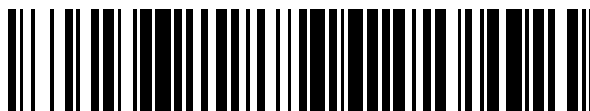


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 905**

51 Int. Cl.:

G01N 3/28 (2006.01)

G06F 17/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.04.2008** **PCT/JP2008/057299**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2008** **WO08133092**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2008** **E 08740385 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018** **EP 2136197**

54 Título: **Método de predicción de fractura, dispositivo de procesamiento de cálculo, programa y soporte de registro**

30 Prioridad:

12.04.2007 JP 2007105182

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

08.05.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**UENISHI, AKIHIRO;
ARIGA, TAKASHI;
YONEMURA, SHIGERU;
NITTA, JUN y
YOSHIDA, TOHRU**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 711 905 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 predicción de fractura, dispositivo de procesamiento de cálculo, programa y soporte de registro

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método de predicción de fractura para extraer una porción de riesgo de fractura cuando se efectúa un análisis de deformación por medio de un método de elementos finitos, un dispositivo de procesamiento, un producto de programa y un soporte de registro.

10 Antecedentes de la técnica

En años recientes, en la industria automotriz, se ha vuelto un problema urgente desarrollar una estructura de vehículo capaz de reducir las lesiones a un pasajero al momento de una colisión. Por otro lado, la reducción del peso de la carrocería de los vehículos es también importante para mejorar la eficiencia de combustible. Para resolver estos problemas, se considera la aplicación de materiales con resistencia más alta, láminas de acero de alta resistencia como materiales de acero en particular. Sin embargo, en general, se dice que el incremento de la resistencia conlleva al deterioro de la capacidad de formación. Para aplicación de expansión, es importante mejorar la capacidad de formación, en particular la capacidad de formación de reborde estirado.

Para resolver tales problemas, el desarrollo de un material con excelente capacidad de formación de reborde estirado está en progreso. Por ejemplo, en el Documento de Patente 1, se divulga un material con capacidad de formación de reborde estirado mejorada mediante el control de microestructura de tipo ferrita y bainita. Además, en el Documento de Patente 2, se divulgan láminas de aleación de aluminio con excelente capacidad de formación de reborde estirado mediante la definición de anisotropía plástica y elongación uniforme en una prueba de tensión en una dirección específica.

25 Sin embargo, la capacidad de formación en una parte actual es determinada de manera compleja no solamente con las propiedades de material sino también es afectada por configuración de dado, condiciones de lubricación, condiciones de formación, y/o similares. Por consiguiente, es necesario establecer apropiadamente estos factores complicados, conjuntamente con materiales, con el objeto de aprovechar excelentes propiedades de material. Para tales propósitos, se aplican técnicas de análisis numérico.

En el Documento de Patente 3, se divulga un método para predecir una fractura o una arruga que es un defecto de formación al momento de la formación, utilizando un método de elementos finitos. De acuerdo con este método, se efectúa un análisis con el método de elementos finitos y se determina la generación de fractura o arruga utilizando datos de distorsión y/o estrés de un elemento de interés. Sin embargo, cuando se utiliza un método de este tipo, se requiere efectuar una discretización de elementos con un tamaño apropiado según la meta del análisis. Cuando el análisis es efectuado con una discretización de elementos inapropiada existe el temor que la predicción resulte en una sobreestimación o en una subestimación y por consiguiente no corresponda a la realidad.

40 [Documento de Patente 1] Solicitud de Patente Japonesa Abierta n.º 2002-60898
[Documento de Patente 2] Solicitud de Patente Japonesa Abierta n.º 2006-257506
[Documento de Patente 3] Solicitud de Patente Japonesa Abierta n.º Hei 8-339396.

Sumario de la invención

45 Como se describió anterior, ha sido muy difícil extraer una porción de riesgo de fractura de manera fiable a través de las técnicas convencionales cuando se predice la generación de una fractura o una arruga, que es un defecto de formación en el momento de la formación, utilizando el método de elementos finitos.

La presente invención se efectúa tomando en cuenta los problemas descritos arriba, y un objeto de la presente invención es proporcionar un método de predicción de fracturas para extraer una porción de riesgo de fractura fácil y fiablemente cuando se predice una fractura por el método de elementos finitos, un dispositivo de procesamiento, un producto de programa, y un soporte de registro.

Los presentes inventores consideraron el método de predicción de fractura mientras enfocaban su atención en el hecho que la deformación se localiza en una porción de riesgo de fractura y un gradiente de deformación grande ocurre alrededor de la porción, y encontraron que la porción de riesgo de fractura puede ser determinada de manera fiable, la esencia de la presente invención se presenta a continuación.

1. Un método de predicción de fractura incluye:

60 un primer paso de discretizar una parte de objetivo de análisis por una primera área y una segunda área mayor que la primera área respectivamente y efectuar un análisis de formación utilizando un método de elementos finitos;
un segundo paso de calcular una distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina para cada una de las partes discretizadas por la primera área y la segunda área; y
65 un tercer paso de extraer una porción de riesgo de fractura a partir de la parte de objetivo de análisis

discretizada por la primera área, en el que la diferencia de distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina entre valores calculados en la parte discretizada por la primera área y los valores en la parte discretizados por la segunda área es mayor que un valor predeterminado en la posición correspondiente a una misma porción en la parte de objetivo de análisis.

2. En el método de predicción de fractura de acuerdo con 1., en el primer paso, un tamaño de primera área y un tamaño de segunda área son determinados por una relación con un valor n de la parte de objetivo de análisis.

3. En el método de predicción de fractura de acuerdo con 1. o 2., en el tercer paso, cuando una porción de riesgo de fractura en el que la diferencia es mayor que el valor predeterminado no es extraído, por lo menos la primera área entre la primera área y la segunda área es establecida para que sea de menor tamaño, y el primer paso, el segundo paso y el tercer paso se ejecutan otra vez secuencialmente.

4. En el método de predicción de fractura de acuerdo con cualquiera de 1. a 3., en el primer paso, una porción de borde de la parte de objetivo de análisis es discretizada por la primera área y la segunda área, respectivamente, y después se efectúa un análisis de formación.

5. Un método de predicción de fractura que incluye:

un primer paso de discretizar una parte de objetivo de análisis en varias áreas y efectuar un análisis de formación utilizando un método de elementos finitos;

un segundo paso de calcular una distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina para cada una de las áreas;

un tercer paso de combinar dos o más áreas adyacentes y calcular una distorsión principal máxima o una proporción de reducción de espesor de lámina en el área combinada; y

un cuarto paso de extraer, como porción de riesgo de fractura de la parte de objetivo de análisis, el área en el que la diferencia de distorsión principal máxima o la proporción de reducción de espesor de lámina antes y después de la combinación de las áreas es mayor que un valor predeterminado.

6. En el método de predicción de fractura de acuerdo con 5., en el primer paso, una porción de borde de la parte de objetivo de análisis es discretizada por el área y después se efectúa el análisis de formación.

7. Un dispositivo de procesamiento utilizado para método de predicción de fractura de una parte de objetivo de análisis que incluye:

una primera unidad que discretiza una parte de objetivo de análisis por una primera área y una segunda área mayor que la primera área, respectivamente, y que efectúa un análisis de formación utilizando un método de elementos finitos;

una segunda unidad que calcula la distorsión principal máxima o una proporción de reducción de espesor de lámina para cada una de las partes discretizadas por la primera área y la segunda área; y

una tercera unidad que extrae una porción de riesgo de fractura a partir de la parte de objetivo de análisis discretizada por la primera área, en el que la diferencia de distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina entre los valores calculados en la parte discretizada por la primera área y los valores en la parte discretizados por la segunda área es mayor que un valor predeterminado en la posición que corresponde a una misma porción en la parte de objetivo de análisis.

8. En el dispositivo de procesamiento de acuerdo con 7., la primera unidad determina el tamaño de una primera área y el tamaño de la segunda área a través de una relación con un valor n de la parte de objetivo de análisis.

9. Un dispositivo de procesamiento utilizado para un método de predicción de fractura de una parte de objetivo de análisis que incluye:

una primera unidad que discretiza una parte de objetivo de análisis en varias áreas y efectúa un análisis de formación utilizando un método de elementos finitos;

una segunda unidad que calcula una distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina para cada una de las áreas;

una tercera unidad que combina dos o más de las áreas adyacentes y calcula una distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina en el área combinada; y

una cuarta unidad que extrae, como porción de riesgo de fractura de la parte de objetivo de análisis, el área en el que la diferencia de la distorsión principal máxima o la proporción de reducción de espesor de lámina antes y después de la combinación de las áreas es mayor que un valor predeterminado.

10. Un producto de programa que hace que un ordenador ejecute:

un primer paso de discretizar una parte de objetivo de análisis por una primera área y una segunda área mayor que la primera área, respectivamente, y efectuar un análisis de formación utilizando un método de elementos finitos;

un segundo paso de calcular una distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina para cada una de las partes discretizadas por la primera área y la segunda área; y

un tercer paso de extraer una porción de riesgo de fractura a partir de la parte de objetivo de análisis discretizada por la primera área, en el que la diferencia de distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina entre valores calculados en la parte discretizada por la primera área y los valores en la parte discretizados por la segunda área es mayor que un valor predeterminado en la posición correspondiente a una misma porción en la parte de objetivo de análisis.

11. En el producto de programa de acuerdo con 10., en el primer paso, un tamaño de la primera área y un tamaño de la segunda área son determinados por una relación con un valor n de la parte de objetivo de análisis.

12. En el producto de programa de acuerdo con 10. u 11., en el tercer caso, cuando una porción de riesgo de fractura en el que la diferencia es mayor que el valor predeterminado no es extraída, por lo menos la primera área entre la primera área y la segunda área es establecida de un menor tamaño, y el primer paso, el segundo paso, y el tercer paso son ejecutados otra vez secuencialmente.

13. En el producto de programa de acuerdo con cualquiera de 10. a 12., en el primer paso, una porción de borde de la parte de objetivo de análisis es discretizada por la primera área y la segunda área respectivamente, y después se efectúa el análisis de formación.

14. Un producto de programa que causa que un ordenador ejecute:

un primer paso de discretizar una parte de objetivo de análisis en varias áreas y efectuar un análisis de formación utilizando un método de elementos finitos;

un segundo paso de calcular una distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina para cada una de las áreas;

un tercer paso de combinar dos o más áreas adyacentes y calcular la distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina en el área combinada; y

un cuarto paso de extraer, como porción de riesgo de fractura de la parte de objetivo de análisis, el área en el que la diferencia de la distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina antes y después de la combinación de las áreas es mayor que un valor predeterminado.

15. En el producto de programa de acuerdo con 14., en el primer paso, una porción de borde de la parte de objetivo de análisis es discretizada por el área y después se efectúa el análisis de formación.

16. Un soporte de registro legible en ordenador que registra un producto de programa de acuerdo con cualquiera de 10. a 15.

Mediante la realización de predicción de fractura de una parte a procesar con base en la presente invención, la dependencia de la selección de condiciones de análisis puede ser reducida y se puede extraer una porción de riesgo de fractura de manera fácil y fiable. Por consiguiente, los costos necesarios para el desarrollo pueden ser reducidos y se logra una reducción de peso mediante la aplicación de un material que tiene una resistencia más elevada a una parte a procesar.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de flujo de un método de predicción de fractura (dispositivo) de la presente invención;

La Figura 2 es una tabla que muestra resultados de simulación cuando se determinan límites superior e inferior de discretización de elementos gruesos y finos;

La Figura 3 es una gráfica característica que muestra resultados de simulación cuando se determinan los límites superior e inferior de la discretización de elementos gruesos;

La Figura 4 es una gráfica característica que muestra los resultados de simulación cuando se determinan los límites superior e inferior de la discretización de elementos finos;

La Figura 5 es un diagrama de flujo de un método de predicción de fractura (dispositivo) de la presente invención;

La Figura 6 es una vista de explicación de una lámina de material utilizada para un experimento de formación;

La Figura 7A es una vista esquemática que muestra un corte transversal vertical antes del inicio de una prueba de formación de reborde;

La Figura 7B es una vista esquemática que muestra una superficie plana antes del inicio de prueba de formación de reborde;

La Figura 7C es una vista esquemática que muestra un corte transversal vertical después de acabar la prueba de formación de reborde;

La Figura 8A es una vista esquemática que muestra la discretización de elemento por un tamaño pequeño utilizado para análisis de formación;

La Figura 8B es una vista esquemática que muestra discretización de elemento por un tamaño grande utilizado para análisis de formación;

La Figura 9 es una gráfica característica que muestra los resultados de análisis de una distribución de distorsión principal máxima con elementos grandes y pequeños; y

La Figura 10 es un diagrama esquemático que muestra una estructura interna de un dispositivo terminal de usuario personal.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Primero, los presentes inventores examinaron estados de deformación de porciones de fractura de partes de objetivo de análisis con detalles. Como consecuencia, se encontró que existe un pico en la posición en el que ocurre realmente la fractura y deformación, como, por ejemplo, una proporción de reducción de espesor de lámina o distorsión disminuye gradualmente en la cercanía a este pico. Específicamente, es concebible que después que la deformación se concentre en alguna área (elemento) en una parte de meta de análisis, la localización de la deformación ocurre adicionalmente en el área y lleva eventualmente a una fractura. Esto significa que, en otras palabras, en una porción de fractura de una parte de objetivo de análisis, lo que se conoce como gradiente de deformación es grande. El gradiente de deformación es una variación (gradiente) que depende de una posición de una cantidad de deformación como por ejemplo la proporción de reducción de espesor de hoja o una cantidad de distorsión en una cierta porción de una parte de objetivo de análisis. El gradiente de deformación es un coeficiente diferencial obtenido diferenciando una cantidad de deformación por posición (distancia), y puede representarse, por ejemplo, considerando un área diminuta, como gradiente de deformación = [cantidad de deformación/distancia (mm)].

Como método convencional para distinguir una fractura mediante la realización de un análisis de deformación de una parte de objetivo de análisis a través de un método de elementos finitos, generalmente se adopta un método para comparar una cantidad de deformación de cada área (cada elemento discretizado en forma de malla) obtenida por cálculo con un límite de fractura de un material que se obtiene separadamente. Específicamente, en el método convencional, durante el análisis de deformación utilizando el método de elementos finitos, una porción es determinada como una porción de riesgo de fractura cuando una cantidad de deformación en un cierto elemento rebasa un límite de fractura definido con base en el límite de fractura de un material de la parte de objetivo de análisis. Sin embargo, en este caso, ocurren problemas como se presenta a continuación.

En el método de elementos finitos, la cantidad de deformación calculada para cada elemento será el valor promedio dentro de este elemento. Por consiguiente, cuando el tamaño del elemento es establecido para que sea relativamente grande, en un elemento en el cual existe la porción con una cantidad de información grande, esta porción existe localmente en un área angosta en el elemento de interés. En este caso, aun cuando el límite de fractura se ha rebasado localmente en la porción de interés, promediando las cantidades de deformación en el elemento provoca como resultado que, para decirlo de alguna manera, la cantidad de deformación la porción de interés esté integrada en el valor promedio, y por consiguiente el valor producido como promedio en el elemento no rebasa el límite de fractura. En este caso, la porción de interés no puede ser determinada como la porción de riesgo de fractura.

Por consiguiente, para tratar con la ubicación de deformación, una discretización en elementos adecuadamente pequeños es concebible. Sin embargo, en el método de elementos finitos, el tiempo de circulación depende en gran medida del tamaño de elementos y el número total de elementos. Cuando se utiliza la discretización en elementos adecuadamente pequeños que puede manejar la localización de deformación, se requiere de un tiempo bastante largo para análisis de deformación. Específicamente, el tiempo de procesamiento es proporcional al número inverso del cubo de una proporción de reducción de tamaño de elemento. Por ejemplo, el tiempo de cálculo se vuelve aproximadamente ocho es mayor cuando el tamaño de elemento es reducido a 1/2, y aproximadamente 64 veces mayor cuando el tamaño de elemento es reducido a 1/4. Mientras que la utilización de un elemento con un lado de 2 mm requiere de aproximadamente diez horas de tiempo de cálculo para la escala de una parte de objetivo de análisis normal, por ejemplo, el uso de un elemento con un lado de 0,5 mm para mejorar la exactitud requiere de aproximadamente 64 veces más tiempo, 640 horas de tiempo de cálculo, por lo que no es práctico.

Además, cuando el tamaño de elemento es pequeño, ocurre también el problema siguiente. Específicamente, cuando se utiliza un tamaño de elemento inferior a la longitud de calibración (longitud de calibración es la referencia cuando tiene de una deformación de una porción de fractura al momento de obtener el límite de fractura de un material de la parte de objetivo de análisis, un valor de salida proveniente del elemento y el límite de fractura no pueden compararse directamente. En este caso, se requiere de algún tipo de corrección.

Además, en primer lugar, independientemente de qué tan pequeño es el tamaño del elemento discretizado, puede existir un caso en el cual la posibilidad de generación de fracturas no puede determinarse con exactitud. Específicamente, aun cuando existe en la parte de objetivo de análisis una porción que tiene una cantidad de deformación tan grande que es suficiente para la generación de fractura, puede existir un caso en el cual la porción de interés tiene una cantidad de deformación sustancialmente uniforme en un área relativamente grande, y no ocurre una fractura puesto que no hay localización de deformación ahí. Un ejemplo es lo que se conoce como deformación con rebabas de tal manera que en la periferia de un orificio formado en la parte de objetivo de análisis se observe una cantidad de deformación sustancialmente uniforme. En un caso de este tipo, aun cuando no ocurre realmente una fractura, un valor de salida en el elemento que corresponde a la porción de interés rebasa el límite de fractura y se puede determinar que la porción es una porción de riesgo de fractura.

Como se explicó arriba, en el método convencional de determinación de fractura, se requiere tener un alto grado de experiencia para efectuar una determinación precisa de fractura, y es también posible olvidar una porción de riesgo de fractura según la forma de ocurrencia de deformación y/o condiciones.

Para mejorar esta situación, los presentes inventores enfocaron su atención en el hecho que un gradiente de deformación es grande alrededor de una porción de riesgo de fractura, y por consiguiente inventaron un nuevo método de determinación de fracción que utiliza el punto en el cual se efectúa el promedio según el tamaño de elemento en el análisis por el método de elementos finitos. De acuerdo con la presente invención, dos criterios de elementos (aquí, para comodidad, el más pequeño de ellos se conoce como el primer elemento y el más grande de ellos se conoce como el segundo elemento), que tienen tamaños diferentes de discretización en el método de elementos finitos se utilizan para efectuar un análisis para una porción que tiene un gradiente de deformación. En el método de elementos finitos, una cantidad de deformación en un elemento de interés es promediada y producida. Por consiguiente, en el caso en el cual existe en un cierto elemento una porción de deformación que tiene un gran gradiente de deformación, cuando el elemento de interés es el primer elemento y cuando es el segundo elemento, el primero se vuelve el valor de salida más grande que el segundo.

De acuerdo con la presente invención, diferencia entre valores promedio calculados en la parte discretizada por el primer elemento y los en la parte discretizada por el segundo elemento se utilizan para extraer una porción de riesgo de fractura para el primer elemento y el segundo elemento separadamente en una posición que corresponde a la misma porción en la parte de objetivo de análisis. En este caso, cuando salidas de valores promedio son diferentes entre el primer elemento y el segundo elemento, es concebible que un gradiente de deformación exista en el elemento de interés. Esta diferencia entre valores de salida corresponde al grado de los gradientes de deformación. Entre mayor es el gradiente de deformación, más alto es el riesgo de fractura, y el grado de riesgo de fractura puede determinarse a través de la diferencia entre valores de análisis.

De acuerdo con la presente invención, una estructura posible es tal que, después de analizar con elementos que tienen un tamaño predeterminado en lugar de utilizar dos tipos de elementos que tienen tamaños de discretización diferentes de acuerdo con lo descrito arriba, dos o más elementos se combinan con el objeto de tomar la diferencia entre valores de salida antes y después de la combinación de los elementos. En este caso, cuando salidas de valores promedio antes y después de la combinación de los elementos son diferentes, es concebible que exista un gradiente de deformación en los elementos de interés. Entre mayor es el gradiente de deformación, mayor es el riesgo de fractura, y el grado de riesgo de fractura puede determinarse a través de la diferencia entre valores de análisis.

Como valores de análisis mencionados aquí, cualquier valor puede utilizarse como, por ejemplo, el espesor de lámina, proporción de reducciones de espesor de lámina, distorsión principal máxima, holgura de formación en un diagrama de límite de formación presentado por deformaciones principales máximas o mínimas y similares, generalmente utilizadas en la determinación de fractura. Es deseable utilizar la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima debido a la facilidad de manejo en análisis. Además, en el análisis de método de elementos finitos de proceso de formación, se utiliza generalmente como elemento un elemento de envoltura (bidimensional) constituido de varios nodos en un plano, pero que no tiene nodo en la dirección de espesor, y la presente invención es preferida para este elemento. Sin embargo, la presente invención puede aplicarse exactamente de la misma manera a un elemento unidimensional (elemento de barra) utilizado para productos procesados en una forma de barra, y un elemento tridimensional (elemento sólido) utilizado para mejorar la exactitud analítica de una formación en la dirección del espesor con mayores detalles.

Se encontró que, utilizando un método de este tipo, es posible efectuar simple y fiablemente determinación de fractura que ha sido difícil convencionalmente a menos que se optimice el tamaño de elemento debido a la dependencia del grado de deformación local de una porción de riesgo de fractura, un método de medición cuando se determina un límite de fractura, o similar.

Específicamente, de acuerdo con la presente invención, todos los problemas descritos arriba en la técnica convencional pueden ser resueltos.

Específicamente, de acuerdo con la presente invención, como primer elemento o elemento antes de combinación no es necesario utilizar un elemento que tiene un tamaño muy pequeño como en la técnica convencional, y por consiguiente se logra una reducción significativa del tiempo de procesamiento. Asimismo, en este caso, no es necesario utilizar un tamaño de elemento inferior a la longitud de calibrador al momento de obtener un límite de fractura de un material de una parte de objetivo de análisis, y por consiguiente se vuelve posible comparar directamente el valor producido a partir de un elemento y el límite de fractura.

De acuerdo con la presente invención, mediante la utilización de un punto en un sentido reverso, para decirlo de alguna manera, en el que la cantidad de deformación es promediada en un elemento por el método de elementos finitos, se utilizan dos tipos de elementos que tienen tamaños diferentes. Por consiguiente, mientras que convencionalmente la contribución de una porción que tiene una gran cantidad de deformación está integrada, para ponerlo de una manera, en el valor promedio mediante el hecho de promediar una cantidad de deformación de un elemento, la presente invención permite determinar con precisión una porción de riesgo de fractura.

Además, como en la deformación de rebabas, aun cuando existe una porción que tiene una cantidad de deformación

tan grande que es suficiente para generar una fractura existe en la parte de objetivo de análisis, la presente invención puede manejar hasta el caso en el cual la porción de interés tiene una cantidad de deformación sustancialmente uniforme en un área relativamente grande, y no ocurre una fractura puesto que no hay localización de deformación hay. Específicamente, en este caso, la porción de interés tiene un gradiente de deformación pequeño (o bien, sustancialmente no tiene gradiente de deformación) y por consiguiente tomando una diferencia entre valores de salida del primer elemento y el segundo elemento resulta en un valor relativamente pequeño que puede ser determinado con precisión como no siendo una porción de riesgo de fractura.

Además, como resultado de estudios delicados efectuados por los presentes inventores, se encontró que la exactitud de la determinación de fractura se incrementa significativamente en comparación con un método convencional para la forma de deformación que se conoce como fractura de reborde estirado, entre varios tipos de fractura. La formación de reborde estirado puede verse como una porción de raíz de un pilar central que es una porción de un panel lateral de cuerpo, una porción procesada de reborde para soldar miembros, o similar, y un estado de deformación del mismo cercano a una tensión uniaxial. En un modo de deformación de este tipo, el gradiente de deformación de una porción de riesgo de fractura es relativamente grande. Además, la deformación es más local en comparación con otras formas de fractura. Por consiguiente, en general es necesario utilizar un elemento relativamente pequeño cuando se efectúa un análisis por el método de elementos finitos. Esto hace que el tiempo de cálculo sea excesivo y es difícil relacionar el valor calculado con el valor de límite de fractura de un material medido por una cierta longitud de calibrador específica.

En contraste, con la presente invención, se encontró que el gradiente de deformación puede ser evaluado como una diferencia de valores de análisis cambiando tamaños de elementos para calcular los valores de análisis, y una porción de riesgo de fractura puede ser extraída de manera fiable. Cuando la presente invención es aplicada a láminas de acero de alta resistencia que tienen una resistencia a la tensión última de 440 MPa o más, en el que la fractura de reborde estirado puede ocurrir fácilmente con relación a gradiente de deformación, la exactitud de predicción mejora significativamente, y por consiguiente la presente invención es preferible para una aplicación de este tipo.

Además, la presente invención no se limita al método de elementos finitos, puede aplicarse a cualquier método de análisis en la medida en que efectúa una discretización de elementos. Además, la invención es efectiva para predecir no solamente una fractura durante deformación sino también una fractura de un material al momento de una deformación por colisión.

A continuación, se explicará específicamente la presente invención.

La presente invención de acuerdo con 1., como se muestra en la Figura 1, cuando una parte de objetivo de análisis es discretizada en varias áreas (elementos) y se efectúa un análisis de formación por un método de elementos finitos, dos tipos de elementos, un elemento que tiene un tamaño pequeño (primer elemento) y un elemento (segundo elemento) de mayor tamaño que el primer elemento, se utilizan para efectuar el análisis de formación (unidad (paso) de discretización 11), y la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima se calcula para cada uno de los elementos (unidad de análisis (paso) 12). Después, el primer elemento en el que un valor de diferencia de la distorsión principal máxima o la proporción de reducción de espesor de lámina entre el primer elemento y el segundo elemento es mayor que un valor predeterminado en una posición que corresponde a la misma porción en la parte de objetivo de análisis es extraído como porción de riesgo de fractura de la parte de objetivo de análisis (unidad de extracción (paso) 15).

Aquí, la unidad de discretización 11, la unidad de análisis 12 y la unidad de extracción 15 se realizan como funciones de una unidad de procesamiento central (CPU) de un ordenador, por ejemplo.

Obsérvese que en la Figura 1 y la Figura 5 una línea sólida indica una unidad o paso requerido, y una línea interrumpida se refiere a una unidad o paso alternativo.

Primero, para discretizar la parte de objetivo de análisis en varios elementos (unidad (paso) de discretización 11), la parte de objetivo de análisis es expresada por datos digitales (datos CAD o bien datos de medición de forma) de una forma tridimensional de la parte como un agregado de áreas de plano bidimensional. En este momento, una porción de esquina de la parte es discretizada por elementos suficientemente pequeños por que cambia de forma de manera importante, asegurando por consiguiente una reproducibilidad de forma. Además, cuando se analiza una fractura de reborde estirado en una porción de borde, es preferible que la discretización de elemento se efectúe de tal manera que la línea periférica externa de la parte sea lisa sin proyección o rebaje. Además, cuando se efectúa la discretización de elementos por el primer elemento y el segundo elemento con tamaños diferentes, toda la parte meta de análisis puede ser uniformemente finamente discretizada (o bien discretizada de manera gruesa), o bien algunas áreas de la parte en el que se efectúa la determinación de fractura pueden ser discretizadas de manera fina o gruesa. Lo primero es conveniente en términos de pasos de operación, y lo último es provechoso para reducir el tiempo de cálculo. Por consiguiente, ambos pueden seleccionarse o combinarse apropiadamente tomando en cuenta la carga global.

Aquí, en la unidad (paso) de discretización 11, se determinan el tamaño del primer elemento y el tamaño del segundo elemento a través de una relación con n valores de la parte meta de análisis.

De acuerdo con la presente invención, cuando se efectúa un análisis con la discretización de elementos por método de elementos finitos, la discretización de elementos debe efectuarse de manera suficientemente fina para reproducir la forma geométrica de una porción meta, específicamente, la curvatura de una porción de borde, el radio de cobertura de una porción de esquina o similares, por ejemplo. Además, de acuerdo con la presente invención, cuando se efectúa un análisis con la discretización de elementos cambiando con dos tipos, el primer elemento y el segundo elemento, y después se toma una diferencia con relación a proporción de reducción de espesor de lámina o distorsión principal máxima entre el primer elemento y el segundo elemento, se debe tomar un cuidado adicional para los dos tamaños de discretización de elementos (gruesa y fina). Los presentes inventores efectuaron estudios dedicados en un método de establecimiento de los tamaños de discretización de elementos gruesos y finos, y encontraron que los tamaños se relacionan con la propiedad de endurecimiento de trabajo de un material. Se encontró se podía obtener una excelente exactitud de predicción de fractura cuando un tamaño promedio "L grueso" (en unidades de mm) de la discretización de elemento grueso y un tamaño promedio "L fino" (en unidades de mm) de la discretización de elemento fino cumplen la relación siguiente, con la propiedad de endurecimiento de trabajo de un material representándose por un valor n que se obtiene generalmente por una prueba de tensión:

$$f(2, n) \leq L \text{ grueso} f(10, n) \quad (1)$$

$$f(0,5, n) \leq L \text{ fino} f(5, n) \quad (2)$$

Aquí, n es el valor n del material, y las expresiones arriba se cumplen cuando $n \geq 0,05$. Cuando $n < 0,05$, un valor de $n = 0,05$ puede utilizarse para obtener L grueso y L fino. Además, una función $f(L^*, n)$ se proporciona de la manera siguiente:

$$f(L^*, n) = L^*(1 - \exp(0,37/n)/3200) \quad (3)$$

En otras palabras, las expresiones arriba (1) a (3) se vuelven:

$$2(1 - \exp(0,37/n)/3200) \leq L \text{ grueso} \leq 10 (1 - \exp(0,37/n)/3200) \quad (4)$$

$$0,5(1 - \exp(0,37/n)/3200) \leq L \text{ fino} \leq 5 (1 - \exp(0,37/n)/3200) \quad (5)$$

Esta función f tiene un valor que se vuelve más grande junto con el valor n . La localización de deformación no ocurre fácilmente cuando el valor n es grande, y por consiguiente la exactitud de predicción de fractura puede asegurarse aun en el caso de discretización de elementos con un valor grande. Por otro lado, la deformación puede ocurrir fácilmente localmente cuando el valor es pequeño. Por consiguiente, el gradiente de deformación de una porción de riesgo de fractura se vuelve grande y la exactitud de predicción de fractura se reduce a menos que se efectúe una discretización de elementos por un tamaño suficientemente pequeño. Por consiguiente, el tamaño de discretización de elemento debe hacerse pequeño, y por consiguiente se efectúa este ajuste.

Aun cuando se anticipó que es mejor efectuar la discretización de elementos por un tamaño pequeño cuando el valor n es bastante pequeño, inferior a 0,05, la discretización de elementos por un tamaño excesivamente pequeño puede provocar el incremento del tiempo de cálculo, y por consiguiente no se prefiere. Por consiguiente, se encontró que aun cuando se utiliza una discretización de elementos gruesos/finos con el valor n siendo 0,05, no hay problema en la práctica en el rango de exactitud de análisis numérico por el método de elementos finitos actual. Por consiguiente, cuando el valor n es 0,05 o menos, la discretización de elementos puede ajustarse con el valor n siendo 0,05. Resultados de simulación cuando se determina el límite superior e inferior de la discretización de elementos gruesos y finos se muestran en la Figura 2, y gráficas características se muestran en la Figura 3 y en la Figura 4.

Cuando se evalúa el gradiente de información con exactitud más elevada, la proporción entre L grueso y L fino, L grueso/ L fino puede ser 1,5 o más, preferentemente 2 o más.

Después, cuando se efectúa un análisis de formación para el método de elementos finitos, como software comercialmente disponible, un software de tipo por incremento, como por ejemplo, PAM-STAMP, LS-DYNA, software de tipo de un paso, como por ejemplo AutoForm, HyperForm, o similares se utiliza para efectuar el análisis de formación de una parte entera, y se calculan la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima de cada uno de los primeros elementos y cada uno de los segundos elementos (unidad (paso) de análisis 12). La proporción de reducción de espesor de lámina y la distorsión principal máxima se calculan como valores de la forma final para efectuar determinación de fractura a partir de historias de incrementos de distorsión plástica utilizados por el método de elementos finitos. Como análisis de formación, la presente invención puede utilizarse para formar procesamiento de expansión de orificio relacionado, formación de reborde, cualquier formación de prensa, por ejemplo, estiramiento o embutición profunda, formación por hidropresión conjuntamente con la

utilización de una presión interna, fuerza axial y presión interna de operación de hidroformación sobre una tubería y similar.

Aquí, una diferencia de la proporción de reducción de espesor de lámina descrita arriba o distorsión principal máxima se calcula como diferencia entre elementos extraídos u otros resultados de análisis que son más cercanos a la posición del elemento de interés con base en los resultados de análisis de la discretización de elementos por el tamaño menor.

Después un elemento con una diferencia de la proporción de reducción de espesor de lámina descrito arriba o distorsión principal máxima que es mayor que un valor predeterminado se extrae como una porción de riesgo de fractura (unidad (paso) de extracción 15).

Aquí, el valor predeterminado mencionado arriba puede ser obtenido como un valor de límite de fractura por un experimento efectuado separadamente, o bien puede obtenerse como un valor correspondiente al tamaño de un elemento combinado después de efectuar un análisis de formación de una parte de forma sencilla.

Específicamente, por ejemplo, cuando un elemento con un lado que tiene 2 mm se utiliza como el primer elemento, y un elemento con un lado que es de 4 mm se utiliza como el segundo elemento, el valor predeterminado cuando la cantidad de deformación es la distorsión principal máxima se encuentra preferentemente dentro de un rango de 0,01 a 0,50. Aquí, un valor inferior a 0,01, es posible que se produzca un fallo de juicio debido a la influencia de errores de análisis numérico o existe el temor que incluso una porción que tiene un gradiente de deformación relativamente pequeño sea reconocida como una porción variable de fractura. Con un valor mayor que 0,50, existe el temor que incluso una porción que tiene un gradiente de deformación relativamente grande no pueda ser reconocida como una porción de riesgo de fractura. Por consiguiente, no es posible identificar una porción de deformación con alta exactitud. Por consiguiente, un valor dentro del rango de 0,01 a 0,50 es preferible.

Preferentemente, en el rango mencionado arriba, un valor dentro de un rango de 0,03 a 0,20 es preferible. Con mayor preferencia, se considera un valor dentro de un rango de 0,05 a 0,10.

Por otro lado, el valor predeterminado cuando la cantidad de deformación es la proporción de reducción de espesor de lámina se encuentra preferentemente dentro de un rango de 0,01 a 0,25. Aquí, cuando el valor es inferior a 0,01, es posible que ocurra un error de juicio debido a la influencia de errores de análisis numérico, o bien existe el temor que hasta una porción que tiene un gradiente de deformación relativamente pequeña sea reconocida como una fracción de riesgo de fractura. Con un valor mayor que 0,25, existe el temor que hasta una porción que tiene un gradiente de deformación relativamente grande no pueda ser reconocida como una porción de riesgo de fractura. Por consiguiente, no es posible identificar una porción de deformación con alta exactitud. Por consiguiente, es preferible un valor dentro de un rango de 0,01 a 0,25.

Preferentemente, en el rango arriba, es preferible un valor dentro de un rango de 0,02 a 0,15. Con mayor preferencia, es preferido un valor dentro del rango de 0,025 a 0,10.

El análisis descrito arriba (unidad (paso) de análisis 12) y extracción (unidad (paso) de extracción 15) pueden ser ejecutadas en el mismo ordenador. Alternativamente, después de efectuar el análisis (unidad (paso) de análisis 12) en un ordenador, la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima de cada uno de dos o más elementos de la discretización de elementos cambia en cuanto a tamaño puesto que los resultados de análisis pueden ser ingresados a otro ordenador (unidad (paso) de entrada 13) para ejecutar la extracción (unidad (paso) de extracción 15).

En la presente invención de acuerdo con 2., como se describe arriba utilizando la Figura 2 a la Figura 4, en la unidad (paso) de discretización 11, un tamaño del primer elemento y un tamaño de un segundo elemento son determinados por una relación con un valor n de la parte de objetivo de análisis.

En la presente invención de acuerdo con 3., en la extracción (unidad (paso) de extracción 15) de una porción de riesgo de fractura, cuando el primer elemento en el que el valor de diferencia es mayor que el valor predeterminado no es extraído, por lo menos el primer elemento entre el primer elemento y el segundo elemento es ajustado para que sea menor y entonces la discretización (unidad (paso) de discretización 11), el cálculo (unidad (paso) de análisis 12) de la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima de cada elemento, y la extracción (unidad (paso) de extracción 15) de una porción de riesgo de fractura fue ejecutada otra vez secuencialmente.

En la presente invención de acuerdo con 4., en la unidad (paso) de discretización 11 de la Figura 1, una porción de borde de la parte de objetivo de análisis es discretizada en varios elementos y después se efectuó un análisis de formación, y en la unidad (paso) de extracción 15, se extrae una de las porciones de borde como porción de riesgo de fractura.

Para dividir la porción de borde de la parte de objetivo de análisis en varios elementos, se efectuó la discretización

de tal manera que el tamaño de discretización de elemento cambie de manera segura particularmente en la porción en el que se efectúa la determinación de fractura. En la porción de borde en el que se efectúa la determinación de fractura, elementos deben estar conectados de manera lisa sin rebaje y/o proyección en el caso de tamaños de discretización tanto de elementos grandes como de elementos pequeños. Además, para efectuar de manera fiable la determinación de fractura en la porción de borde, es importante evaluar un gradiente de deformación a lo largo de la porción de borde, y es deseable que el tamaño de discretización de elemento cambie con seguridad en la dirección a lo largo de la porción de borde (véase Figura 8A y Figura 8B).

Cuando se extrae una de las porciones de borde como porción de riesgo de fractura, de manera similar a la invención de acuerdo con 1., una porción de un elemento en el que una diferencia de la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima de cada elemento predeterminado es mayor que el valor predeterminado se extrae como porción de riesgo de fractura.

En la presente invención, de acuerdo con 5., como se muestra en la Figura 5, una parte de objetivo de análisis es discretizada en varios elementos (unidad (paso) de discretización 21), se efectúa un análisis de formación a través del método de elementos finitos, y se calcula la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima para cada elemento (unidad (paso) de análisis 22). Después, se combinan dos o más elementos adyacentes, se calculan la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima en el elemento combinado (unidad (paso) de cálculo 24), y el elemento en donde una diferencia de la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima antes y después de la combinación es mayor que un valor predeterminado es extraído como una porción de riesgo de fractura (unidad (paso) de extracción 25).

Aquí, la unidad de discretización 21, la unidad de análisis 22, la unidad de cálculo 24 y la unidad de extracción 25 se realizan como funciones de un sistema de procesamiento central (CPU) del ordenador, por ejemplo.

Primero, para discretizar la parte de objetivo de análisis en varios segmentos (unidad (paso) de discretización 21), la parte de objetivo de análisis es expresada por datos digitales (datos CAD o datos de medición de forma) de una forma tridimensional de la parte como un agregado de regiones planas bidimensionales. En este momento, una porción de esquina de la parte es discretizada por elementos suficientemente pequeños, puesto que cambia de forma de manera importante, para asegurar de esta manera una reproducibilidad de forma. Además, cuando se analiza una fractura de reborde estirado en una porción de borde, es preferible que la discretización de elementos se efectúe de tal manera que la línea periférica externa de la parte sea lisa sin proyección ni rebaje.

Después, se utilizó el mismo tipo de software que para el análisis de la Figura 1 (unidad (paso) de análisis 12) para efectuar el mismo análisis de formación que en la invención de 1., y el análisis de formación de la parte entera es efectuada con el objeto de calcular la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima de cada elemento de interés (unidad (paso) de análisis 22). El cálculo de la proporción de reducción de espesor de lámina y la distorsión principal máxima es igual que en el análisis de la Figura 1 (unidad (paso) de análisis 12).

Después, para combinar dos o más elementos adyacentes, se requiere de un valor calculado en cada elemento como meta de combinación e información de la posición (coordenadas) de cada elemento. El valor calculado del elemento después de la combinación (proporción de reducción de espesor de lámina o distorsión principal máxima) es la media aritmética de valores calculados de los elementos respectivos. La posición del elemento después de la combinación es el promedio aritmético de las posiciones de los elementos respectivos o más simplemente en la posición del elemento central puede heredarse sin modificación.

Después, con los elementos en las posiciones más cercanas entre ellas cuando se compara antes y después de la combinación extraídos respectivamente, se calcula una diferencia de la proporción de reducción de espesor de lámina antes y después de la combinación de los elementos como una diferencia entre las proporciones de reducción de espesor de lámina de estos elementos extraídos. Asimismo, con relación a la distorsión principal máxima, una diferencia se calcula entre elementos en posiciones más cercanas entre ellas antes y después de la combinación.

Después, un elemento que tiene una diferencia de la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima mayor que un valor predeterminado antes y después de la combinación descrita arriba de elementos es extraído como una porción de riesgo de fractura (unidad (paso) de extracción 25). El método para obtener el valor predeterminado es el mismo que la extracción de la Figura 1 (unidad (paso) de extracción 15).

El análisis descrito arriba (unidad (paso) de análisis 22) y el cálculo (unidad (paso) de cálculo 24) pueden ejecutarse sucesivamente en el mismo ordenador. Alternativamente, después de ejecutar el análisis (unidad (paso) de análisis 22) en un ordenador, la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima de cada elemento como resultado de análisis de esto puede ser ingresado a otro ordenador (unidad (paso) de ingreso 23), con el objeto de ejecutar el cálculo (unidad (paso) de cálculo 24) y la extracción (unidad (paso) de extracción 25).

La presente invención de acuerdo con 6. es similar a la presente invención de acuerdo con 4., en el que la estructura de la presente invención de acuerdo con 4. se aplica a la presente invención con 5.

La presente invención de acuerdo con 7. es una invención de un dispositivo de procesamiento que corresponde a la invención del método de predicción de fractura de acuerdo con 1., en el que los pasos en la Figura 1 pueden ser reemplazados por unidades.

Como la unidad de análisis 12, se puede instalar y utilizar el mismo software que el software comercialmente disponible explicado en la invención de acuerdo con 1.

Este dispositivo tiene una unidad de entrada 13 que ingresa la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima obtenida para cada elemento discretizado a otro ordenador. Como la unidad de entrada, se puede utilizar un teclado, un ratón, varios tipos de digitalizadores o similares.

Aquí, la unidad de entrada 13 y la unidad de extracción 15 pueden estar en una estructura de dispositivo separada de la unidad de discretización 11 y de la unidad de análisis 12. En este caso, mediante la entrada de un resultado a partir de un análisis de formación efectuado en un ordenador a otro ordenador como datos originales, el procesamiento puede efectuarse en paralelo, y por consiguiente se puede obtener un efecto de eficiencia mejorada.

La presente invención de acuerdo con 8. es una invención de un dispositivo de procesamiento que corresponde a la invención del método de predicción de fractura de acuerdo con 2., en el que los pasos en la Figura 1 pueden ser reemplazados por unidades.

La invención de acuerdo con 9. es una invención de un dispositivo de procesamiento que corresponde a la invención del método de predicción de fractura de acuerdo con 5., en el que los pasos de la Figura 5 pueden ser reemplazados con unidades.

Aquí, la unidad de entrada 23, la unidad de cálculo 24 y la unidad de extracción 25 pueden encontrarse en la estructura de dispositivo separada de la unidad de discretización 21 y la unidad de análisis 22. En este caso, mediante la entrada de un resultado a partir del análisis de formación efectuado en un ordenador a otro ordenador como datos originales, el procesamiento puede efectuarse en paralelo, y por consiguiente se puede obtener un efecto de eficiencia mejorada.

La invención de acuerdo con 10. es una invención de un producto de programa de ordenador que corresponde al método de predicción de fractura de acuerdo con 1., que es un producto de programa de ordenador para implementar los pasos respectivos en la Figura 1.

El paso de entrada 13 puede ser un paso de ingresar con un teclado, o bien puede ser un paso de ingresar (datos de lectura) en la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima calculada en el paso de análisis 12 automáticamente al paso de extracción 15 en el producto de programa.

La presente invención de acuerdo con 11. es una invención de un producto de programa de ordenador que corresponde al método de predicción de fractura de acuerdo con 2., y es un producto de programa de ordenador para implementar los pasos respectivos en la figura 1.

La presente invención de acuerdo con 12. es una invención de un producto de programa de ordenador que corresponde al método de predicción de fractura de acuerdo con 3., y es un producto de programa de ordenador para implementar los pasos respectivos en la Figura 1.

La presente invención de acuerdo con 13. es una invención de un producto de programa de ordenador que corresponde al método de predicción de fractura de acuerdo con 4., y es un producto de programa de ordenador para implementar los pasos respectivos en la Figura 1.

La presente invención de acuerdo con 14. es una invención de producto de programa de ordenador de acuerdo con el método de predicción de fractura de acuerdo con 5., y es un producto de programa de ordenador para implementar los pasos respectivos en la Figura 5.

El paso de entrada 23 puede ser un paso de ingresar con un teclado, o bien puede ser un paso de ingresar (datos de lectura) la proporción de reducción de espesor de lámina o la distorsión principal máxima calculada en el paso de análisis 22 automáticamente al paso de extracción 24 en el producto de programa.

La presente invención de acuerdo con 15. es una invención de producto de programa de ordenador que corresponde al método de predicción de fractura de acuerdo con 6., y es un producto de programa de ordenador para implementar los pasos respectivos en la Figura 5.

La invención de acuerdo con 16. es un soporte de registro legible en ordenador caracterizado por el registro de un producto de programa de ordenador de acuerdo con cualquiera de 10. a 15. descritas arriba, específicamente un disco flexible, un CD-ROM, o similares.

[Ejemplo 1]

La presente invención se explicará abajo a través de ejemplos reales. Un experimento de formación fue efectuado de tal manera que una forma de lámina de material de una prueba de expansión de orificio por un punzón cilíndrico normalmente efectuado se divide y se imita a la formación de reborde. Específicamente, una lámina de material de 180 mm cuadrada con un orificio (diámetro: 60 mm, o 40 mm, 20 mm) en el centro fue cortada a 1/4 como se muestra en la Figura 6, y como se muestra en las Figuras 7A a 7C, una lámina a procesar 4 fue mantenida en una matriz 106φ 1 con un resalte R de 5 mm por un sujetador de pieza no terminada 2, y después la formación fue efectuada utilizando un punzón 3 de fondo plano cilíndrico 100φ con un resalte R de 10 mm. En este momento, la altura de reborde 5 es de aproximadamente 20 mm para un diámetro de orificio de 60 mm, aproximadamente 30 mm para un diámetro de orificio de 40 mm, y aproximadamente 40 mm para un diámetro de orificio de 20 mm. Como material, se utilizó un acero laminado en frío de clase 440 MPa que tiene un espesor de lámina de 1,6 mm. La formación fue efectuada con un grupo de 4 láminas en el experimento. Por consiguiente, como se muestra de manera resumida en la Tabla 1, se generó una fractura en la porción central en el caso de un orificio de 60 mm, pero no se generó fractura y la formación de reborde fue posible en el caso de orificios de orificios de diámetro de 40 mm y 20 mm.

Se efectuó un análisis de método de elementos finitos que simula este resultado experimental. Se repararon láminas de material discretizadas en elementos por dos tipos de tamaños de área cada elemento discretizado en una forma de malla), aproximadamente 2 mm (Figura 8A) y aproximadamente 4 mm (Figura 8B). Utilizando datos de forma creados por CAD, se efectuó la discretización automáticamente por un ordenador con el número de elementos discretizados de una porción circunferencial especificándose.

Otras condiciones de análisis fueron las mismas para ambos tipos. El análisis de formación fue efectuado con PAM-STAMP. La distorsión principal máxima después de formación y el valor del espesor de lámina fueron extraídos para cada elemento discretizado de los datos analizados enteros, y se calculó la proporción de reducción de espesor de lámina a partir del espesor de lámina después de formación como (espesor de lámina inicial - espesor de lámina después de formación)/(espesor de lámina inicial). El valor obtenido fue producido con la información de posición de cada elemento en la porción circunferencial y fue ingresado a un ordenador para análisis de datos.

La Figura 9 es una gráfica característica que muestra datos de la distorsión principal máxima ingresados al ordenador para análisis de datos con relación a los casos de tamaño de elementos pequeños (aproximadamente 2 mm) y tamaño de elemento grande (aproximadamente 4 mm), respectivamente. Como se muestra aquí, se encontró que, en el caso de tamaño de elementos pequeños, el valor más grande de la distorsión principal máxima es grande y la distribución es empinada. Esto puede concebirse en el sentido que indica que se genera un gran gradiente de deformación en la porción central de la circunferencia en esta condición. Primero se obtuvo la posición de un elemento para que tenga el valor más grande de la distorsión principal máxima en el caso de elemento de tamaño pequeño y su valor absoluto. Después, en el ordenador para análisis de datos, una posición más cercana al elemento que toma el valor más grande en el caso de elemento de tamaño pequeño se encontró en resultados calculados del tamaño de elemento grande, y se obtuvo el valor absoluto de la distorsión principal máxima del mismo. Finalmente, se calculó en el ordenador la diferencia entre los dos valores absolutos. Dicha operación es equivalente a tomar la diferencia entre valores pico de resultados de tamaños grande y pequeño de elementos en la Figura 9.

Los resultados se muestran en la Tabla 1. Además, la diferencia de proporciones de reducción de espesor de lámina obtenida de manera similar se muestra en la misma tabla, mientras que diferencia en el caso del diámetro de orificio de 60 mm son grandes, las diferencias se vuelven menores conforme los diámetros de orificio se vuelven más pequeños. Una gran diferencia indica que un gradiente de deformación es grande, y corresponde a la generación de una fractura con el diámetro de 60 mm en el experimento. En este ejemplo, una porción de fractura es una deformación de reborde estirado y se encuentra en un estado de tensión uniaxial, y la proporción de reducción de espesor de lámina en el paso de un material isotrópico es de aproximadamente 1/2 de la distorsión principal máxima. Por consiguiente, se puede utilizar cualquiera como valor de determinación de análisis, pero es deseable utilizar la distorsión principal máxima que tiene un gran valor absoluto para aclarar la diferencia. En este ejemplo, el valor absoluto de una diferencia de un valor de análisis, como el valor predeterminado para la determinación como porción de riesgo de fractura es difícil de encontrar por que cambia según el tamaño de elemento utilizado, pero en el rango de consideración es concebible utilizar aproximadamente 0,05 para la distorsión principal máxima y aproximadamente 0,025 para la proporción de reducción de espesor de lámina.

Aquí, se muestra por un punto A en la Figura 8A la porción de predicción de fractura determinada en esta realización.

[Tabla 1]

DIÁMETRO DEL ORIFICIO (mm)	RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE FORMACIÓN	DIFERENCIA DEL VALOR DE ANÁLISIS ENTRE EL ELEMENTO GRANDE Y EL ELEMENTO PEQUEÑO		DETERMINACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS	CORRESPONDENCIA ENTRE EXPERIMENTO Y ANÁLISIS
		DEFORMACIÓN PRINCIPAL MÁXIMA	TASA DE REDUCCIÓN DEL ESPESOR DE LA LÁMINA		
60	N.G.: CON GRIETAS EN EL CENTRO	0,074	0,039	N.G.	BUENA
40	O.K.: FORMACIÓN POSIBLE	0,029	0,017	O.K.	BUENA
20	O.K.: FORMACIÓN POSIBLE	0,012	0,017	O.K.	BUENA

[Ejemplo 2]

5 Dos o más elementos adyacentes fueron combinados utilizando los resultados de análisis con el diámetro de orificio de 60 mm y el tamaño de elemento pequeño (aproximadamente 2 mm) en el Ejemplo 1, un gradiente de deformación fue evaluado comparando la diferencia antes y después de la combinación. Por consiguiente, se examinó si era posible o no determinar la fractura.

10 La discretización de elementos y análisis de formación fueron efectuados de manera similar al caso del tamaño de elemento pequeño en el Ejemplo 1 (Figura 8A).

15 Valores de análisis de los elementos (particularmente alrededor de la cercanía de los elementos en el que los valores de análisis alcanzan un pico) fueron producidos de antemano a partir de resultados de análisis de formación junto con información de posición. Los datos fueron ingresados al ordenador para análisis de datos, la media aritmética de los valores de análisis fue calculada para cada 2 a 5 elementos adyacentes combinados seleccionados esta vez, y se calculó la diferencia con el valor máximo de valores de análisis del análisis inicial.

20 La diferencia entre el valor máximo obtenido a partir de una distribución de deformaciones principales máximas cuando los dos elementos adyacentes fueron promediados y el valor máximo antes de la realización del promedio fue de 0,007, la diferencia con relación al valor promedio de tres elementos fue de 0,02, la diferencia con relación a un valor promedio de cuatro elementos fue de 0,035, y la diferencia con relación al valor promedio de cinco elementos fue de 0,040. Los valores fueron pequeños en comparación con los valores calculados con el tamaño de elemento cambiado de hecho como se muestra en el Ejemplo 1, pero que se encontró que la extracción del tamaño de un gradiente de deformación, específicamente una porción de riesgo de fractura es posible tomando la diferencia entre un valor de análisis calculado con un elemento combinado a partir de varios elementos adyacentes y un valor de análisis antes de combinación. En este momento, se determina aproximadamente el número de elementos que deben combinarse por una proporción entre el tamaño de gradiente de deformación y el tamaño de elemento después de la combinación, pero es preferible tomar varios números de elementos a combinar y revisar la dependencia de la diferencia de los valores de análisis. En este ejemplo, se encontró que cuando se toman diferencias entre el valor promedio a partir de la combinación de cuatro elementos antes de la combinación, una determinación de fractura es posible estableciendo aproximadamente 0,03 o más de distorsión principal máxima como valor predeterminado en el que ocurre una fractura.

35 [Ejemplo 3]

Se examinó si la predicción de fractura de materiales que tienen varias resistencias es posible o no en la condición de prueba del diámetro de orificio de 40 mm en el Ejemplo 1. Los materiales utilizados están dentro de un rango que incluye desde acero dulce hasta una lámina de acero de clase 980 MPa que se muestra en la Tabla 2. Se utilizaron láminas de un espesor de 1,6 mm.

40 Como resultado de efectuar un experimento, ocurrió una grieta de reborde estirado en el centro de la porción en la cual se iba a formar el reborde en la lámina de acero de clase 980 MPa. El análisis fue efectuado con dos tipos de tamaño de elemento. Aproximadamente 2 mm y aproximadamente 4 mm. Como se muestra en la Figura 8A y Figura 8B, porciones de borde están conectadas de manera lisa sin rebaja ni proyección, y para ser cuidadoso con relación al marcado del cambio de tamaño de elemento de manera segura a lo largo de la superficie de borde, se efectuó automáticamente una discretización de porciones de borde a través de un ordenador con el número de discretizaciones en la parte circunferencial especificándose. Un análisis de formación de cálculo de la distorsión

principal máxima y proporción de reducción de espesor de lámina en cada elemento se efectuaron de manera similar al Ejemplo 1.

- 5 La diferencia de valores máximos de la distorsión principal máxima, y proporción de reducción de espesor de lámina después de la formación de reborde en las condiciones respectivas fueron calculadas, con resultados de análisis de formación produciéndose, a través del ordenador para análisis de datos de manera similar al Ejemplo 1. Los resultados se muestran en la Tabla 2. Se puede observar que las diferencias se vuelven mayores conforme la resistencia del material se vuelve más elevada, y los gradientes de deformación en la porción concentrada de deformación son grandes. De manera similar al Ejemplo 1, cuando se determina como fractura una diferencia de
- 10 0,05 o más de la distorsión principal máxima, se encontró que una fractura era determinada con la lámina de acero de clase 980 MPa, y esto coincide con los resultados experimentales.

[Tabla 2]

MATERIAL				RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE FORMACIÓN	DIFERENCIA DEL VALOR DE ANÁLISIS ENTRE ELEMENTO GRANDE Y ELEMENTO PEQUEÑO		DETERMINACIÓN POR ANÁLISIS	CORRESPONDENCIA ENTRE EXPERIMENTO Y ANÁLISIS
TIPO DE ACERO	RESISTENCIA ELÁSTICA (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	ELONGACIÓN (%)		DISTORSIÓN PRINCIPAL MÁXIMA	TASA REDUCCIÓN ESPESOR PLACA		
ACERO DULCE	190	326	43	O.K.: POSIBLE FORMACIÓN	0,018	0,008	O.K.	BUENA
CLASE 440 MPa	295	449	36	O.K.: POSIBLE FORMACIÓN	0,029	0,017	O.K.	BUENA
CLASE 590 MPa	340	612	33	O.K.: POSIBLE FORMACIÓN	0,035	0,021	O.K.	BUENA
CLASE 980 MPa	752	1034	15	N.G.: AGRIETADO EN EL CENTRO	0,068	0,031	N.G.	BUENA

(Otras realizaciones de aplicación de la presente invención)

El método de predicción de fractura en la realización descrita arriba (paso de discretización 11 a paso de extracción 15 de la Figura 1, paso de discretización 21 a paso de extracción 25 de la Figura 25, etc.) puede realizarse mediante la operación de un producto de programa almacenado en una memoria RAM, ROM o similar de un ordenador. Este producto de programa y un soporte de registro legible en ordenador en donde se graba este producto de programa están incluidos en la presente invención.

Específicamente, el producto de programa se proporciona a un ordenador mediante registro en el soporte de registro como por ejemplo CD-ROM o a través de varios tipos de medios de transmisión, por ejemplo. Conforme el soporte de registro graba el producto de programa, se puede utilizar un disco flexible, disco duro, cinta magnética, disco magnetoóptico, tarjeta de memoria no volátil, o similar diferente del CD-ROM. Por otro lado, como medio de transmisión de producto de programa, es posible utilizar un medio de comunicación en un sistema de red de ordenador para propagar la información de programa como ondas portadoras para suministro. Aquí, la red de ordenadores es una red LAN, WAN, como por ejemplo Internet, una red de comunicación de radio, o similar, y el medio de comunicación es una línea alámbrica de fibra óptica o similar, una línea inalámbrica o similar.

Además, el producto de programa incluido en la presente invención no es solamente de un tipo en el que las funciones de la realización descrita arriba se realizan mediante un ordenador que ejecuta un producto de programa suministrado. Por ejemplo, cuando el producto de programa coopera con la operación del OS (Sistema Operativo) en un ordenador, otro software de aplicación, o similar, para realizar las funciones de la realización descrita arriba, como, por ejemplo, un producto de programa está incluido en la presente invención. Además, cuando la totalidad o una parte del procesamiento del producto de programa suministrado se efectúa a través de una tarjeta de expansión de funciones o una unidad de expansión de funciones de un ordenador para realizar las funciones de la realización descrita arriba, dicho producto de programa es incluido en la presente invención.

Por ejemplo, la Figura 10 es un diagrama esquemático que muestra una estructura interna de un dispositivo de terminal de usuario personal. En esta Figura 10, 1200 indica un ordenador personal que incluye una unidad central de procesamiento 1201. El ordenador personal 1200 ejecuta un software de control de dispositivo almacenado en una ROM 1202 o en un disco duro (HD) 1211 o bien suministrado a través de una unidad de disco flexible (FD) 1212. Este ordenador personal 1200 controla las operaciones globales de dispositivos conectados a un bus de sistema 1204.

A través del programa almacenado en la unidad central de procesamiento 1201, la ROM 1202 en el disco duro (HD) 1211 del ordenador personal 1200, procedimientos de paso de discretización 11 hasta el paso de extracción 15 de la Figura 1, y paso de discretización 21 hasta paso de extracción 25 de la Figura 5, o similar de esta realización se realizan.

1203 indica una RAM, y funciones tales como memoria principal, área de trabajo, o similar, para la unidad central de procesamiento 1201. 1205 indica un controlador de teclado (KBC) y controla instrucciones ingresadas a partir de un teclado (KB) 1209, un dispositivo no ilustrado, o similar.

1206 indica un controlador de CRT (CRTC), y controla una pantalla en una pantalla CRT (CRT) 1210. 1207 se refiere a un controlador de disco (DKC). El controlador de disco 1207 controla el acceso al disco duro (HD) 1211 almacenando un programa de arranque, varias aplicaciones, un archivo de edición, un archivo de usuario, así como un programa de administración de red, etc., y a un disco flexible (FD) 1212. Aquí, el programa de arranque se refiere a un programa de arranque, un programa que inicia una ejecución (operación) de hardware y/o software en un ordenador personal.

1208 se refiere a una tarjeta de interfaz de red (NIC) y efectúa un intercambio bidireccional de datos con una impresora de red, otro dispositivo de red, u otro ordenador personal a través de la LAN 1220.

Aplicación Industrial

Mediante la realización de predicción de fractura de una parte a procesar con base en la presente invención, se puede reducir la dependencia de la selección de condiciones de análisis y se puede extraer de manera sencilla y fiable una porción de riesgo de fractura. Por consiguiente, los costos necesarios para el desarrollo pueden ser reducidos, y se puede lograr una reducción de peso mediante la aplicación del material que tiene una mayor resistencia a una parte a procesar.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por ordenador para predecir una fractura en una parte de objetivo de análisis en un proceso de formación, que comprende:

un primer paso de discretizar una parte de objetivo de análisis mediante una primera malla de elementos finitos y una segunda malla de elementos finitos, donde el tamaño del elemento de la segunda malla de elementos finitos es mayor que el de la primera malla de elementos finitos respectivamente, y realizar un análisis de formación utilizando un método de elementos finitos;

un segundo paso de calcular valores promediados de distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina para cada una de las mallas de elementos finitos; y

un tercer paso de extraer una porción de riesgo de fractura a partir de la parte de objetivo de análisis discretizada por la primera malla de elementos finitos, donde la diferencia de los valores promediados calculados de la distorsión principal máxima o proporción de reducción de espesor de lámina entre valores promediados calculados correspondientes de elementos de la primera malla de elementos finitos y elementos de la segunda malla de elementos finitos es mayor que un valor predeterminado en una posición correspondiente a una misma ubicación en la parte de objetivo de análisis.

2. El método de predicción de fractura de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, en dicho primer paso, un tamaño de la primera malla de elementos finitos y un tamaño de segunda malla de elementos finitos se determinan por una relación con un valor de la parte de objetivo de análisis.

3. El método de predicción de fractura de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, en dicho tercer paso, cuando una porción de riesgo de fractura donde la diferencia es mayor que el valor predeterminado no es extraída, por lo menos la primera malla de elementos finitos fuera de la primera malla de elementos finitos y la segunda malla de elementos finitos se establece para que sea de menor tamaño, y el primer paso, el segundo paso y el tercer paso se ejecutan otra vez secuencialmente.

4. El método de predicción de fractura de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, en dicho primer paso, una porción de borde de la parte de objetivo de análisis es discretizada por la primera malla de elementos finitos y la segunda malla de elementos finitos, respectivamente, y después se efectúa un análisis de formación.

5. Un dispositivo de procesamiento utilizado para un método de predicción de fractura de una parte de objetivo de análisis que, en un proceso de formación, que comprende:

una primera unidad que discretiza una parte porción de una parte de objetivo de análisis por una primera malla de elementos finitos y una segunda malla de elementos finitos, donde el tamaño de elemento de la segunda malla de elementos finitos es mayor que el de la primera malla de elementos finitos, respectivamente, y que efectúa un análisis de formación utilizando un método de elementos finitos;

una segunda unidad que calcula valores promediados de distorsión principal máxima o una proporción de reducción de espesor de lámina para cada una de las mallas de elementos finitos; y

una tercera unidad que extrae una porción de riesgo de fractura a partir de la parte de objetivo de análisis discretizada por la primera malla de elementos finitos, donde la diferencia de los valores promediados calculados de la distorsión principal máxima o la proporción de reducción de espesor de lámina entre los valores promediados calculados correspondiente en la primera malla de elementos finitos y los elementos de la segunda malla de elementos finitos es mayor que un valor predeterminado en una posición que corresponde a una misma ubicación en la parte de objetivo de análisis.

6. El dispositivo de procesamiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la primera unidad determina un tamaño de una primera malla de elementos finitos y un tamaño de la segunda malla de elementos finitos a través de una relación con un valor de la parte de objetivo de análisis.

7. Un producto de programa que hace que un ordenador ejecute un método de acuerdo con la reivindicación 1.

8. El producto de programa de acuerdo con la reivindicación 7, en el que, en dicho primer paso, un tamaño de la primera malla de elementos finitos y un tamaño de la segunda malla de elementos finitos se determinan por una relación con un valor de la parte de objetivo de análisis.

9. El producto de programa de acuerdo con la reivindicación 7, en el que, en dicho tercer paso, cuando una porción de riesgo de fractura donde la diferencia es mayor que el valor predeterminado no es extraída, por lo menos la primera malla de elementos finitos entre la primera malla de elementos finitos y la segunda malla de elementos finitos es establecida a un menor tamaño, y el primer paso, el segundo paso, y el tercer paso son ejecutados otra vez secuencialmente.

10. El producto de programa de acuerdo con la reivindicación 7,

en el que, en dicho primer paso, una porción de borde de la parte de objetivo de análisis es discretizada por la primera malla de elementos finitos y la segunda malla de elementos finitos respectivamente, y después se efectúa el análisis de formación.

- 5 11. Un soporte de registro legible por ordenador en el que se registra un producto de programa para hacer que un ordenador ejecute un método de acuerdo con la reivindicación 1.
- 10 12. El soporte de registro legible por ordenador de acuerdo con la reivindicación 11, en el que, en dicho primer paso, un tamaño de la primera malla de elementos finitos y un tamaño de la segunda malla de elementos finitos son determinados por una relación con un valor de la parte de objetivo de análisis.
- 15 13. El soporte de registro legible por ordenador de acuerdo con la reivindicación 11, en el que, en dicho tercer paso, cuando una porción de riesgo de fractura donde la diferencia es mayor que el valor predeterminado no es extraída, por lo menos la primera malla de elementos finitos entre la primera malla de elementos finitos y la segunda malla de elementos finitos se establece de un menor tamaño, y el primer paso, el segundo paso, y el tercer paso son ejecutados otra vez secuencialmente.
- 20 14. El soporte de registro legible por ordenador de acuerdo con la reivindicación 11, en el que, en dicho primer paso, una porción de borde de la parte de objetivo de análisis es discretizada por la primera malla de elementos finitos y la segunda malla de elementos finitos respectivamente, y después se efectúa el análisis de formación.

Figura 1

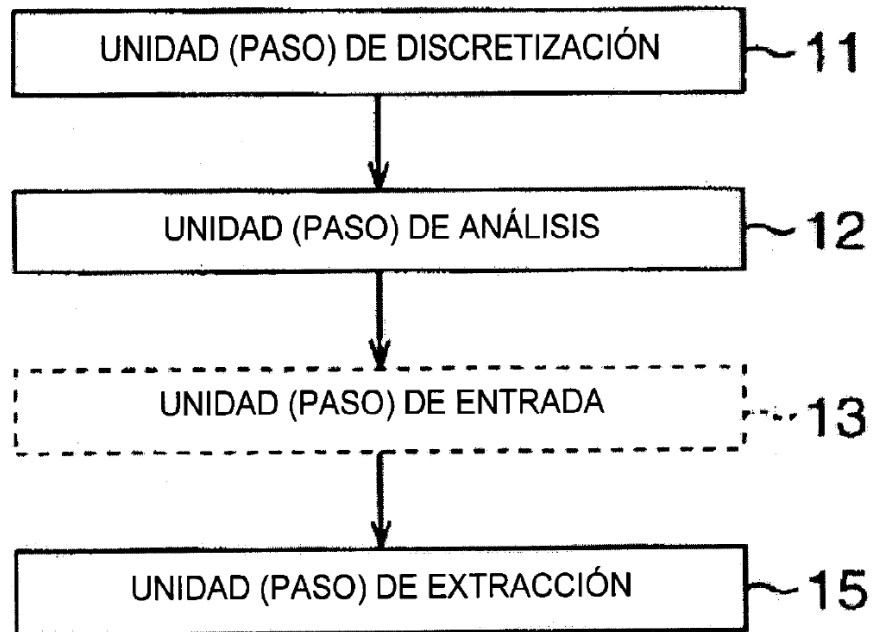


Figura 2

PARÁMETRO DE CONTROL (L ⁻¹)		10	2	5	0.5
1/n	n	LÍMITE SUPERIOR DE DISCRETIZACIÓN DE ÁREA GRUESA (mm)	LÍMITE SUPERIOR DE DISCRETIZACIÓN DE ÁREA GRUESA (mm)	LÍMITE SUPERIOR DE DISCRETIZACIÓN DE ÁREA FINA (mm)	LÍMITE SUPERIOR DE DISCRETIZACIÓN DE ÁREA FINA (mm)
1	1	9.95475829	1.99095166	4.997737915	0.499773791
2	2	9.993450202	1.99869004	4.996725101	0.49967251
3	3	9.99051763	1.998103526	4.995258815	0.499525882
4	4	9.986272045	1.997254409	4.993136022	0.499313602
5	5	9.980125564	1.996025113	4.990062782	0.499006278
6	6	9.971227091	1.994245418	4.985613546	0.488561355
7	7	9.958344464	1.991668893	4.979172232	0.497917223
8	8	9.939693838	1.987938768	4.969846919	0.486984692
9	9	9.912692882	1.982538536	4.956346341	0.485634634
10	10	9.873602174	1.974720435	4.936801087	0.483680109
11	11	9.817009492	1.963401888	4.908504746	0.480850475
12	12	9.735078307	1.947015661	4.867539154	0.485753915
13	13	9.616463895	1.923292739	4.808231848	0.480823185
14	14	9.444741216	1.889948243	4.722370608	0.472237061
15	15	9.196132638	1.839226528	4.598066319	0.459806632
16	16	8.836213394	1.767242679	4.418106697	0.44181067
17	17	8.315145847	1.663029169	4.157572923	0.415757292
18	18	7.560778321	1.512155664	3.780389161	0.378038916
19	19	6.468654343	1.293730889	3.234327172	0.323432717
20	20	4.887548656	0.977509731	2.443774328	0.244377433

Figura 3

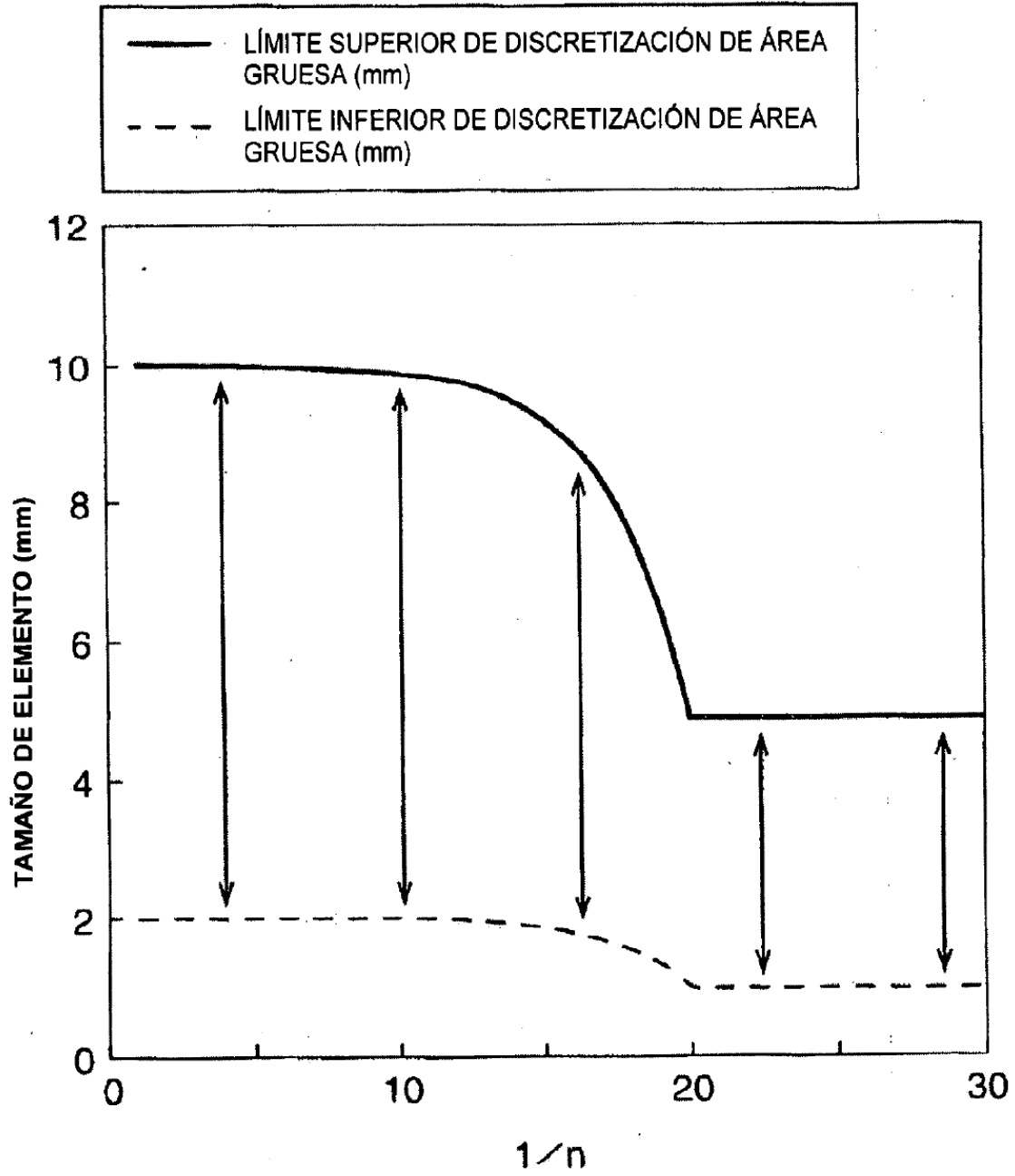


Figura 4

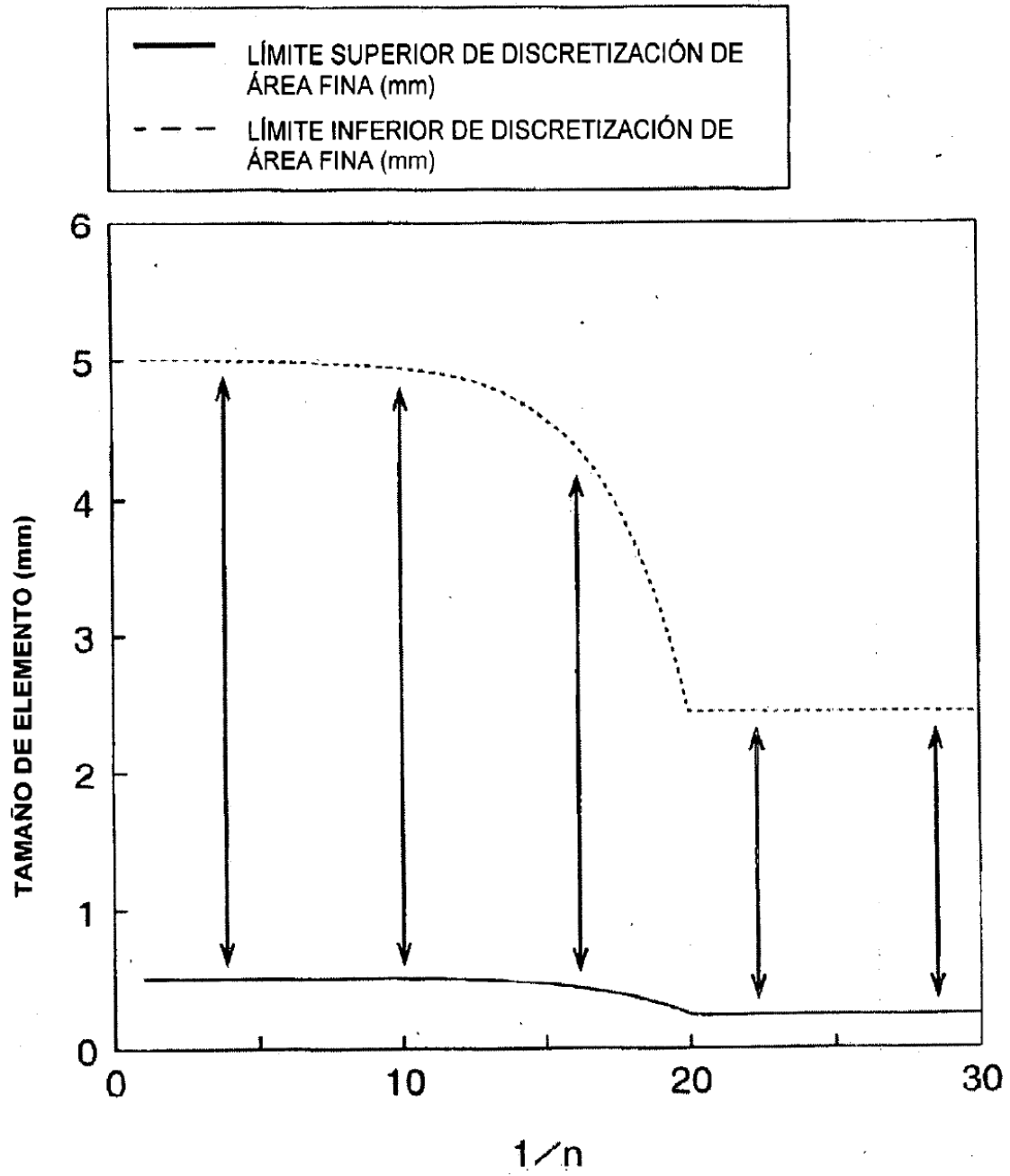


Figura 5

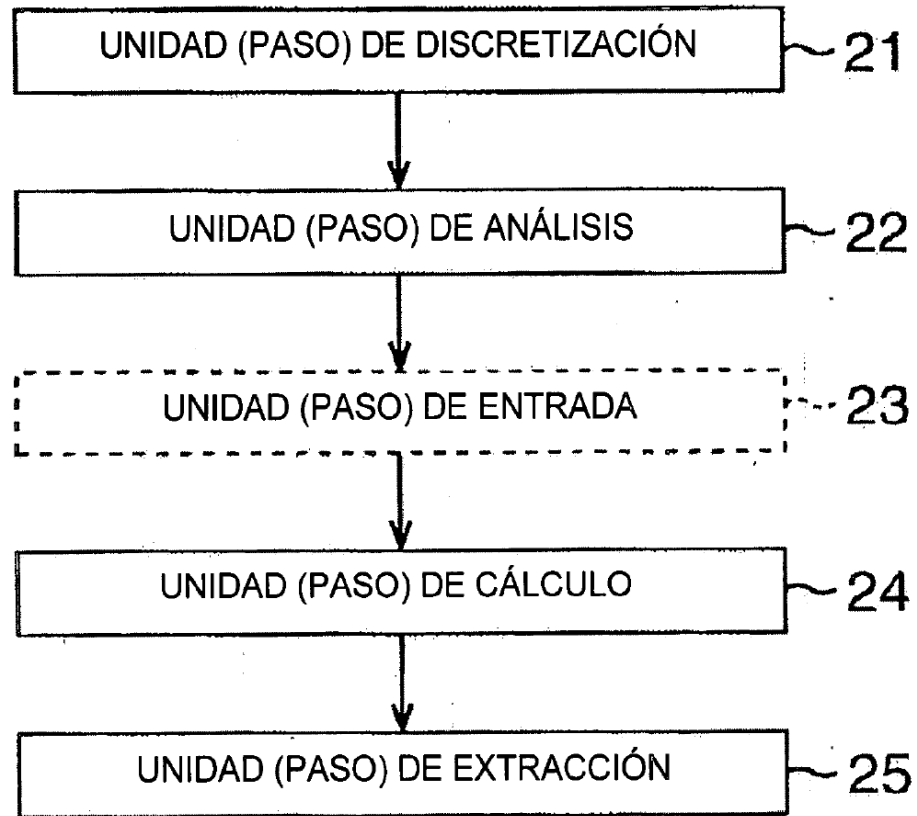


Figura 6

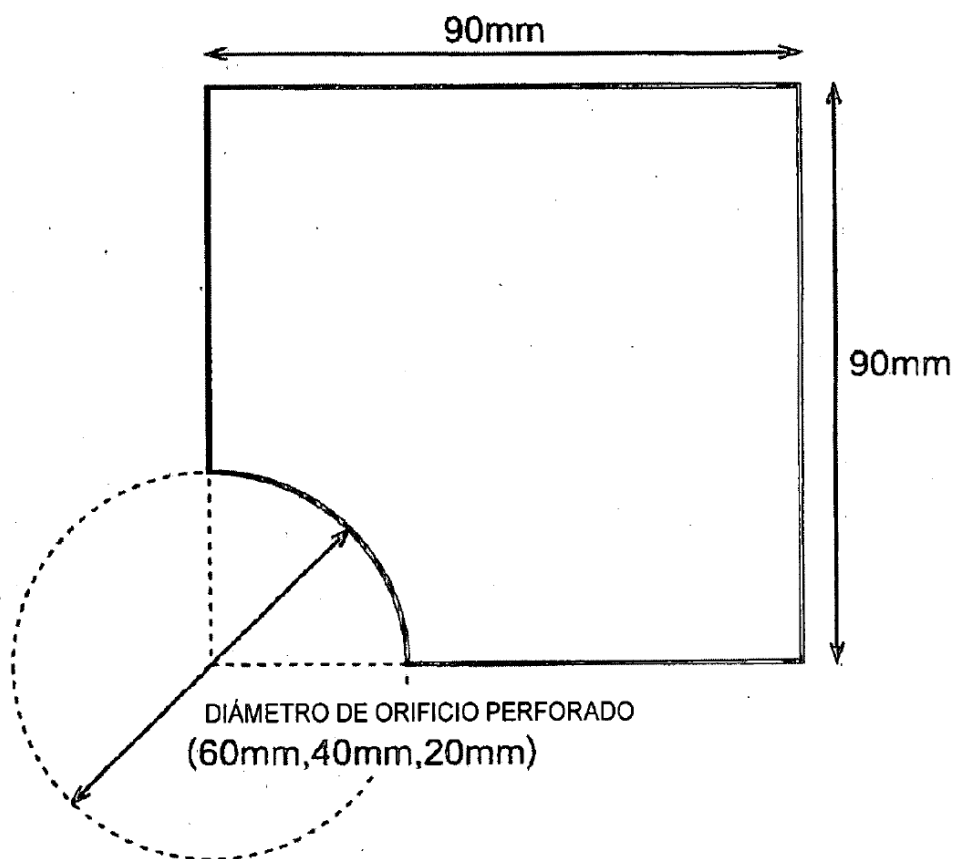


Figura 7A

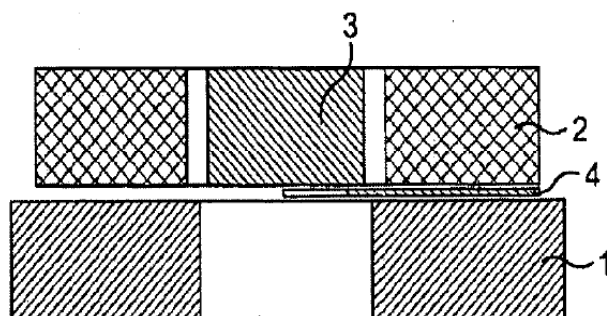


Figura 7B

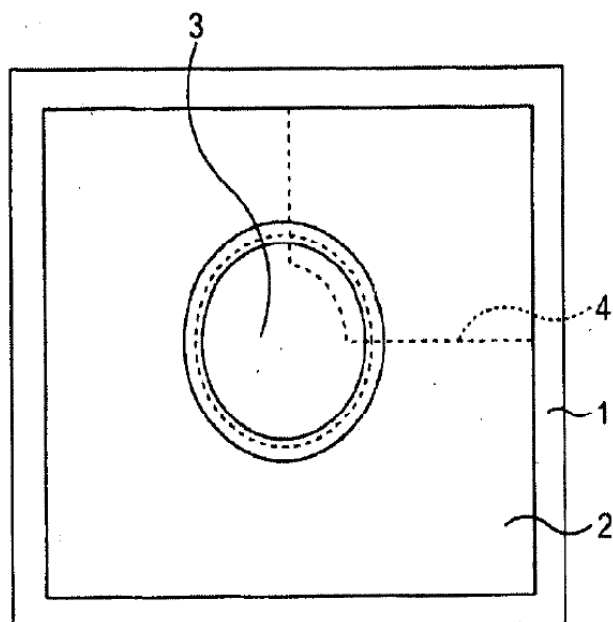


Figura 7C

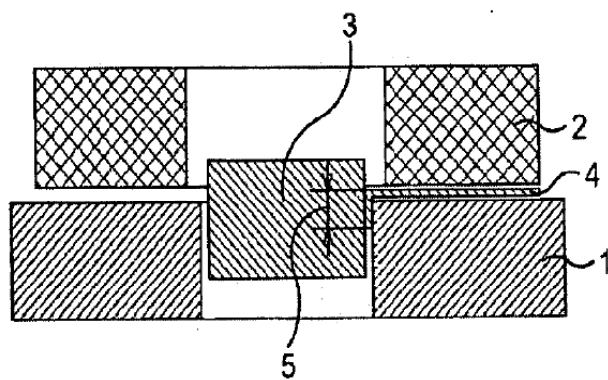


Figura 8A

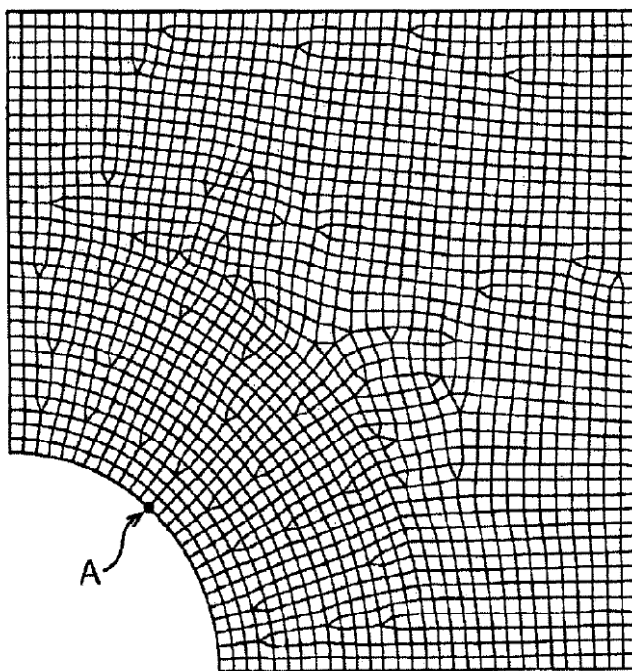


Figura 8B

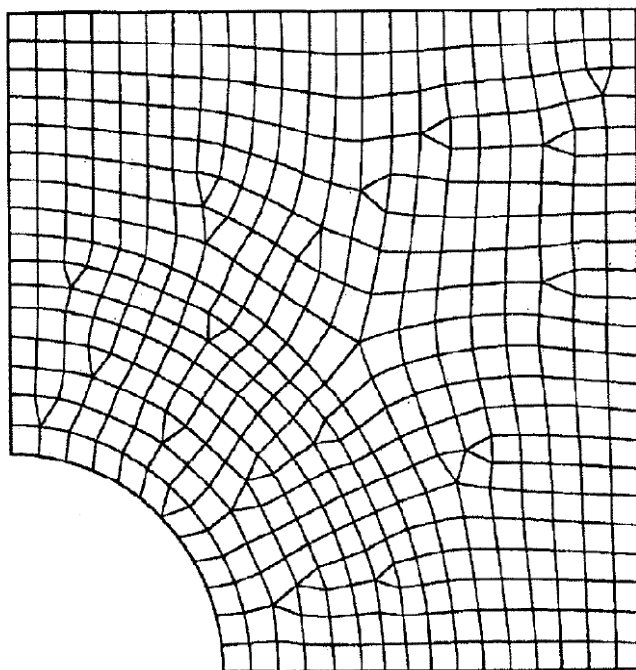


Figura 9

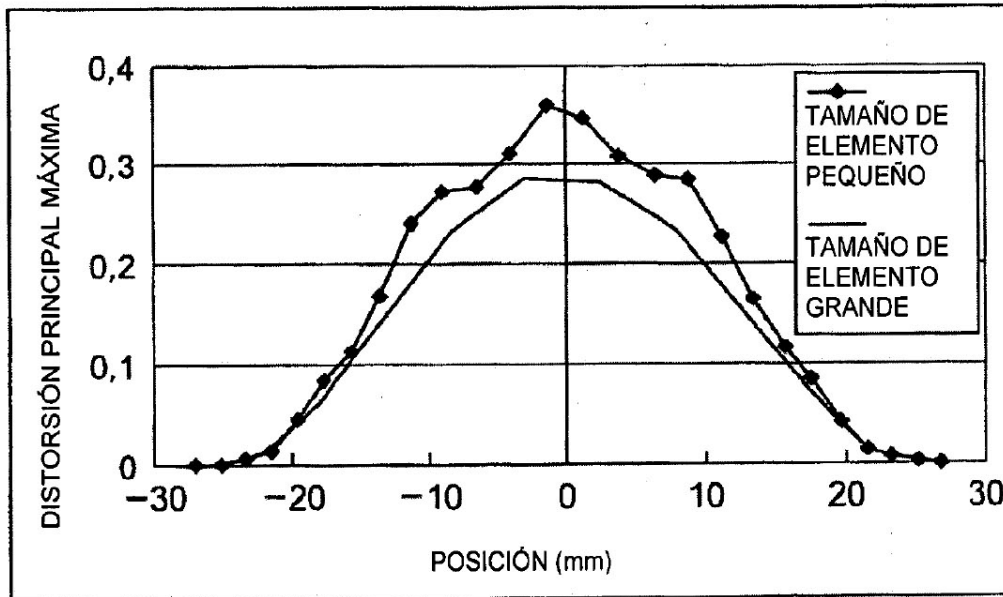


Figura 10

