia normal que se ilustra en la Figure 5. Aquí, la porción está en el estado elástico cuando la tensión P, al haber vuelto la porción al estado elástico, se encuentra dentro de la curva de fluencia normal como se ilustra en la Figure 6. Por otro lado, a partir del estado ilustrado en la Figure 6, cuando la tensión P de la porción objetivo de determinación de la fractura excede la curva de fluencia normal, la porción comienza a deformarse plásticamente de nuevo y se vuelve al estado plástico. A partir de esto, la intersección donde la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y la curva de fluencia normal es una tensión de re-fluencia estimada R, donde la porción objetivo de determinación de la fractura comienza a deformarse plásticamente de nuevo.

Ahora, cuando la determinación de la fractura se realiza utilizando el espacio de tensiones ilustrado en las Figure 4 a Figure 6, el riesgo de fractura (o margen de deformación) se ha calculado hasta la fecha mediante la comparación de la línea de tensión límite de fractura con la tensión P que ocurre en la porción objetivo de determinación de la fractura. En concreto, el grado de tensión se ha calculado con la siguiente expresión  $f_1$ .

[Expresión 1]

Ejemplo comparativo

$$f_1 = \frac{\overline{OP}}{\overline{OB}}$$

Esta expresión  $f_1$  representa el riesgo de fractura como la relación entre la distancia hasta el punto de coordenadas de la tensión P que ocurre en la porción objetivo de determinación de la fractura en cada una de las Figure 4 a 6 y la distancia hasta el punto de coordenadas B de la tensión límite de fractura, desde el origen que se toma como referencia donde hay tensión cero como se ilustra en las Figure 4 a Figure 6.

Con la expresión  $f_1$ , cuando la tensión P del estado plástico y la tensión de re-fluencia R coinciden como en el estado plástico ilustrado en la Figure 5, se puede calcular el riesgo de fractura con una precisión hasta cierto grado. Sin embargo, cuando la porción ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico como se ilustra en la Figure 6, la tensión P cuando la porción vuelve al estado elástico se acerca más al origen que la tensión de re-fluencia R. En consecuencia, a pesar de que la plasticidad de la porción objetivo de determinación de la fractura está avanzando, se calcula el riesgo de fractura más inferior a la tensión de re-fluencia R, y no es posible realizar la determinación de la fractura de forma precisa. Además, con la expresión  $f_1$ , dado que la referencia para el cálculo del riesgo de fractura es el origen, la tensión P del estado elástico ilustrado en la Figure 4 no excede la tensión plástica inicial A en el estado elástico, y se calcula el riesgo de fractura a pesar de que no ocurra tal riesgo de fractura.

5 Por consiguiente, en esta forma de realización, cuando se realiza la determinación de la fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura, en el estado plástico ilustrado en la Figure 5, el riesgo de fractura se calcula utilizando la tensión P del estado plástico. Además, cuando la porción ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico como se ilustra en la Figure 6, se utiliza la tensión de re-fluencia R en lugar de la tensión P cuando la porción vuelve al estado elástico, con el fin de calcular el riesgo de fractura.

10 Por otra parte, para calcular el riesgo de fractura excluyendo el caso en el que no se produce el riesgo de fractura, la referencia para el cálculo del riesgo de fractura se establece en la tensión plástica inicial A en lugar de en el origen. Por lo tanto, en el estado elástico ilustrado en la Figure 4, el riesgo de fractura se calcula como 0.

10 En concreto, el riesgo de fractura se calcula con la siguiente expresión  $f_2$ .

[Expresión 2]

15 Ejemplo de la presente invención:

En el estado elástico  $f_2 = 0$

$$f_2 = \frac{\overline{AP}}{AB}$$

En el estado plástico

$$f_2 = \frac{\overline{AR}}{AB}$$

20 Cuando ha vuelto del estado plástico al estado elástico

25 Cuando se utiliza el expresión  $f_2$  anteriormente descrita, en el estado elástico ilustrado en la Figure 4, el riesgo de fractura se calcula como 0. Además, en el estado plástico ilustrado en la Figure 5, el riesgo de fractura se calcula como un valor numérico entre 0 y 1 basado en el punto de coordenadas de la tensión P del estado plástico. Además, cuando la porción ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico como se ilustra en la Figure 6, el riesgo de fractura se calcula como un valor numérico entre 0 y 1 basado en el punto de coordenadas de la tensión R de re-fluencia.

30 A continuación, la unidad 9 de determinación de la fractura puede realizar la determinación de la fractura utilizando el riesgo de fractura calculada como un índice de la determinación de la fractura. Específicamente, la unidad 9 de determinación de la fractura realiza la determinación de la fractura sobre la base de un coeficiente de seguridad que el usuario introduce de antemano a través de la unidad de entrada 2. La unidad 9 de determinación de la fractura determina que "no hay posibilidad de fractura" cuando el riesgo de fractura es 0, determina que el "riesgo de fractura es bajo" cuando el riesgo de fractura es mayor que 0 y menor que el coeficiente de seguridad, determina que "riesgo de fractura es alto" cuando el riesgo de fractura es mayor que el coeficiente de seguridad y menor que 1, o determina que "se produjo la fractura" cuando el riesgo de fractura es 1. El coeficiente de seguridad lo puede establecer arbitrariamente el usuario en el intervalo de, por ejemplo, 0 a 1, tal como 0.9.

40 A continuación, se describirá un método para el cálculo del riesgo de fractura antes descrito, con referencia al diagrama de flujo ilustrado en la Figure 7. Aquí, la unidad de estimación 7 ya estimó la línea límite de fractura en el espacio de deformaciones, y la unidad de conversión 8 convierte la línea de límite de fractura estimada en el espacio de deformaciones en la línea tensión límite de fractura en el espacio de tensiones y la presenta en un plano de coordenadas (x, y), como se ilustra en las Figure 4 a 6. Del mismo modo, la unidad de conversión 8 ilustra la curva de fluencia de un estado inicial y, en algunos casos, la curva de fluencia normal ilustrada en la Figure 5 y la Figure 6 en el plano de coordenadas (x, y).

50 En primer lugar, la unidad 9 de determinación de la fractura determina si la porción objetivo de determinación de la fractura ha empezado a deformarse plásticamente o no (S71). La unidad 9 de determinación de la fractura puede determinar que la porción ha empezado a deformarse plásticamente cuando se almacena una deformación plástica durante el análisis de la deformación mediante la unidad 4 de análisis de la deformación.

55 Cuando la porción objetivo de determinación de la fractura ha empezado a deformarse plásticamente, la unidad 9 de determinación de la fractura determina si la porción objetivo de determinación de la fractura está en un estado plástico o en un estado de regreso del estado plástico a un estado elástico (S72). La unidad 9 de determinación de la fractura determina que está en el estado plástico cuando la tensión P ha alcanzado la curva de fluencia normal en el espacio de tensiones ilustrado en la Figure 5 y la Figure 6, o determina que está en el estado de regreso del estado plástico a un estado elástico cuando la tensión P no ha alcanzado la curva de fluencia normal.

- 5 Obsérvese que en el procedimiento anteriormente descrito de análisis de deformación, ilustrado en la Figure 2 y Figure 3, la unidad 4 de análisis de la deformación almacena una deformación plástica de la porción objetivo de determinación de la fractura, y la unidad de estimación 7 y la unidad de conversión de 8 usan esta deformación plástica para representar la curva de fluencia normal en el plano de coordenadas (x, y). Este procedimiento es similar al procedimiento de la unidad de conversión 8 para convertir la línea límite de fractura en el espacio de tensiones estimado, mediante la unidad de estimación de 7, en la línea de tensión límite de fractura, y representar esto en el plano de coordenadas (x, y).
- 10 En el caso en el que la porción objetivo de determinación de la fractura está en un estado de regreso desde el estado plástico al estado elástico, la unidad 9 de determinación de la fractura estima la tensión de re-fluencia R (S73). Específicamente, como se describió anteriormente con la figura. 6, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula como tensión de re-fluencia R la intersección donde se cruzan la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1 / \sigma_2) x$  y la curva de fluencia normal.
- 15 A continuación, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula el riesgo de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura (S74). Cuando se determina que la porción objetivo de determinación de la fractura es antes de comenzar a deformarse plásticamente (cuando se avanza a NO a partir de S71), la unidad 9 de determinación de la fractura determina que la porción objetivo de determinación de la fractura está en un estado elástico, y calcula el riesgo de fractura como 0 con la expresión  $f_2$  anteriormente descrita.
- 20 Además, cuando la porción objetivo de determinación de la fractura está en un estado plástico (cuando se avanza al estado plástico a partir de S72), la unidad 9 de determinación de la fractura calcula el riesgo de fractura utilizando la tensión P del estado plástico, la tensión plástica inicial A, y la tensión límite de fractura B en la expresión  $f_2$  anteriormente descrita. Tenga en cuenta que, como se ha descrito anteriormente con la figura. 5, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula como la tensión plástica inicial A la intersección donde la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y la curva de fluencia del estado inicial se cruzan entre sí. Además, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula como la tensión límite de fractura B la intersección donde la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y la línea de tensión límite de fractura se cruzan.
- 25 Cuando la porción objetivo de determinación de la fractura ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico (cuando se avanza desde de S73 a S74), la unidad 9 de determinación de la fractura calcula el riesgo de fractura utilizando la tensión de re-fluencia R estimada en la etapa S73, la tensión plástica inicial A, y la tensión límite de fractura B en la expresión  $f_2$  anteriormente descrita. Nótese que la tensión plástica inicial A y la tensión límite de fractura B pueden calcularse de manera similar al caso del estado plástico.
- 30 Por lo tanto, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula el riesgo de fractura utilizando la tensión R de re-fluencia cuando la porción objetivo de determinación de la fractura ha vuelto desde un estado plástico a un estado elástico. Por lo tanto, cuando la determinación de la fractura se realiza en el espacio de tensiones, es posible evitar el problema de los cambios en el riesgo de fractura cuando la porción objetivo de determinación de la fractura ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico.
- 35 Además, al establecer la referencia para el cálculo del riesgo de fractura en la tensión inicial plástica A en lugar del origen, el riesgo de fractura se puede calcular excluyendo el caso en el que no se produce el riesgo de fractura.
- 40 Nótese que aunque el método de determinación de la fractura antes descrito se describe a partir de un estado en el que no se ha producido deformación plástica en la porción objetivo de determinación de la fractura, es posible realizar la determinación de la fractura de manera similar también cuando se ha producido una deformación plástica en parte de la estructura de metal. Es decir, el aparato 10 de determinación de fracturas puede realizar la determinación de la fractura también sobre una estructura de metal en la que, por ejemplo, se realiza una conformación con prensa o similar, y se ha producido una deformación plástica.
- 45 En el caso de dicha estructura de metal, dependiendo de la porción objetivo de determinación de la fractura, la curva de fluencia de normal existe fuera de la curva de fluencia del estado inicial como se ha ilustrado en la Figure 6 antes de iniciar el análisis de la deformación. Mediante la unidad 4 de análisis de deformación a utilizando una deformación plástica almacenada en el análisis de la deformación de la conformación en prensa o similar, la unidad de conversión 8 puede representar esta curva de fluencia normal en el plano de coordenadas (x, y) del espacio de tensiones.
- 50 - Segunda forma de realización (Forma de realización de referencia) –
- 55 Esta forma de realización esta fuera del alcance de la invención, pero se explica para una mejor comprensión de la invención.
- 60 A continuación se describirá un método de determinación de fracturas de acuerdo con una segunda forma de realización con referencia a la Figure 8.
- 65

En la segunda forma de realización, la unidad 9 de determinación de la fractura convierte cada una de las tensiones de re-fluencia R y la tensión límite de fractura B, que se calculan utilizando el espacio de tensiones en la primera forma de realización, en una tensión equivalente, y se utiliza una curva de tensión equivalente - deformación plástica equivalente, ilustrada en la Figure 8, para obtener una deformación plástica equivalente  $\epsilon_{eq}^P$  y una deformación plástica equivalente de límite de fractura  $\epsilon_{eq}^B$ , a fin de calcular el riesgo de fractura. La curva de de tensión equivalente - deformación plástica equivalente, ilustrada en la Figure 8 se basa en el material de la estructura de metal, y se almacena por adelantado en el aparato 10 de determinación de fracturas. Además, de manera similar a la primera forma de realización, para el estado elástico hasta que la tensión P de la porción objetivo de determinación de fractura supera la tensión plástica inicial A, el riesgo de fractura se calcula como 0.

De forma específica, en el estado plástico ilustrado en la Figure 5, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula la tensión P del estado plástico como la tensión de re-fluencia R. Además, la unidad de determinación de la fractura 9 calcula la tensión límite de fractura B a partir de la intersección donde la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1 / \sigma_2) x$  y la línea de tensión límite de fractura se cruzan.

Además, cuando la porción ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico como se ilustra en la Figure 6, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula la tensión de re-fluencia R a partir de la intersección donde la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y la curva de fluencia normal se cruzan. Por otra parte, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula la tensión límite de fractura B a partir de la intersección donde la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y la línea de tensión límite de fractura se cruzan.

La unidad 9 de determinación de la fractura convierte cada una de las tensiones de re-fluencia calculadas y la tensión límite de fractura B en una tensión equivalente, y utiliza la curva de deformación plástica equivalente - tensión equivalente ilustrada en la Figure 8 para obtener la deformación plástica equivalente  $\epsilon_{eq}^P$  y la deformación plástica equivalente límite de fractura  $\epsilon_{eq}^B$ . Aquí, la tensión de re-fluencia R es la misma ya sea en el estado plástico ilustrado en la Figure 5 o cuando la porción ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico como se ilustra en la Figure 6, y también la tensión límite de fractura B es la misma. En consecuencia la deformación plástica equivalente obtenida  $\epsilon_{eq}^P$  es la misma, y la deformación plástica equivalente límite de fractura  $\epsilon_{eq}^B$  es también la misma. La unidad 9 de determinación de la fractura sustituye la deformación plástica equivalente  $\epsilon_{eq}^P$  y la deformación plástica equivalente límite de fractura  $\epsilon_{eq}^B$  obtenidas en la siguiente expresión  $f_3$  para calcular el riesgo de fractura.

[Expresión 3]

Ejemplo de la presente invención

$$f_3 = 0$$

En el estado elástico

En el estado plástico y cuando se ha vuelto desde el estado plástico al estado elástico

$$f_3 = \frac{\epsilon_{eq}^P}{\epsilon_{eq}^B} \frac{P}{B}$$

En la curva de tensión equivalente - deformación plástica equivalente, ilustrada en la Figure 8, la cantidad de variación de la deformación plástica equivalente es grande en relación con la cantidad de variación de la tensión equivalente, y por lo tanto el uso de la deformación plástica equivalente y de la deformación plástica equivalente límite de fractura para calcular el riesgo de fractura mejora su precisión. Además, debido a la no linealidad de la tensión y la deformación, es posible suprimir la desviación del riesgo de fractura visto a través de la tensión, con respecto al riesgo de fractura visto a través de la deformación.

Incidentalmente, de manera similar a la primera forma de realización, la unidad 9 de determinación de la fractura puede realizar la determinación de la fractura utilizando el riesgo de fractura calculado y un factor de seguridad.

- Tercera forma de realización -

A continuación, se describirá un método de determinación de fracturas de acuerdo con una tercera forma de realización.

En la tercera forma de realización, se calcula el riesgo de fractura descrito en la primera forma de realización o en la segunda forma de realización y, con independencia de que la porción objetivo de determinación de la fractura esté en un estado elástico o estado plástico o haya vuelto del estado plástico al estado elástico como se ilustra en las

Figure 4 a 6, se utilizan la tensión P que ocurre en la porción objetivo de determinación de la fractura y la tensión límite de fractura B en el ejemplo comparativo descrito anteriormente  $f_1$  para calcular el riesgo de fractura. En este caso, la unidad 9 de determinación de la fractura muestra al menos uno de entre el riesgo de fractura calculado por el método de la primera forma de realización o de la segunda forma de realización y el riesgo de fractura calculado por el ejemplo comparativo en la unidad de visualización 3 en respuesta a una instrucción del usuario a través de la unidad de entrada 2.

De manera específica, la unidad 9 de determinación de la fractura calcula como el riesgo de fractura la relación entre la distancia hasta el punto de coordenadas de la tensión P que ocurre en la porción objetivo de determinación de la fractura en las figuras 4 a 6 y la distancia al punto de coordenadas de la tensión límite de fractura B, con referencia al origen, donde hay tensión cero. Nótese que la unidad 9 de determinación de la fractura calcula la tensión límite de fractura B a partir de la intersección donde la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y la línea de la tensión límite de fractura se cruzan entre sí.

Cuando el usuario tiene la intención de aumentar el margen de un material utilizado para la porción objetivo de determinación de la fractura, o similar, el riesgo de fractura calculado por la primera forma de realización o la segunda forma de realización será un índice más beneficioso. Por el contrario, cuando el usuario tiene la intención de suprimir tensión en la porción objetivo de determinación de la fractura, o similar, puede ser deseable entender la tensión que ocurre en la porción objetivo de determinación de la fractura con independencia del estado de la porción objetivo de determinación de la fractura. En este caso, el riesgo de fractura calculado por el ejemplo comparativo  $f_1$  descrito anteriormente será un índice más beneficioso. Por lo tanto, calculando tanto el riesgo de fractura por el método de la primera forma de realización o de la segunda forma de realización como el riesgo de fractura por el método del ejemplo comparativo, se puede seleccionar y usar uno de ellos dependiendo de la intención, tal como 1) aumentar el margen como material, y 2) suprimir la tensión. Es decir, resulta posible diseñar la estructura de metal eligiendo entre asegurar el margen como material y asegurar el margen como un estado de tensión.

A continuación, se describirá un método de cálculo específico mediante la unidad de estimación 7 descrita anteriormente, la unidad de conversión de 8, y la unidad de determinación de la fractura 9.

La unidad de estimación de 7 utiliza, por ejemplo, una expresión aproximada de la curva de tensión-deformación obtenida a partir de un ensayo de tracción uniaxial,

[Expresión 4]

$$\sigma_{eq} = (\epsilon_{eq} + \epsilon_0)^n \quad \text{o r} \quad \sigma_{eq} = C \epsilon_{eq}^n,$$

un modelo de estricción localizada

[Expresión 5]

$$\epsilon_1^* = \frac{n}{1 + \rho} \left( \rho = \frac{d\epsilon_2}{d\epsilon_1} < 0 \right)$$

y un modelo de estricción difusa

[Expresión 6]

$$\epsilon_1^* = \frac{2n(\rho^2 + \rho + 1)}{(\rho + 1)(2\rho^2 - \rho + 2)} \quad (\rho \geq 0)$$

conjuntamente para obtener un límite de ocurrencia de estricción en un espacio de deformaciones, a fin de estimar la línea límite de fractura en un espacio de deformaciones a través de una trayectoria de carga proporcional.

La unidad de estimación 7 puede utilizar una expresión aproximada de la curva de tensión-deformación obtenida a partir de un ensayo de tracción uniaxial,

[Expresión 7]

$$\sigma_{eq} = (\epsilon_{eq} + \epsilon_0)^n \quad \text{or} \quad \sigma_{eq} = C \epsilon_{eq}^n,$$

5

una ecuación constitutiva en la que la dirección de un tensor de incremento de deformación plástica depende de un tensor de incremento de la tensión como una regla de incremento de deformación plástica, un parámetro  $K_c$  de material que define la dirección del tensor de incremento de deformación plástica, y un modelo Stören-Rice estricción localizada con el fin de obtener un límite de ocurrencia de estrechamiento en el espacio de deformaciones, y estimar la línea límite de fractura en el espacio de deformaciones a través de una trayectoria de carga proporcional. Aquí, la unidad de estimación de 7 identifica el parámetro  $K_c$  del material en base a valores de medición de una o más deformaciones límite de fractura máximas  $\epsilon_1$  y deformaciones límite de fractura mínimas  $\epsilon_2$ .

Nótese que en este ejemplo se ilustra el caso de estimación lógica de la línea límite de fractura en el espacio de deformaciones utilizando la unidad de estimación 7, pero la línea límite de fractura en el espacio de deformaciones se puede medir experimentalmente sin utilizar la unidad de estimación de 7. En concreto, después de obtener relaciones plurales en el plano de deformación con respecto a una chapa de metal mediante un experimento de carga proporcional, se obtiene la línea de límite de fractura en el espacio de deformaciones utilizando valores de medición de la deformación límite de fractura máxima  $\epsilon_1$  y deformación límite de fractura mínima  $\epsilon_2$  en cada uno de las relaciones de deformación.

Al convertir la línea límite de la fractura en el espacio de deformaciones en la línea de tensión límite de fractura en el espacio de tensiones, la unidad de conversión 8 realiza la conversión anteriormente descrita utilizando una regla vertical de superficie de fluencia como regla de incremento de deformación plástica. En concreto, una función de fluencia Mises, que es una expresión relacional de una deformación plástica equivalente  $\epsilon_{eq}$  y cada componente  $\epsilon_{ij}$  de deformación,

[Expresión 8]

30

$$\epsilon_{eq} = \sqrt{\frac{2}{3} \epsilon_{ij} \epsilon_{ij}}$$

se utiliza como se ha descrito anteriormente.

La unidad 9 de determinación de la fractura realiza una evaluación comparando la relación de posición entre la línea de tensión límite de fractura en el espacio de tensiones convertida por la unidad de conversión 8 y el estado de deformación de cada porción obtenida a partir de los resultados de simulación mediante un método de elementos finitos en un proceso de deformación plástica, y determina que "hubo fractura", "el riesgo de fractura es alto", o similares, cuando la deformación en el proceso de deformación llega a esta deformación límite. Aquí, usando un método explícito dinámico que es uno de los métodos de elementos finitos como método para el análisis de la deformación, la deformación plástica obtenida por el método explícito dinámico se convierte en una tensión, y se comparan esta tensión y la línea de tensión límite de fractura en el espacio de tensiones.

Téngase en cuenta que la unidad 9 de determinación de la fractura puede convertir una deformación obtenida a partir de un estado de deformación de la estructura de metal evaluado experimentalmente en una tensión, y evaluar cuantitativamente la presencia / ausencia de aparición de fractura utilizando la línea de tensión límite de fractura en el espacio de tensiones, en lugar de realizar la simulación descrita anteriormente.

Aquí, cuando se produce una deformación rápida en la estructura de metal en un análisis de colisión de un elemento de la automoción, la unidad 9 de determinación de la fractura ejecuta el análisis de deformación teniendo en cuenta la dependencia de la velocidad de deformación de la tensión de deformación de la estructura de metal. La unidad 9 de determinación de la fractura convierte una deformación plástica obtenida a partir de este análisis de deformación para calcular una tensión a una velocidad de deformación de referencia, y compara esta tensión con la línea de tensión límite de fractura en el espacio de tensiones correspondiente a esta velocidad de deformación de referencia.

A continuación, el procedimiento para realizar la determinación de fracturas en S25, S26 ilustrados en la Figure 2 y S35, S39 ilustrados en la Figure 3 que se ha descrito anteriormente, se describirá con referencia a un diagrama de flujo ilustrado en la Figure 9. La Figure 9 es un diagrama de flujo para llevar a cabo la determinación de la fractura en el proceso de conformación de una estructura de metal, en concreto una chapa metálica.

En primer lugar, la unidad de estimación 7 estima a la línea límite de fractura en el espacio de deformaciones través de una trayectoria de carga proporcional basándose en el material y en los valores característicos mecánicos t (espesor de chapa metálica), YP (resistencia a la fluencia), TS (resistencia a la tracción), El (elongación total), U. El (elongación uniforme), valor r (valor de Lankford), enésima ley de endurecimiento por energía/ley de endurecimiento repentino) de la chapa de metal que son previamente almacenados (S91).

Seguidamente, la unidad de conversión de 8 convierte, utilizando por ejemplo la función de fluencia de Mises, la línea límite de fractura en el espacio de deformaciones que se mide experimentalmente en la línea de tensión límite de fractura en el espacio de tensiones (S92).

Después, la unidad 9 de determinación de la fractura utiliza la línea de tensión límite de fractura convertida por la unidad de conversión 8, la tensión que se produce en la porción objetivo de determinación de la fractura, la curva de fluencia de normal, y la curva de fluencia de un estado inicial para calcular el riesgo de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura, y realiza la determinación de la fractura (S93). En la determinación de la fractura, utilizando el riesgo de fractura y el factor de seguridad, como se ha descrito anteriormente, se hace una determinación del tipo "no existe la posibilidad de aparición de fractura", "el riesgo de fractura es bajo", "el riesgo de fractura es alto", "hubo fractura", o similares. Además, el procedimiento de calcular el riesgo de fractura es equivalente al diagrama de flujo anteriormente descrito que se ilustra en la Figure 7.

En la etapa S93, cuando se ha determinado que "hubo fractura" o que "el riesgo de fractura es alto" usando el riesgo de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura y el factor de seguridad, la unidad 9 de determinación de la fractura realiza los siguientes diversos procedimientos (S94).

Es decir, la unidad 9 de determinación de la fractura emite información, sobre ID del elemento, espesor de chapa de la chapa de metal, deformación, y de tensión, a un archivo de registro. En algunos casos, la unidad 9 de determinación de la fractura elimina el elemento fracturado, y la unidad 4 de análisis de deformación continúa el análisis de la deformación después de la fractura.

A continuación, la unidad 9 de determinación de la fractura realiza las siguientes distintas visualizaciones en la unidad de visualización 3 (etapa S95). En concreto, de la unidad de determinación de la fractura 9 representa curvas de nivel de riesgo de fractura de que se produzca una fractura en la chapa metálica mediante un valor escalar, o muestra el historial de tensión y la línea de tensión límite de fractura de la porción de riesgo de fractura en el espacio de tensiones. Al mismo tiempo, la unidad 9 de determinación de la fractura muestra líneas de nivel del riesgo de aparición de una arruga en la chapa de metal. Aquí, el riesgo de fractura se puede representar con respecto a la dispersión (valor medio, valor límite inferior) dentro del estándar de los valores de tests de transporte.

Por otro lado, en el paso S93, cuando se determina que "no hay posibilidad de aparición de fractura" o que "el riesgo de fractura es baja" en cada porción objetivo de determinación de la fractura, la unidad de determinación de la fractura 9 muestra esta información en la unidad de visualización 3 (S96).

La Figure 10 es un diagrama de flujo del caso en el que la determinación de la fractura se realiza en un proceso de colisión de la estructura formada de la chapa metálica sometiendo la chapa de metal al proceso de conformación, después de la determinación de la fractura en el proceso de conformación de la chapa de metal de la Figure 9.

En este caso, se hereda y utiliza la línea de tensión límite de fractura convertida en la etapa S92 de la Figure 9. La unidad 9 de determinación de la fractura lleva a cabo el análisis de deformación considerando la dependencia de la velocidad de deformación respecto de una tensión de deformación en la estructura formada de la chapa de metal. La unidad 9 de determinación de la fractura convierte una deformación plástica obtenida a partir de este análisis de la deformación para calcular la tensión en una velocidad de deformación de referencia, compara esta tensión con la línea de la tensión límite de fractura que corresponde a la velocidad de deformación de referencia, calcula el riesgo de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura, y realiza la determinación de la fractura (S103). En la determinación de la fractura, usando el riesgo de fractura y el factor de seguridad como se ha descrito anteriormente, se hace una determinación tal como "no hay posibilidad de aparición de fractura", "el riesgo de fractura es bajo", "el riesgo de fractura es alto", "hubo fractura", o similares. Además, el procesamiento de calcular el riesgo de fractura es equivalente al diagrama de flujo anteriormente descrito que se ilustra en la Figure 7.

En esta etapa S103, la unidad 9 de determinación de la fractura hereda el estado de deformación de la chapa metálica sometida al análisis de la deformación en el proceso de conformación de la Figure 9 como una condición inicial del análisis de la deformación en el proceso de colisión. Este estado de deformación es un espesor de la chapa y una deformación plástica equivalente de la chapa de metal, o un espesor de chapa, una deformación plástica equivalente, y un tensor de tensiones y un tensor de deformaciones de la chapa metálica.

En la etapa S103, cuando se determina que "hubo fractura " o que "el riesgo de fractura es alto" usando el riesgo de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura y el factor de seguridad, la unidad 9 de determinación de la fractura realiza los siguientes procedimientos diversos (S104).

5 Es decir, la unidad 9 de determinación de la fractura emite información sobre el ID del elemento, espesor de chapa de la chapa de metal, la deformación, y la tensión, a un archivo de registro. En algunos casos, la unidad 9 de determinación de la fractura elimina el elemento fracturado, y la unidad de análisis de deformación 4 continúa el análisis de la deformación después de la fractura.

10 A continuación, la unidad 9 de determinación de la fractura realiza las siguientes visualizaciones diversas en la unidad de visualización 3 (etapa S105). En concreto, la unidad 9 de determinación de la fractura muestra líneas de nivel del riesgo de fractura de que se produzca una fractura en la estructura formada de la chapa metálica mediante un valor escalar, o muestra el historial de tensiones y la línea de tensión límite de fractura de la porción de riesgo de fractura en el espacio de tensiones. Al mismo tiempo, la unidad 9 de determinación de la fractura muestra líneas de nivel del riesgo de aparición de una arruga en la estructura formada de la chapa de metal. Aquí, el riesgo de fractura se puede representar con respecto a la dispersión (valor medio, valor límite inferior) dentro del estándar de los valores de tests de transporte.

15 Por otra parte, en la etapa S103, cuando se determina que "no hay posibilidad de aparición de fractura" o que "el riesgo de fractura es bajo" en cada porción objetivo de determinación de la fractura, la unidad 9 de determinación de la fractura muestra esta información en la unidad de visualización 3 (S106).

20 Como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con esta forma de realización, cuando se realiza la determinación de la fractura de la estructura de metal, es posible obtener, de forma fácil y eficiente, la línea de tensión límite de fractura y realizar la determinación de la fractura con una alta precisión. Por lo tanto, es posible evaluar cuantitativamente el riesgo de fractura en el momento de la conformación en prensa o de la colisión, y conseguir un diseño eficiente y preciso de una carrocería de automóvil o similares teniendo en cuenta de forma simultánea el material, el método de construcción y la estructura.

25 Las funciones de los componentes respectivos (con exclusión de la unidad de pantalla 3 y la unidad de entrada 2) que forman el aparato 10 de determinación de la fractura arriba descrito se puede lograr mediante el funcionamiento de un programa almacenado en una memoria RAM, ROM, o similar de un ordenador. Del mismo modo, las respectivas etapas de análisis de la deformación y de la determinación de la fractura (diagramas de flujo de la Figure 2, Figure 3, Figure 7, Figure 9, y la Figure 10) se puede lograr mediante el funcionamiento un programa almacenado en una memoria RAM, ROM, o similares de un ordenador. La presente invención incluye este programa y un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene grabado esta programa.

30 En concreto, el programa se proporciona al ordenador, por ejemplo, grabándolo en un soporte de grabación tal como un CD-ROM, o por medio de uno de varios tipos de medios de transmisión. Como medio de grabación para grabar el programa se puede utilizar un disco flexible, un disco duro, una cinta magnética, un disco óptico, una tarjeta de memoria no volátil, o similares además del CD-ROM. Por otro lado, como medio de transmisión para el programa, se puede utilizar un medio de comunicación en un sistema de red informática para el suministro de la información del programa como mediante la propagación de ondas portadoras. Aquí, la red de ordenadores es LAN, WAN tal como Internet, la red de comunicación por radio, o similares, y el medio de comunicación es una línea de cable de fibra óptica o similar, una línea inalámbrica, o similares.

35 Además, el programa incluido en la presente invención no es sólo uno en el que se ejecuta un programa suministrado en un ordenador para lograr las funciones de las formas de realización descritas anteriormente. Por ejemplo, cuando este programa coopera con el OS (sistema operativo) que funciona en el ordenador o con otro software de aplicación o similar, para lograr las funciones de las formas de realización descritas anteriormente, tal programa se incluye en la presente invención.

40 Además, cuando todo o parte del procedimiento del programa suministrado se ejecuta en una unidad de tarjeta de expansión de función o unidad de expansión de función del ordenador para lograr las funciones de las formas de realización descritas anteriormente, tal programa se incluye en la presente invención.

45 Por ejemplo, la Figure 11 es un diagrama esquemático que ilustra una estructura interna del aparato 10 de determinación de fractura. En la Figure 11, el numeral 1200 denota un ordenador personal (PC) que incluye una CPU 1201. El PC 1200 ejecuta el software de control del dispositivo almacenado en una ROM 1202 o en el disco duro (HD) 1211 suministrado a través de una unidad de disco flexible (FD) 1212. Este PC 1200 controla totalmente los respectivos dispositivos conectados al bus de sistema 1204.

50 Con el programa almacenado en la CPU 1201, la ROM 1202, o el disco duro (HD) 1211 del PC 1200, se consiguen los procedimientos de las respectivas etapas o similares de los diagramas de flujo de la Figure 2, Figure 3, Figure 7, Figure 9, y la Figure 10. El numeral 1203 denota una RAM, que funciona como una memoria principal, área de

trabajo o similar de la CPU 1201. El numeral 1205 denota un controlador de teclado (KBC), que controla una entrada de instrucción de un teclado (KB) 1209, un dispositivo no ilustrado, o similares.

5 El numeral 1206 denota un controlador CRT (CRTC), que controla la visualización en la pantalla CRT (CRT) 1210. El numeral 1207 denota un controlador de disco (DKC). El DKC 1207 controla el acceso al disco duro (HD) 1211 y al disco flexible (FD) 1212 que almacenan un programa de arranque, pluralidad de aplicaciones, archivos de edición, archivos de usuario, un programa de gestión de la red, y así sucesivamente. Aquí, el programa de arranque es un programa de inicio: la ejecución de inicio de programa (funcionamiento) de hardware o software del ordenador.

10 El numeral 1208 denota una tarjeta de interfaz de red (NIC) que intercambia datos de forma bidireccional con una impresora de red, otro aparato de la red, u otro PC a través de una LAN 1220.

A continuación se describirán, con referencia a las Figure 12 a 14, ejemplos de representación con curvas de nivel de un riesgo de fractura cuando una chapa de metal se estampa.

15 La Figure 12 es un diagrama que ilustra un resultado de una representación del riesgo de fractura calculado utilizando el ejemplo comparativo  $f_1$  con curvas de nivel. Como se ilustra en la Figure 12, las curvas de nivel en la proximidad de la parte superior, en la que el riesgo de fractura es más alto, son gruesas, y no se puede identificar la porción de riesgo de fractura. Por otro lado, en porciones en el extremo opuesto en la dirección longitudinal, a pesar de que la deformación es bastante pequeña, la tensión cuando la porción ha vuelto de un estado plástico a un estado elástico se carga con una distribución, y por lo tanto se forman curvas de nivel densas.

20 La Figure 13 y la Figure 14 son diagramas que ilustran los resultados de representación de un riesgo de fractura calculado por el método de las formas de realización con curvas de nivel. Al mostrar el riesgo de fractura calculado por la primera forma de realización y la segunda forma de realización con curvas de nivel, se puede visualizar un riesgo de fractura preciso.

25 La Figure 13 es un diagrama que ilustra el riesgo de fractura calculado por el método de la primera forma de realización con curvas de nivel. Como se ilustra en la Figure 13, el alto riesgo de fractura se muestra claramente en las proximidades de la parte superior en el centro de la chapa de metal. Además, entre las curvas de nivel ilustradas en la Figure 13, las curvas de nivel son gruesas en las porciones en las que la deformación es pequeña en porciones en extremos opuestos en la dirección longitudinal en comparación con la Figure 12, y se puede observar que el riesgo de fractura es bajo.

30 La Figure 14 es un diagrama que ilustra el riesgo de fractura calculado por el método de la segunda forma de realización con curvas de nivel. Entre las curvas de nivel ilustradas en la Figure 14, se muestra con más detalle la distribución del riesgo de fractura en las proximidades de la parte superior, en el centro de la chapa de metal, y se puede observar que el riesgo de fractura es alto un poco fuera de la parte superior. Además, entre las curvas de nivel ilustradas en la Figure 14, se puede observar que el riesgo de fractura es bastante pequeño en porciones en las que una deformación es pequeña en porciones de extremos opuestos en la dirección longitudinal. Se puede observar que este punto coincide sensiblemente con experiencias convencionales.

35 La Figure 15 es un diagrama que ilustra las curvas de nivel que se ilustran en la Figure 12 a la Figure 14 a lo largo de una trayectoria desde un punto de partida  $s$  a punto superior  $t$  como que se ilustra en la Figure 12. Nótese que la Figure 15 ilustra las curvas de nivel en un estado en el que se ha deformado más desde los estados de deformación ilustrados en la Figure 12 a la Figure 14. El eje horizontal representa la posición desde un punto de partida  $s$  a punto superior  $t$ , y el eje vertical representa el riesgo de fractura. Como se ilustra en la Figure 15, una posición fracturada real está en la proximidad de la parte superior. Con las curvas de nivel del riesgo de fractura calculado mediante el ejemplo comparativo  $f_1$ , es difícil de identificar con precisión la posición de la fractura. Por otra parte, con curvas de nivel del riesgo de fractura calculado mediante la primera forma de realización, es posible identificar la posición de la fractura hasta un cierto grado, y esta posición se corresponde sustancialmente con la posición que en realidad se fractura de forma experimental. Por otra parte, con curvas de nivel del riesgo de fractura calculado utilizando la segunda forma de realización, la diferencia entre la posición de la fractura y el riesgo de fractura de otras posiciones es evidente, y es posible identificar la posición de la fractura con mayor precisión.

40 Por lo tanto, en las formas de realización, el grado de riesgo de fractura se puede evaluar con gran precisión en cada porción objetivo de determinación de la fractura incluso cuando se trata de una deformación complicada. Además, la visualización del riesgo de fractura puede facilitar la comprensión intuitiva, y por lo tanto es ventajoso para considerar medidas.

45 Además, incluso cuando se produce la descarga, el riesgo de fractura no cambia, y es posible reconocer la ductilidad que permanece sustancialmente. Además, el riesgo de fractura se puede convertir en un margen de deformación y se puede representar, lo que puede facilitar aún más la comprensión intuitiva.

50 Los efectos específicos de las formas de realización son los siguientes.

1) El riesgo de fractura se puede calcular de acuerdo con el daño que ha recibido una estructura de metal, y por lo tanto no causa malentendido que se haya recuperado de los daños durante la descarga.

5 2) Mediante la conversión en una deformación plástica equivalente, se puede evaluar con más detalle una porción donde el riesgo de fractura es alto. Además, las curvas de nivel en una porción donde el riesgo de fractura es bajo se pueden hacer gruesas, y por lo tanto se puede reducir la desviación respecto al riesgo de fractura de las experiencias convencionales.

10 En lo que precede, se ha descrito la presente invención junto con diversas formas de realización, pero la invención no se limita sólo a estas formas de realización, y se pueden hacer modificaciones o similares dentro del alcance de la invención. Téngase en cuenta que la determinación de la fractura de acuerdo con las formas de realización puede ser adecuada para aquellas en las que se han producido una deformación y una tensión a lo largo de una superficie plana que tiene eje x y un eje y en una porción objetivo de determinación de la fractura de una estructura de metal, y cualquier deformación y tensión en la dirección del eje z, ortogonal al eje x y al eje y, puede ser ignorada.

15 La presente invención se puede utilizar para la simulación de accidente de un automóvil o simulación de conformación en prensa de una pieza.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de determinación de fracturas para determinar una fractura de una estructura de metal, comprendiendo el método:

una etapa de análisis de deformación de realización del análisis de deformación desde el inicio de la deformación hasta el final de la deformación de la estructura de metal; y

una etapa de determinación de la fractura de extracción de una porción objetivo de determinación de la fractura desde un estado de deformación de la estructura de metal obtenido en la etapa de análisis de deformación, y cuando la porción objetivo de determinación de la fractura extraída ha vuelto de un estado plástico a un estado elástico,

dado que una tensión cuando la porción que ha vuelto al estado elástico es  $(x, y) = (\sigma_2, \sigma_1)$  (tensión principal máxima:  $\sigma_1$ , tensión principal mínima:  $\sigma_2$ ) en un plano de coordenadas  $(x, y)$ ,

realizar la determinación de la fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura utilizando una tensión de re-fluencia determinada por una intersección entre una línea recta que satisface una relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una curva de fluencia obtenida a partir del estado plástico de la porción objetivo de determinación de la fractura, en el que

en la etapa de determinación de la fractura, se obtienen:

un punto de coordenadas (A) de una tensión plástica inicial determinado por una intersección entre la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una curva de fluencia de un estado inicial de la porción objetivo de determinación de la fractura; y

un punto de coordenadas (B) de una tensión límite de fractura determinado por una intersección entre la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una línea de tensión límite de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura, y

en el que se calcula un riesgo de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura usando una distancia desde el punto de coordenadas (A) de la tensión plástica inicial hasta el punto de coordenadas (B) de la tensión límite de fractura y una distancia desde el punto de coordenadas (A) de la tensión plástica inicial hasta un punto de coordenadas (R) de la tensión de re-fluencia.

2. Un método de determinación de fracturas para determinar una fractura de una estructura de metal, según la reivindicación 1,

en el que se calcula un posterior riesgo de fractura más de la porción objetivo de determinación de la fractura utilizando una distancia desde el origen (O) hasta el punto de coordenadas (B) de la tensión límite de fractura y una distancia desde el origen (O) hasta el punto de coordenadas (P) de una tensión cuando la porción ha vuelto al estado elástico, y

se elige y utiliza uno de los riesgos de fractura calculados de la porción objetivo de determinación de la fractura.

3. Un aparato de determinación de la fractura para determinar una fractura de una estructura de metal, comprendiendo el aparato:

una unidad de análisis de la deformación adaptada para realizar análisis de la deformación desde el inicio de la deformación hasta el final de la deformación de la estructura de metal; y

una unidad de determinación de la fractura adaptada para extraer una porción objetivo de determinación de la fractura de un estado de deformación de la estructura de metal obtenida en la unidad de análisis de la deformación, y cuando la porción objetivo de determinación de la fractura extraída ha vuelto de un estado plástico a un estado elástico,

dado que una tensión cuando la porción ha vuelto al estado elástico es  $(x, y) = (\sigma_2, \sigma_1)$  (tensión principal máxima:  $\sigma_1$ , tensión principal mínima:  $\sigma_2$ ) en un plano de coordenadas  $(x, y)$ ,

realiza la determinación de la fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura utilizando una tensión de re-fluencia determinada por una intersección entre una línea recta que satisface una relación  $y = (\sigma_1 / \sigma_2) x$  y una curva de fluencia que se obtiene a partir del estado de plástico de la porción objetivo de determinación de la fractura, en el que

la unidad de determinación de la fractura está adaptada para obtener:

un punto de coordenadas (A) de una tensión plástica inicial determinado por una intersección entre la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una curva de fluencia de un estado inicial de la porción objetivo de determinación de la fractura; y

un punto de coordenadas (B) de una tensión límite de fractura determinado por una intersección entre la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una línea de tensión límite de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura, y calcular

un riesgo de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura usando una distancia desde el punto de coordenadas (A) de la tensión plástica inicial hasta el punto de coordenadas (B) de la tensión límite de fractura y una distancia desde el punto de coordenadas (A) de la tensión plástica inicial hasta un punto de coordenadas (R) de la tensión de re-fluencia.

5 4. Un programa para la determinación de una fractura de una estructura de metal, haciendo el programa que un ordenador ejecute:

10 una etapa de análisis de deformación que realiza un análisis de deformación desde el inicio de la deformación hasta el final de la deformación de la estructura de metal; y  
 una etapa de determinación de la fractura para extraer una porción objetivo de determinación de la fractura a partir de un estado de deformación de la estructura de metal obtenida en la etapa de análisis de deformación, y cuando la porción objetivo de determinación de la fractura extraída ha vuelto de un estado plástico a un estado elástico,  
 15 dado que una tensión cuando la porción ha vuelto al estado elástico es  $(x, y) = (\sigma_2, \sigma_1)$  (tensión principal máxima:  $\sigma_1$ , tensión principal mínima:  $\sigma_2$ ) en un plano de coordenadas  $(x, y)$ ,  
 realiza la determinación de la fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura utilizando una tensión de re-fluencia determinada por una intersección entre una línea recta que satisface una relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una curva de fluencia que se obtiene a partir del estado plástico de la porción objetivo de  
 20 determinación de la fractura, en la que  
 en la etapa de determinación de la fractura, se obtienen:

25 un punto de coordenadas (A) de una tensión plástica inicial determinado por una intersección entre la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una curva de fluencia de un estado inicial de la porción objetivo de determinación de la fractura; y  
 un punto de coordenadas (B) de una tensión límite de fractura determinado por una intersección entre la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una línea de tensión límite de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura, y  
 30 en el que se calcula un riesgo de fractura, de la porción objetivo de determinación de la fractura, usando una distancia desde el punto de coordenadas (A) de la tensión plástica inicial hasta el punto de coordenadas (B) de la tensión límite de fractura y una distancia desde el punto de coordenadas (A) de la tensión plástica inicial hasta un punto de coordenadas (R) de la tensión de re-fluencia.

35 5. Un medio de registro legible por ordenador que tiene grabado un programa para la determinación de una fractura de una estructura de metal, haciendo el programa que el ordenador ejecute:

una etapa de análisis de deformación para realizar un análisis de deformación desde el inicio de la deformación hasta el final de la deformación de la estructura de metal; y  
 40 una etapa de determinación de la fractura que extrae una porción objetivo de determinación de la fractura a partir de un estado de deformación de la estructura de metal, obtenido en la etapa de análisis de deformación, y cuando la porción objetivo de determinación de la fractura extraída ha vuelto de un estado plástico a un estado elástico,  
 45 dado que una tensión cuando la porción ha vuelto al estado elástico es  $(x, y) = (\sigma_2, \sigma_1)$  (tensión principal máxima:  $\sigma_1$ , tensión principal mínima:  $\sigma_2$ ) en un plano de coordenadas  $(x, y)$ ,  
 realizar la determinación de la fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura utilizando una tensión de re-fluencia determinada por una intersección entre una línea recta que satisface una relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una curva de fluencia que se obtiene a partir del estado plástico de la porción objetivo de  
 50 determinación de la fractura, en la que  
 en la etapa de determinación de la fractura, se obtienen:

55 un punto de coordenadas (A) de una tensión plástica inicial determinado por una intersección entre la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una curva de fluencia de un estado inicial de la porción objetivo de determinación de la fractura; y  
 un punto de coordenadas (B) de una tensión límite de fractura determinado por una intersección entre la línea recta que satisface la relación  $y = (\sigma_1/\sigma_2)x$  y una línea de tensión límite de fractura de la porción objetivo de determinación de la fractura, y  
 60 en el que se calcula un riesgo de fractura, de la porción objetivo de determinación de la fractura, usando una distancia desde el punto de coordenadas (A) de la tensión plástica inicial hasta el punto de coordenadas (B) de la tensión límite de fractura y una distancia desde el punto de coordenadas (A) de la tensión plástica inicial hasta un punto de coordenadas (R) de la tensión de re-fluencia.

FIG.1

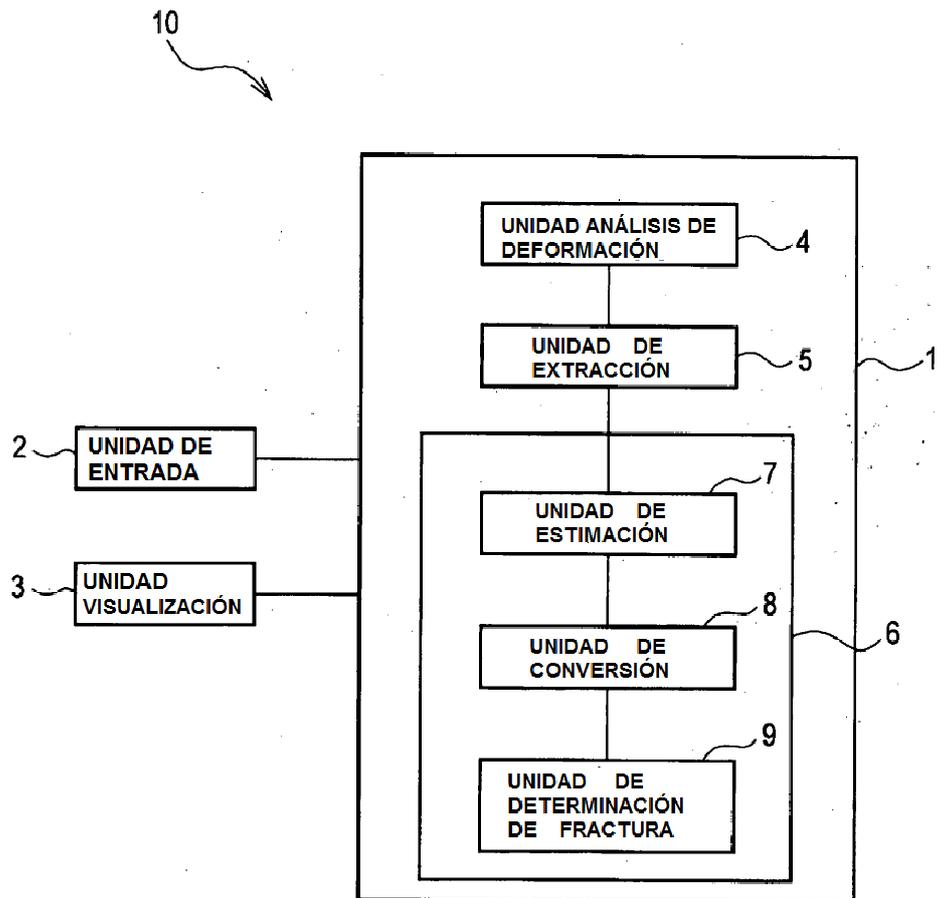


FIG.2

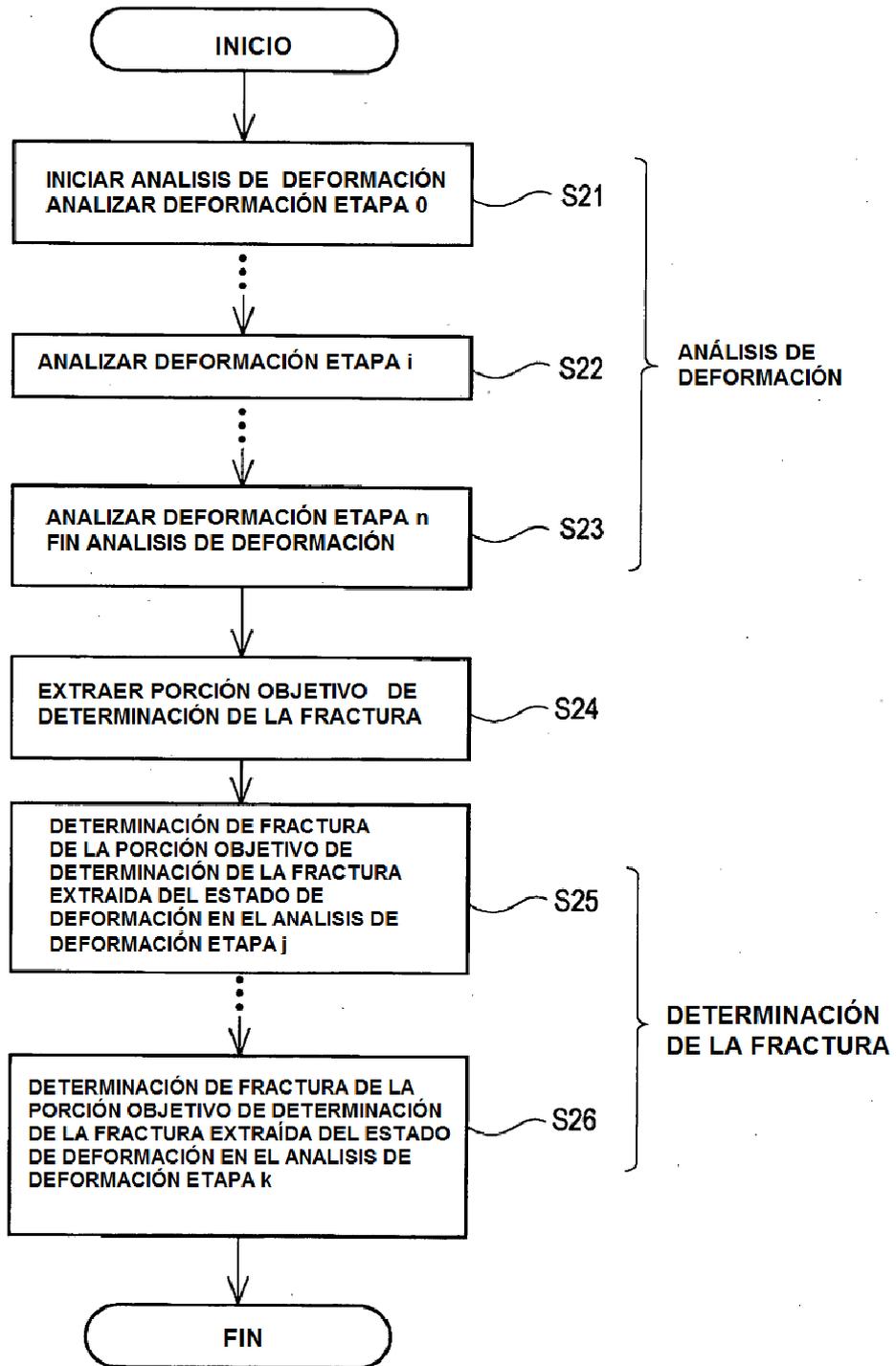


FIG.3

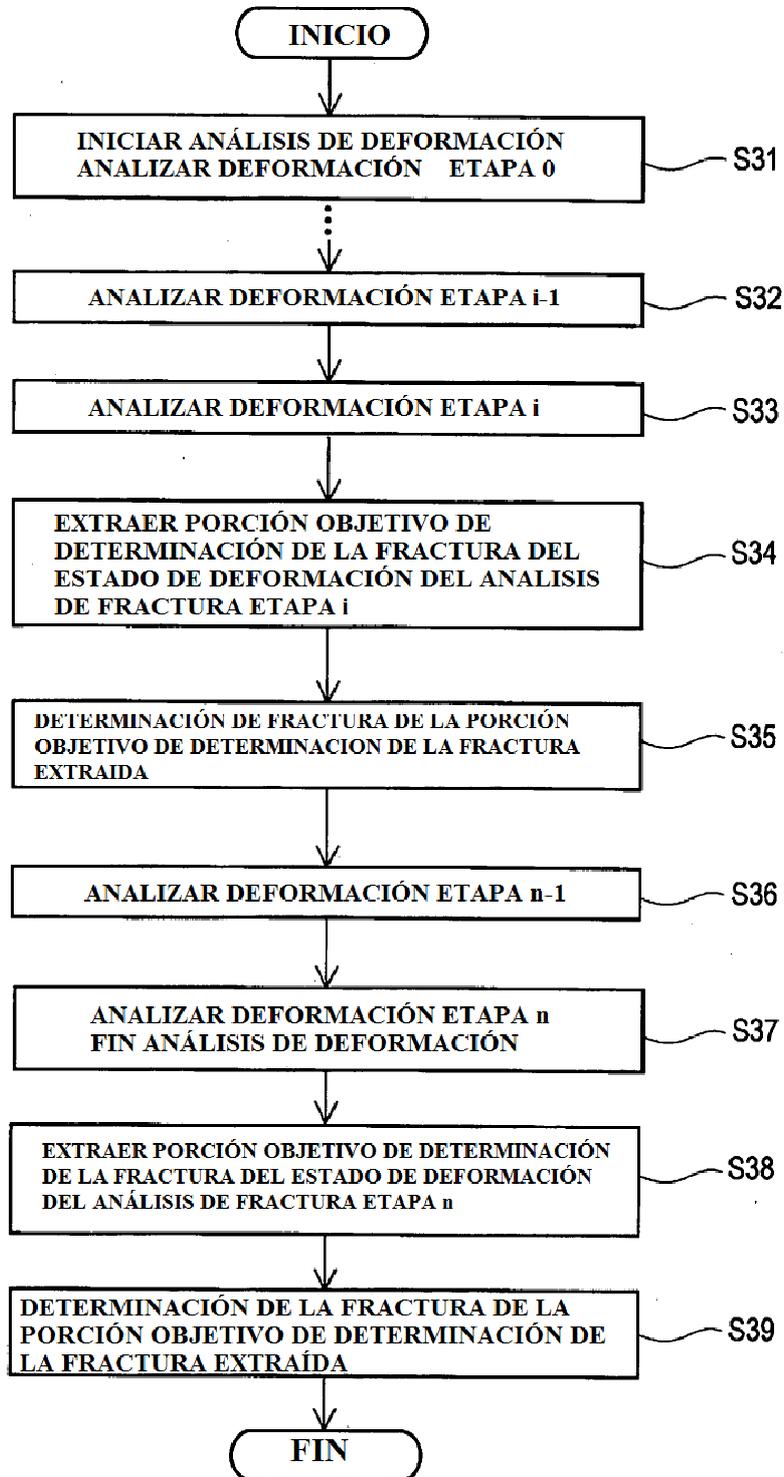


FIG.4

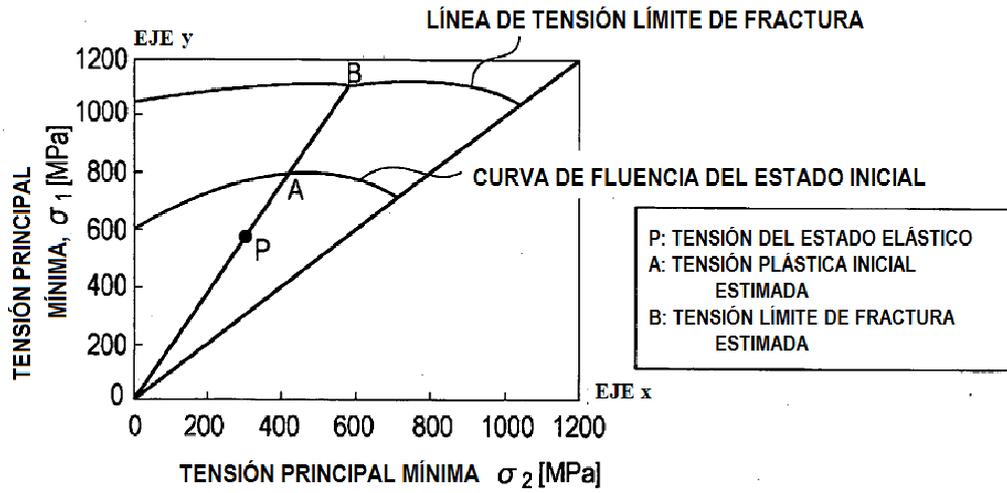


FIG.5

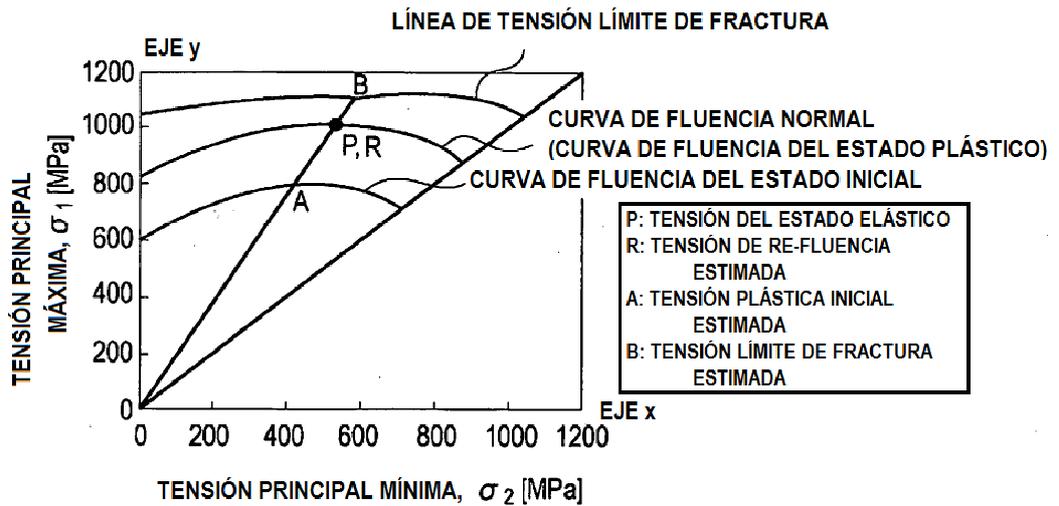


FIG.6

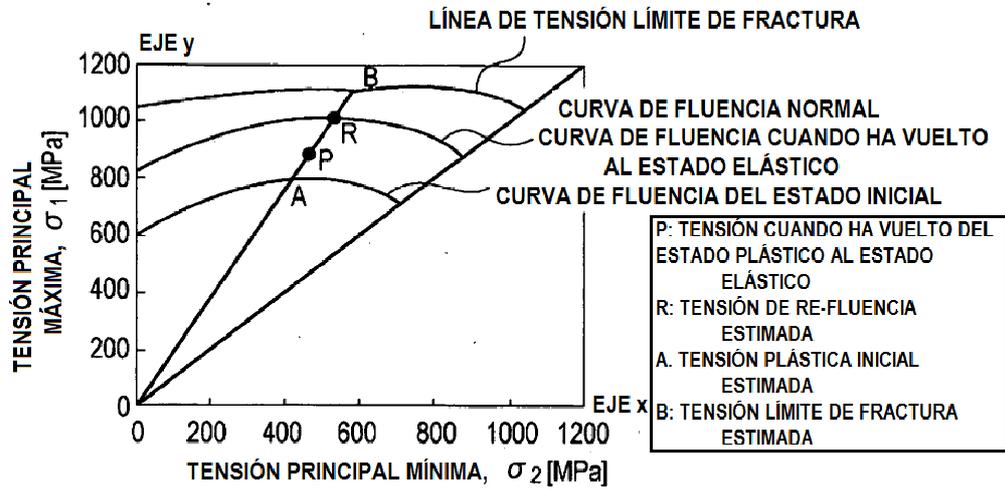


FIG.7

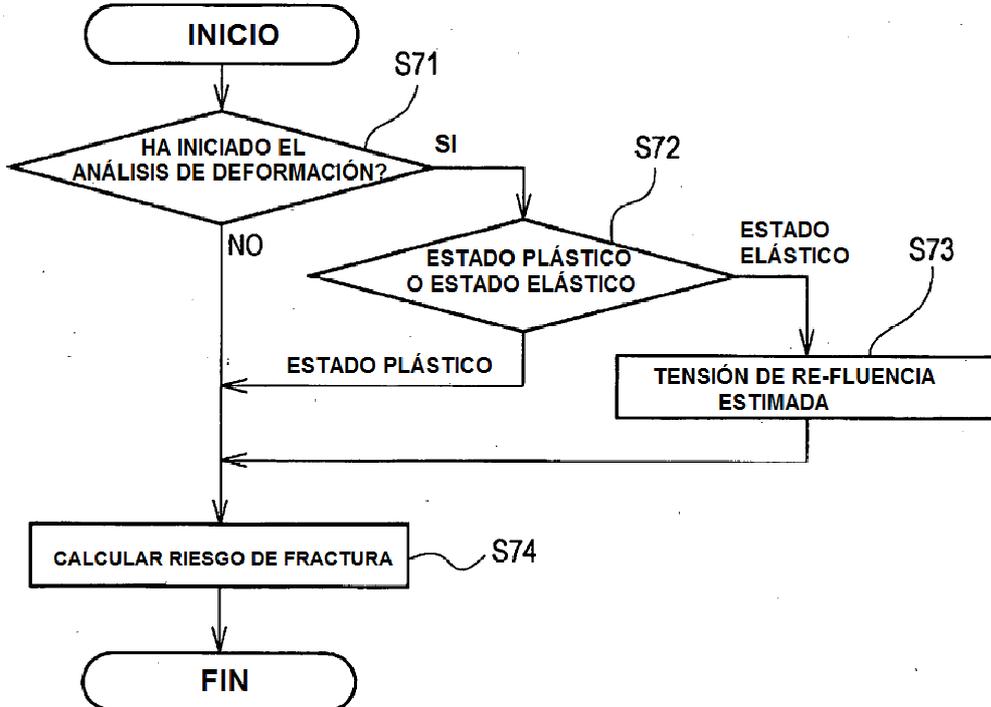


FIG.8

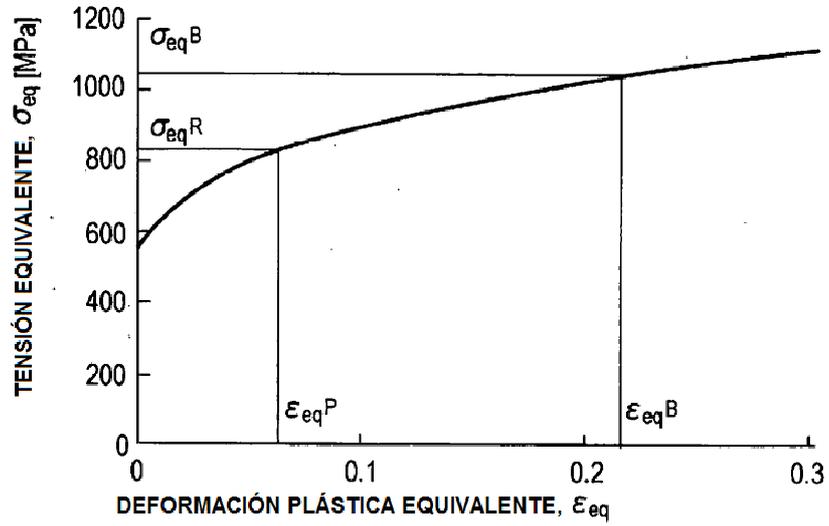


FIG.9

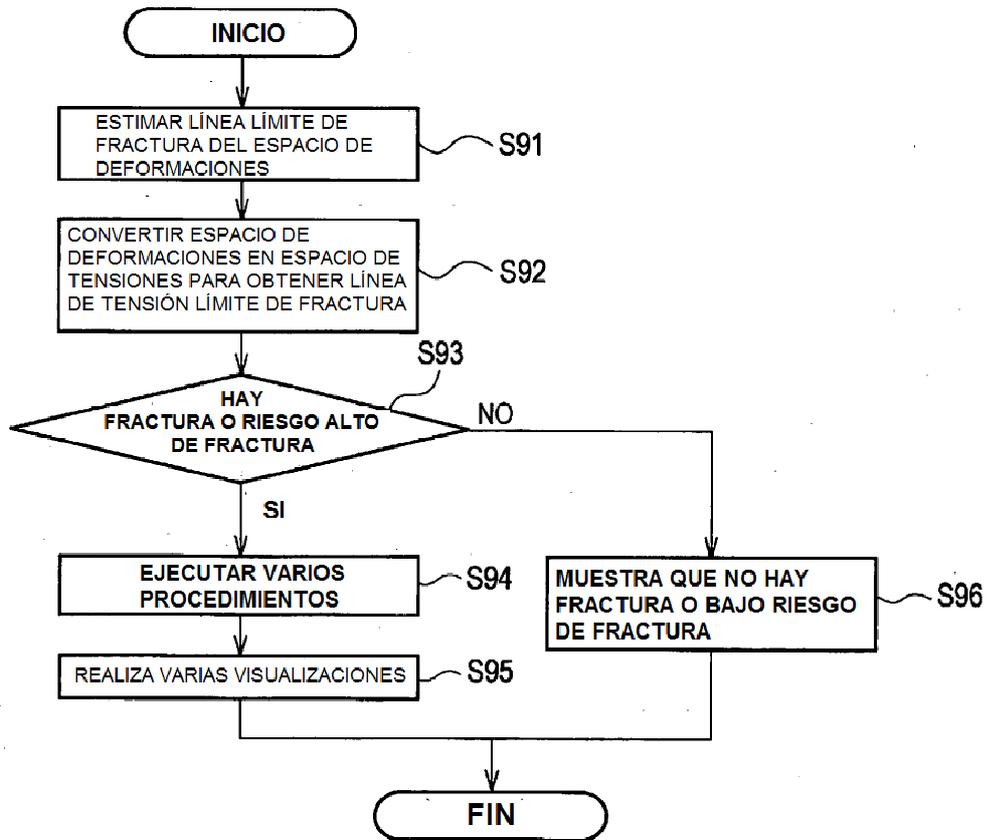


FIG. 10

LÍNEA DE TENSIÓN LÍMITE DE FRACTURA DE S92

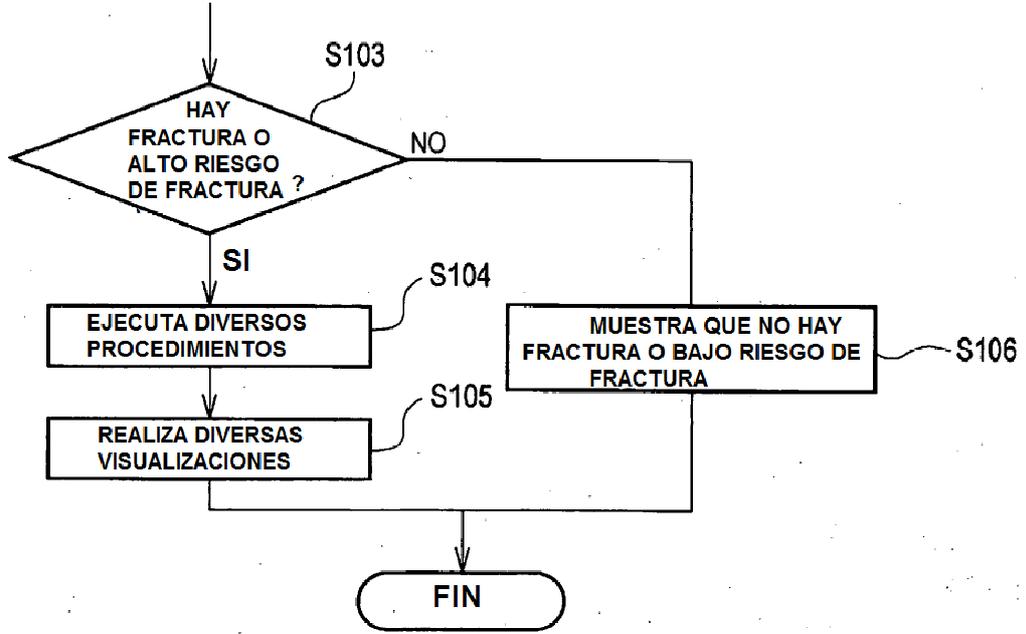


FIG. 11

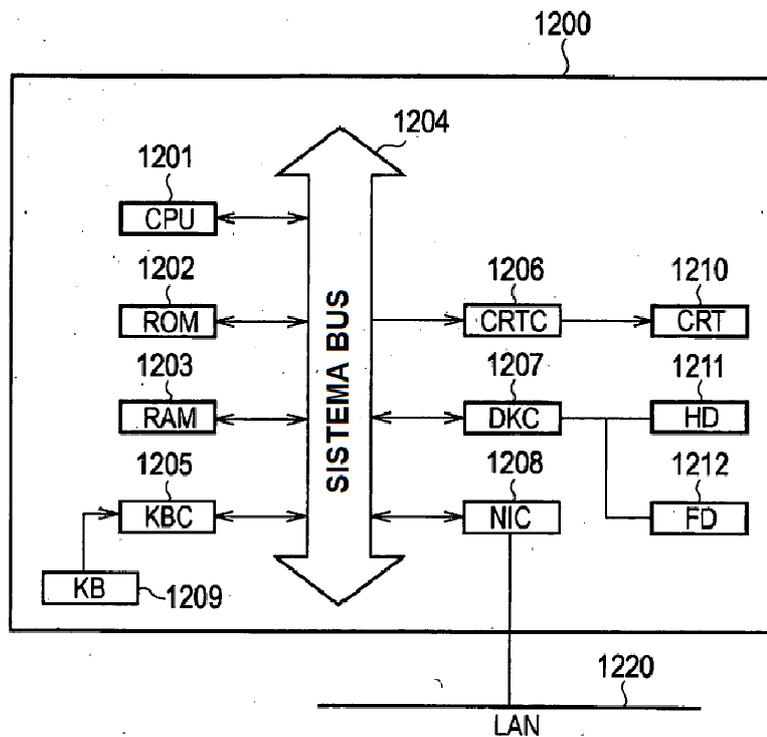


FIG.12

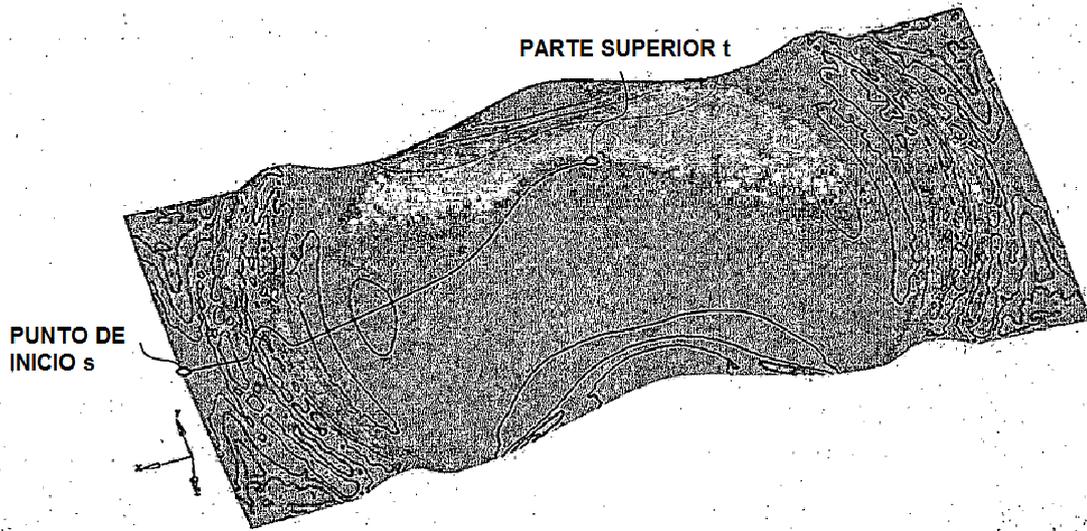


FIG.13

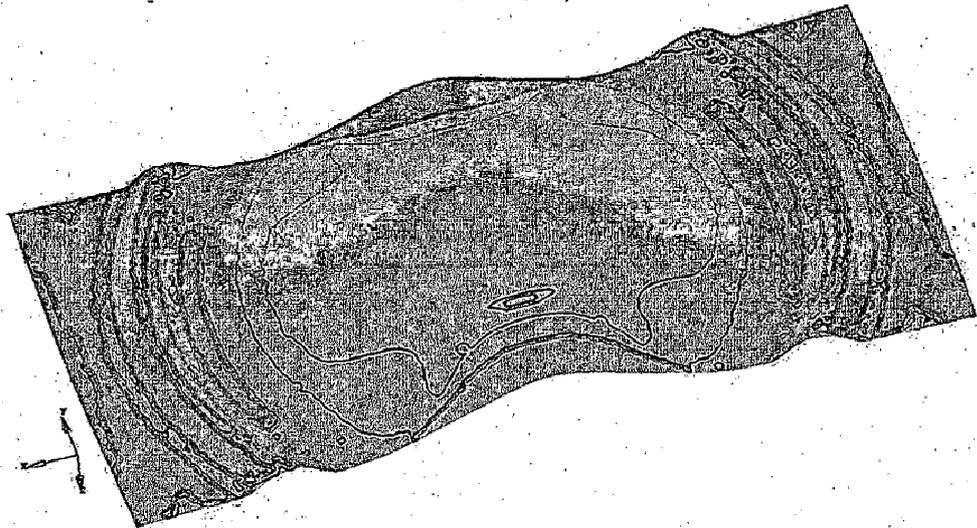


FIG.14

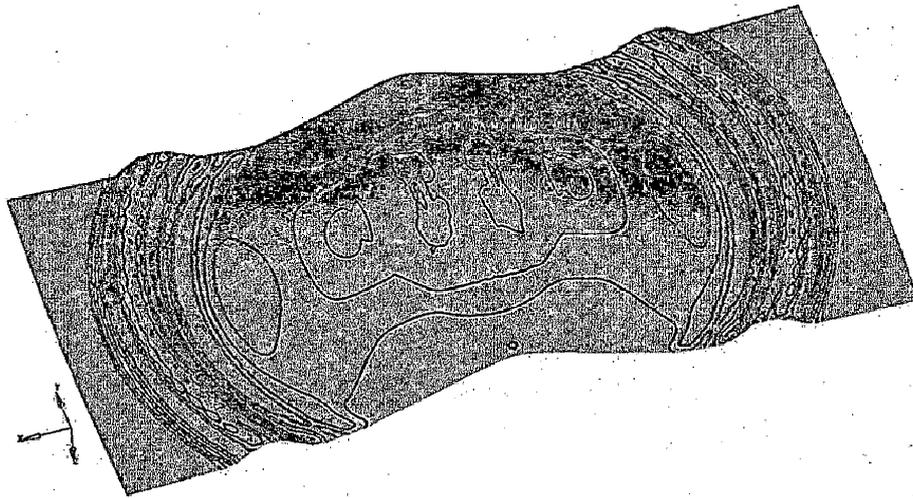


FIG.15

