

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 614**

51 Int. Cl.:

G01N 3/00	(2006.01)
B23K 11/24	(2006.01)
G01M 7/08	(2006.01)
G01N 3/08	(2006.01)
G01N 3/24	(2006.01)
G06F 17/50	(2006.01)
B23K 11/11	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2005 PCT/JP2005/007100**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2005 WO05100949**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2005 E 05730374 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2017 EP 1742033**

54 Título: **Dispositivo de predicción de fracturas para parte soldada por puntos, método del mismo, programa informático y soporte de registro legible por ordenador**

30 Prioridad:

13.04.2004 JP 2004118201
08.04.2005 JP 2005112644

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.11.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

YOSHIDA, HIROSHI;
NOMURA, NARUHIKO y
UENISHI, AKIHIRO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 643 614 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

Dispositivo de predicción de fracturas para parte soldada por puntos, método del mismo, programa informático y soporte de registro legible por ordenador

5

Campo de la Invención

La presente invención se refiere a un dispositivo de predicción de fracturas para una parte soldada por puntos, adecuado para el uso para una soldadura por puntos de una pieza estructural para un automóvil, más en concreto para predecir una fractura de la parte soldada por puntos de una pieza en el momento de una deformación por colisión, a un método del mismo, a un programa informático y a un soporte de registro legible por ordenador.

10

Antecedentes de la Invención

En los últimos años, desarrollar una estructura de vehículo capaz de suprimir una lesión de un pasajero en el momento de una colisión se ha convertido en un problema urgente para la industria del automóvil. Puede realizarse una estructura de vehículo excelente en cuanto a la capacidad de absorción de energía de choque de tal manera que una energía de impacto en el momento de una colisión sea absorbida por piezas estructurales que no sean una sección de pasajeros y que se minimice una deformación de la sección de pasajeros para, así, asegurar un espacio de supervivencia. Concretamente es importante hacer que las piezas estructurales absorban la energía de impacto.

15

Una pieza estructural principal que absorbe la energía de impacto en un choque de vuelta completa o en un choque frontal con desplazamiento de un automóvil es una pieza frontal lateral. En la pieza frontal lateral, la sección transversal de la pieza se cierra mediante una soldadura por puntos una vez conformada la pieza por medio de una estampación, etcétera. Por lo general, esta pieza frontal lateral se hunde para, así, absorber la energía de impacto. Es importante estabilizar un modo de pandeo y no hacer que se doble o se fracture a medio camino, para mejorar la absorción de la energía de impacto.

20

25

Existen problemas consistentes en que, en el momento del pandeo, se produce una fractura desde un punto soldado, causando un modo de pandeo inestable y empeorando la absorción de la energía de impacto, si un intervalo de soldeo por puntos, un diámetro de punto de soldadura y unas condiciones de soldeo no están optimizados para estabilizar el pandeo en cuanto al soldeo por puntos de la pieza anteriormente indicado.

30

Documento no relacionado con patentes 1: Documento expositivo nº 9705JSAESYMPOSIUM "New Forming Technique of Vehicle Structure"

Documento no relacionado con patentes 2: JIS Z3136

Documento no relacionado con patentes 3: JIS Z3137

Documento de patente 1: Solicitud de patente japonesa abierta a la inspección pública nº Hei 6-182561

Documento de patente 2: Solicitud de patente japonesa abierta a la inspección pública nº 2002-31627

35

Compendio de la Invención

De manera convencional, se han investigado unas condiciones para resolver el problema, en las que, por ejemplo, una pieza se pandee de manera estable sin fracturarse en un punto de soldadura, mediante la producción de piezas de manera experimental mientras se cambian de diversas formas los intervalos de soldeo por puntos y mediante la realización de un ensayo de choque como se muestra en el documento no relacionado con patentes 1. Sin embargo, en el método anteriormente indicado se requiere un tanteo en el que se fabrican productos experimentales para cada automóvil, o para cada pieza, para llevar a cabo el ensayo y, por lo tanto, existe el problema de que los gastos de fabricación se hacen altos y se requiere mucho tiempo para el diseño.

40

45

Además, en el documento de patente 1 se propone una estructura de prevención de fracturas de una parte soldada de un panel de suelo en donde se aplica una carga, pero es una estructura sólo para el panel de suelo. Por lo tanto, aún requería un tanteo mediante los productos experimentales para obtener un método de soldeo por puntos en el que se impida una fractura en los puntos de soldadura en todas las piezas absorbedoras de impactos y en el que la energía de impacto se absorba por medio del pandeo estable.

50

Además, en el documento de patente 2 se propone una optimización del intervalo de soldeo por puntos, pero es sólo un simple indicador en cuanto a la resistencia de la soldadura por puntos individual y no es una predicción precisa de la fractura tal cual. Por lo tanto, existía un problema en el que un diseño basado en una predicción de fracturas exacta para la parte soldada por puntos era imposible.

55

Como indicadores de la resistencia en la parte soldada por puntos son representativos un ensayo de tracción y cizallamiento y un ensayo de tracción en U definidos en los documentos no relacionados con patentes 2 y 3. Se ha informado de ejemplos bajo diversos modos de ensayo que suponen diversos estados de carga distintos a los anteriormente indicados, pero, en general, un valor de ensayo de tracción y cizallamiento se trata como una resistencia al cizallamiento de la parte soldada, y un valor de ensayo de tracción en U se trata como una resistencia a la exfoliación de la parte soldada, en dos tipos de ensayos prescritos en JIS.

60

65

Sin embargo, la resistencia al cizallamiento y la resistencia a la exfoliación de la soldadura por puntos obtenidas en el ensayo caen bajo una influencia estructural, tal como una anchura. Por lo tanto, el valor de ensayo no evita la necesidad de corregir y estimar el mismo desde varios puntos de vista en una pieza real. En un sistema que realiza un diseño óptimo mediante una simulación de colisión de un automóvil en un ordenador, que está avanzando rápidamente en los últimos años, la precisión de estimación del mismo es apenas adecuada y se ha empeorado la fiabilidad del diseño óptimo para una seguridad contra colisiones.

Un objetivo de la presente invención es prevenir la fractura de la parte soldada de la pieza en el momento de una deformación por choque para, así, realizar una optimización de un modo de pandeo deformado y mejorar la energía absorbida del choque estimando una predicción de fractura para la parte soldada por puntos en el momento de la deformación por choque mediante un modelo de predicción implementado en un análisis por un método de elementos finitos para, mediante el análisis por un método de elementos finitos en el ordenador, no utilizar la fabricación experimental de la pieza ni el ensayo de colisión.

El objetivo anteriormente indicado se logra con las características de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista que muestra un esbozo de un método para un ensayo de tracción y cizallamiento; la Figura 2 es una vista que muestra un esbozo de un método para un ensayo de tracción en U; la Figura 3 es una vista lateral en un momento del ensayo de tracción en U; la Figura 4 es una vista que muestra un ejemplo de curvas de resistencia a la fractura; la Figura 5 es una vista que muestra una relación entre una línea límite de fractura y resistencias calculadas F_n , F_s ; la Figura 6 es una vista en la que se comparan, entre un experimento y una simulación, que es MEF, relaciones entre una carga y un desplazamiento en un momento de fractura en el ensayo de tracción y cizallamiento; la Figura 7 es una vista en la que se comparan, entre un experimento y una simulación, que es MEF, relaciones entre una carga y un desplazamiento en un momento de fractura en el ensayo de tracción en U; la Figura 8 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un sistema informático capaz de configurar un dispositivo de predicción de fracturas para una parte soldada por puntos; la Figura 9 es una vista que muestra una curva de resistencia a la fractura de una plancha de acero real de clase 590 MPa y con un espesor de 1,8 mm; la Figura 10 es una vista que muestra una relación curvilínea de " α_1 " y " d/W " identificada mediante un experimento; la Figura 11 es una vista en la que se comparan, entre un experimento y una simulación (MEF), relaciones entre una carga y un desplazamiento en un momento de fractura en el ensayo de tracción y cizallamiento con un acero de alta resistencia de clase 980 MPa; la Figura 12A es una vista que muestra la forma de una pieza del acero de alta resistencia de clase 980 MPa utilizada para un ensayo de aplastamiento axial dinámico; la Figura 12B es una vista que muestra un resultado en el que se simula (MEF) un aspecto fracturado de la parte soldada por puntos en el momento de un ensayo de aplastamiento axial dinámico; y la Figura 12C es una fotografía que muestra el aspecto fracturado de la parte soldada por puntos en el momento del ensayo de aplastamiento axial dinámico.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

A continuación se describen realizaciones preferidas de la presente invención con referencia a los dibujos. La Figura 1 es una vista que muestra un esbozo de un método de un ensayo de tracción y cizallamiento. Como muestra, dos planchas de acero, que constituyen unos materiales base 2, están parcialmente superpuestas y soldadas por puntos como puede verse en el dibujo, para formar un punto 1 de soldadura. Se lleva a cabo un ensayo de tracción para esta muestra, en las direcciones indicadas por las flechas 3, hasta que se fractura esta muestra. En este momento se miden los desplazamientos y las cargas de la muestra en las direcciones 3 de tracción. La fractura se produce en la periferia del punto 1 de soldadura y, en este momento, llega a ser una carga máxima. Este valor se establece como carga límite de fractura " F_{tss} " (N). Cuando alcanza esta carga límite " F_{tss} ", un esfuerzo medio " σ_0 " (MPa) dentro del material base es " $F_{tss}/W \cdot t$ ", a partir de una anchura " W " (mm) y un espesor " t " de plancha (mm) del material base 2.

En la periferia del punto 1 de soldadura, que es un punto de iniciación de la fractura, un factor " α " de concentración de esfuerzos en una parte terminal del punto 1 de soldadura y los materiales base 2 puede definirse, como se muestra en una fórmula (1), como una fracción de una resistencia "TS" a la tracción del material base y el esfuerzo medio " σ_0 " de tracción del material base en el supuesto de que un esfuerzo máximo alcance la resistencia "TS" a la tracción (MPa).

$$\alpha = TS/\sigma_0 = TS \cdot W \cdot t / F_{tss} \dots (1)$$

Las cargas límite de fractura "Ftss" se miden mediante materiales con diversas resistencias "TS" a la tracción y diversas anchuras "W" de muestra, espesores "t" de plancha y diámetros "d" de punto de soldadura (mm) y, de este modo, este factor "α" de concentración de esfuerzos se calcula a partir de la fórmula (1) para crear una tabla como base de datos. Con esto, la carga límite de fractura "Ftss" con una resistencia "TS" a la tracción, un espesor "t" de plancha, una anchura "W" y un diámetro "d" de punto de soldadura arbitrarios puede predecirse con una fórmula (2), empleando el factor "α" de concentración de esfuerzos de la tabla.

$$F_{tss} = TS \cdot W \cdot t / \alpha \quad \dots (2)$$

Además, el factor "α" de concentración de esfuerzos se convierte en una curva mediante una organización con una fracción "d/W" del diámetro "d" del punto de soldadura y la anchura "W". Por lo tanto es posible predecir "Ftss" a partir de la fórmula (2) empleando "α" calculado a partir de la fórmula (3).

$$\alpha = k / (p \cdot d/W - q)^n + r \quad \dots (3)$$

Aquí, "k, p, q, n y r" son parámetros para llevar a cabo un ajuste de la relación curvilínea de "α" y "d/W" con la fórmula (3) y es preferible que estén dentro de los intervalos siguientes: k = 0,001 a 100; p = 0,01 a 100; q = -10 a 10; n = 1 a 10; y r = -100 a 100. Sin embargo, la fórmula para realizar el ajuste de la curva no ha de tener necesariamente el formato de la fórmula (3) y puede ser la fórmula capaz de ajustar la relación curvilínea. Además, "α" puede leerse en el gráfico de la curva directamente sin emplear la fórmula (3).

A continuación, empleando un método de elementos finitos en un ordenador, se modela una pieza con una forma arbitraria soldada mediante la soldadura por puntos. Mediante el ordenador se calculan, una después de otra, una fuerza de cizallamiento "Fs" (N) en una dirección a lo largo de una superficie de pieza de un elemento que conecta piezas entre sí en donde se ha modelado la soldadura por puntos, y una fuerza vertical "Fn" (N) en una dirección que conecta piezas entre sí ortogonal a la fuerza de cizallamiento "Fs" (N), durante una deformación de un análisis de colisión reproducido utilizando el método de elementos finitos. Esta manera de calcular "Fs" y "Fn" depende de un código de análisis general, véase por ejemplo "PAM-CRASH v2002 user's manual" realizado por ESI Co., Ltd. Una estimación de fractura en el ordenador se establece en el momento en que se cumple una fórmula (4).

$$F_n^2 + F_s^2 \geq F_{tss}^2 \quad \dots (4)$$

La Figura 2 es una vista que muestra un esbozo de un método de un ensayo de tracción en U. Como muestra, dos planchas de acero, que constituyen los materiales base 2, están parcialmente superpuestas y soldadas por puntos como puede verse en el dibujo, para formar el punto 1 de soldadura. Se lleva a cabo un ensayo de tracción para esta muestra, en las direcciones indicadas por las flechas 3, hasta que se fractura esta muestra. En este momento se miden los desplazamientos y las cargas de la muestra en las direcciones 3 de tracción. La fractura se produce en la periferia del punto 1 de soldadura y, en este momento, llega a ser la carga máxima. Este valor se establece como carga límite de fractura "Fcts" (N). Cuando alcanza esta carga límite "Fcts", el esfuerzo medio "σo" (MPa) dentro de una superficie de plancha del material base es "Fcts/(2W·t·sin θ)", a partir de la anchura "W" (mm) y el espesor "t" de plancha (mm) del material base 2, empleando un ángulo "θ" mostrado en la Figura 3.

En la periferia del punto 1 de soldadura, que es el punto de iniciación de la fractura, el factor "α" de concentración de esfuerzos en la parte terminal del punto 1 de soldadura y el material base 2 puede definirse, como se muestra en una fórmula (5), como la fracción de la resistencia "TS" a la tracción (MPa) del material base y el esfuerzo medio "σo" de tracción (MPa) del material base si se supone que el esfuerzo máximo alcanza la resistencia "TS" a la tracción (MPa).

$$\alpha = TS / \sigma_o = TS \cdot W \cdot t / F_{cts} \quad \dots (5)$$

Éste es por completo el mismo formato que la fórmula (1) obtenida mediante el ensayo de tracción y cizallamiento, y se añade una corrección angular "θ" porque las direcciones de tracción son diferentes. Por consiguiente, la carga límite de fractura "Fcts" puede calcularse mediante una fórmula (6) con un material, una anchura, un espesor de plancha y un diámetro de punto de soldadura arbitrarios, por medio del mismo método que el ensayo de tracción y cizallamiento.

$$F_{cts} = 2 \cdot TS \cdot W \cdot t \cdot \sin \theta / \alpha \quad \dots (6)$$

Al igual que en el caso de tracción y cizallamiento, una estimación de fractura de la parte soldada por puntos en una pieza arbitraria en el momento de la deformación por colisión se considera que se realiza en el momento en que se cumple una fórmula (7) en el ordenador.

$$F_n \geq F_{cts} \quad \dots (7)$$

5 Como se ha expuesto anteriormente, las cargas límite de fractura, es decir los parámetros de resistencia a la fractura "Ftss" y "Fcts", se calculan mediante la fórmula (1), la fórmula (2), la fórmula (3), la fórmula (5) y la fórmula (6), la deformación por colisión se analiza mediante el método de elementos finitos con la pieza arbitraria, y la estimación de fractura de la soldadura por puntos se establece en el momento en que se cumple o bien la fórmula (4) o bien la fórmula (7) o cuando éstas se cumplen al mismo tiempo o cuando se cumple una fórmula en la que están combinadas la fórmula (4) y la fórmula (7).

10 Cuando se conoce la forma de la deformación a partir de la forma de la pieza y un método de entrada de la carga, puede calcularse en el ordenador sólo una de las fórmulas (4) y (7) para realizar una estimación. Además, la fracción entre "Fn" y "Fs" se calcula en el ordenador una después de otra, y la estimación de fractura puede realizarse, por ejemplo, empleando la fórmula (7) cuando $F_n > 3F_s$, y la fórmula (4) en otros casos.

15 De este modo se hace posible predecir la estimación de fractura de la soldadura por puntos en el ordenador con precisión y sin necesidad de verificarlo creando la pieza y llevando a cabo el ensayo de colisión realmente. Se hace posible investigar unas condiciones en las que la soldadura por puntos no se fracture, variando la forma de la pieza, el material, el espesor de plancha, el diámetro de punto de soldadura y una posición de soldeo en el ordenador empleando este método, y puede diseñarse una pieza óptima.

20 En cuanto a la carga límite de fractura de la soldadura por puntos, especialmente cuando la resistencia "TS" a la tracción del material es mayor que 590 (MPa), es adecuado calcular "Ftss" en el ensayo de tracción y cizallamiento empleando la fórmula (2') siguiente y la fórmula (3m) siguiente en lugar de la fórmula (2) y la fórmula (3), y "Fcts" en el ensayo de tracción en U empleando la fórmula (3m2) siguiente, la fórmula (3m3) siguiente, la fórmula (3m4) siguiente y la fórmula (6') siguiente en lugar de la fórmula (3) y la fórmula (6), a diferencia del método anteriormente indicado.

$$F_{tss} = TS \cdot W \cdot t / \alpha_1 \quad \dots (2')$$

$$\alpha_1 = (e (TS/f - g)^h - i) / (d/W)^j + 1 \quad \dots (3m)$$

30 Aquí, "e, f, g, h, i y j" son parámetros para llevar a cabo un ajuste de una relación curvilínea de "α₁" y "d/W" con la fórmula (3m) y se hallan dentro de los intervalos siguientes: e = 0,0001 a 100; f = 100 a 2.500 (MPa); g = 0,1 a 10; h = 0,0001 a 10; i = 0,01 a 100; y j = 1 a 100.

$$F_{cts} = 2 \cdot TS \cdot W \cdot t \cdot \sin \theta / \alpha_2 \quad \dots (6')$$

$$\alpha_2 = \beta / (d/W)^\chi + \delta \quad \dots (3m2)$$

$$\chi = \phi (TS/\gamma - \eta) \Psi - \xi \quad \dots (3m3)$$

$$\delta = \lambda (TS/\mu - \rho) \omega - \zeta \quad \dots (3m4)$$

35 Aquí, "β, χ, δ, φ, γ, η, ψ, ξ, λ, μ, ρ, ω y ζ" son parámetros para llevar a cabo un ajuste de una relación curvilínea de "α₂" y "d/W" con la fórmula (3m2), la fórmula (3m3) y la fórmula (3m4) y se hallan dentro de los intervalos siguientes: β = 0,0001 a 100; φ = 0,1 a 100, γ = 100 a 2.500 (MPa); η = 0,1 a 10; ψ = 0,0001 a 100; ξ = 0,01 a 100; λ = 0,01 a 100; μ = 100 a 2.500 (MPa); ρ = 0,1 a 10; ω = 0,0001 a 100; y ζ = 0,01 a 100.

40 La fórmula para realizar el ajuste de la curva no ha de tener necesariamente los formatos de estas fórmulas y es válida siempre pueda realizar el ajuste de la relación curvilínea. Además, la relación curvilínea de "α₁" o "α₂" y "d/W" se convierte en una curva con cada grado de resistencia sin emplear estas fórmulas y, por lo tanto, "α₁" o "α₂" puede identificarse directamente a partir de cada gráfico de la curva.

45 La Figura 4 es una vista que muestra esquemáticamente un método para calcular la carga límite de fractura empleando un gráfico basado en datos experimentales, además del método para calcular la carga límite de fractura empleando las fórmulas tales como la fórmula (1), la fórmula (2), la fórmula (3) y la fórmula (5), la fórmula (6), o la fórmula (3m), la fórmula (3m2), la fórmula (3m3) y la fórmula (3m4) en lugar de la fórmula (3). Las cargas límite de fractura se miden mediante el ensayo en el que se varía "d/W" y, cuando se ha representado gráficamente, las curvas de resistencia a la fractura pueden escribirse en diversas relaciones curvilíneas dependiendo de la resistencia TS del material. Aquí, las resistencias del material son $TS_1 < TS_2 < TS_3$. La carga límite de fractura correspondiente a las condiciones puede identificarse a partir de estas curvas directamente. Esta curva se convierte en una superficie curva de carga límite de fractura tomando el espesor "t" de plancha como un tercer eje, y la carga límite de fractura puede identificarse leyendo un valor en la superficie curva en un espesor "t" de plancha arbitrario, la resistencia "TS" del material, la anchura "W", y el diámetro "d" de punto de soldadura.

Además, se crea una línea límite de fractura, como se muestra en la Figura 5, empleando las cargas límite de fractura identificadas mediante los diversos ángulos " θ " de rotación en lugar de emplear la fórmula (4) y la fórmula (7). Se comparan esta línea límite de fractura y " F_n ", " F_s " calculadas una después de otra mediante el análisis del método de elementos finitos, y puede estimarse como fractura cuando " F_n ", " F_s " acaban sobre la curva y fuera de la curva.

Este método puede aplicarse no sólo a material de acero, sino también a todos los materiales. Además, puede aplicarse no sólo a todas las soldaduras tales como una soldadura por láser, una soldadura por arco, una soldadura continua y una soldadura por aplastamiento, sino también a la soldadura por puntos y, además, a toda unión mecánica tal como una unión TOX y una unión por remaches, una unión por fricción, una unión por difusión, una unión por fricción y difusión, una soldadura por fricción y agitación y todas las uniones realizadas empleando un agente adhesivo. El método de cálculo en el ordenador puede aplicarse a un método de elementos de frontera, a un método de diferencias, a un método sin malla, a un análisis elemental y a todo método de cálculo sin limitarse al método de elementos finitos, y puede aplicarse a un método de cálculo independiente de una mecánica de material y un ordenador.

El método de cálculo del factor " α " de concentración de esfuerzos por medio del experimento no está limitado tampoco a los ensayos de tracción y cizallamiento y de tracción en U anteriormente mencionados, y puede calcularse empleando cualquier forma de muestra y un método de aplicación de carga.

La predicción anteriormente mencionada de la estimación de fractura puede aplicarse no sólo al análisis de colisión de todo el automóvil y de toda la pieza, sino también a componentes que no sean el automóvil, y es evidente que puede aplicarse a un análisis en una deformación cuasiestática que no sea una colisión.

La Figura 8 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un sistema informático capaz de configurar un dispositivo de predicción de fracturas para una parte soldada por puntos. En el dibujo, el número de referencia 1200 es un ordenador PC (ordenador personal). El PC 1200 incluye una CPU (unidad central de proceso) 1201, ejecuta un software de control de dispositivos que está almacenado en una ROM (memoria de sólo lectura) 1202 o un disco duro (HD) 1211, o que se suministra desde una unidad de disco flexible (FD) 1212, y que controla totalmente unos dispositivos respectivos conectados a un bus de sistema 1204.

Los medios funcionales respectivos de la presente realización están constituidos por programas almacenados en la CPU 1201, la ROM 1202 o el disco duro (HD) 1211 anteriormente mencionados del PC 1200.

El número de referencia 1203 es una RAM (memoria de acceso aleatorio) y sirve de memoria principal, de área de trabajo, etc. de la CPU 1201. El número de referencia 1205 es un controlador de teclado (KBC) y controla señales de entrada introducidas desde un teclado (KB) 1209 en el cuerpo principal del sistema. El número de referencia 1206 es un controlador de pantalla (CRTC) y lleva a cabo un control de pantalla en un dispositivo de visualización (CRT) 1210. El número de referencia 1207 es un controlador de disco (DKC) y controla un acceso con el disco duro (HD) 1211 y el disco flexible (FD) 1212, almacenando un programa de arranque (un programa que arranca una ejecución (operación) de hardwares y softwares de un ordenador personal), una pluralidad de programas de aplicación, archivos de edición, archivos de usuario, programas de gestión de red, etc.

El número de referencia 1208 es una tarjeta de interfaz de red (NIC) y lleva a cabo intercambios de datos interactivos con una impresora en red, otros dispositivos de red u otros PC a través de una LAN (red de área local) 1220.

Las funciones de la realización anteriormente mencionadas pueden realizarse también mediante la ejecución del programa por parte del ordenador. Además, como realización de la presente invención pueden aplicarse medios para suministrar a un ordenador el programa informático, por ejemplo un soporte de registro legible por ordenador tal como un CD-ROM, etc., en el que se grabe tal programa, o un medio de transmisión tal como una internet que transmita tal programa. Además, también puede aplicarse como realización de la presente invención un producto de programa informático tal como el soporte de registro legible por ordenador en el que se grabe el programa anteriormente mencionado. Los anteriormente mencionados programa informático, soporte de registro, medio de transmisión y producto de programa informático están incluidos en el alcance de la presente invención. Como soporte de registro, por ejemplo, puede utilizarse un disco flexible, un disco duro, un disco óptico, un disco magneto-óptico, un CD-ROM, una cinta magnética, una memoria no volátil, una ROM, etcétera.

(Ejemplo 1)

Se estructura un sistema en el que se utiliza el modelo de predicción de fracturas anteriormente mencionado, y se estima automáticamente una fractura de una parte soldada por puntos mientras se analiza una deformación por colisión de una pieza, como programa de subrutina en un código de MEF de análisis de colisión general. El código utilizado es "PAM-CRASH v2002" de ESI Co., Ltd., y la parte soldada por puntos se modela empleando un "Multi-PLINK" en cuanto a la pieza modelada por medio de un elemento de envuelta.

ES 2 643 614 T3

Una comparación de un análisis, en el que un ensayo de tracción y cizallamiento y un ensayo de tracción en U están modelados tal como son, y un experimento es lo mejor para una verificación de precisión del modelo de predicción de fracturas, porque se hace posible una comparación exacta. Por lo tanto, se crean una muestra de tracción y cizallamiento y una muestra de tracción en U con una plancha de acero de clase 590 MPa y con un espesor "t" = 1,8 (mm), según las normas JIS de 3136, 3137. Un diámetro de punto de soldadura de la soldadura por puntos es $5\sqrt{t}$ (mm). Se lleva a cabo un ensayo empleando una máquina de ensayo de tipo Instron y en ese momento se miden cargas y desplazamientos hasta que se fractura una parte soldada por puntos. Al mismo tiempo se modelan en el ordenador el ensayo de tracción y cizallamiento y el ensayo de tracción en U en las mismas formas que el ensayo, se lleva a cabo un análisis del ensayo de tracción mediante el código MEF instalando el programa de subrutina anteriormente mencionado para estimar automáticamente la fractura de la parte soldada por puntos, y se calculan las cargas y los desplazamientos hasta que la soldadura por puntos se fractura igual que el experimento. Los parámetros iniciales introducidos de "TS" = 642 (MPa), "t" = 1,8 (mm), "d" = 6,7 (mm), "θ" = 23°, se establecen como parámetros comunes. En el ensayo de tracción y cizallamiento se emplean los siguientes valores:

$$\alpha = 1,80 (-), "W" = 40 \text{ (mm)}$$

En el ensayo de tracción en U se emplean los siguientes valores:

$$\alpha = 2,17 (-), "W" = 50 \text{ (mm)}$$

Los parámetros de resistencia a la fractura "Ftss" = 25.680 (N), "Fcts" = 20.798 (N) obtenidos mediante los anteriores se instalan en una fórmula de predicción de fracturas en la que se modela una deformación en una periferia de la soldadura por puntos por medio del método de elementos finitos, para así estimar la fractura de la parte soldada por puntos.

El modelo de ensayo se crea mediante el elemento de envuelta cuyo nivel de análisis de colisión de un vehículo completo es aproximado, y también se simplifican unas condiciones frontera considerando que pueden aplicarse para el análisis de colisión de una pieza real.

La Figura 6 y la Figura 7 son ejemplos de verificación de este sistema. El número de referencia 4 representa una simulación de una muestra de tracción y cizallamiento y el número de referencia 5 representa una simulación de una muestra de tracción en U. Los modos de fractura son respectivamente diferentes en el ensayo de tracción y cizallamiento y en el ensayo de tracción en U. Sin embargo, resulta que las cargas de fractura en las curvas de carga - carrera del experimento y el análisis por MEF coinciden. En el ensayo de tracción y cizallamiento, parece que las formas de las curvas de carga - desplazamiento hasta que alcanzan la carga de fractura son diferentes entre el experimento y el análisis. Sin embargo, sólo parecen diferentes porque, en el experimento, un dispositivo de sujeción de muestra está conectado a un pie de biela a través de un junta cardánica y, por lo tanto, en el momento de un aumento de la carga se produce una rotación de la parte del dispositivo de sujeción, pero esta rotación no se considera en el análisis debido a la simplificación del modelo. Esto puede sencillamente cambiar un comportamiento de un cambio de carrera inicial y, por lo tanto, no afecta en lo esencial a la carga en el momento en que se produce la fractura. Los comportamientos de las curvas de carga - desplazamiento son ligeramente diferentes entre el experimento y el análisis también en el ensayo de tracción en U, pero igualmente es un problema del dispositivo de sujeción del experimento. Por lo tanto sólo afecta al comportamiento inicial, y el experimento y el análisis coinciden en las cargas de fractura. Por supuesto, si se modela incluyendo la parte del dispositivo de sujeción en el análisis, el comportamiento de esta parte puede hacerse coincidir con el experimento, pero aquí se ha omitido porque no es un problema esencial. Esto demuestra más bien lo siguiente: que es posible predecir la fractura del punto con exactitud en un análisis a nivel práctico en el que ciertas partes detalladas están simplificadas en un análisis de colisión a gran escala de un modelo entero o de un modelo parcial del vehículo completo, porque la carga de fractura de un ensayo real puede predecirse con exactitud incluso mediante el análisis por MEF en el que el ensayo está modelado de una manera sencilla.

Como se ha indicado anteriormente, puede verificarse que éste es el método de análisis capaz de predecir la fractura de la soldadura por puntos con exactitud mediante un ensayo básico. Además, la predicción de la fractura de la soldadura por puntos en el momento de la deformación por colisión a nivel de componente se verifica tanto por el lado experimental como por el lado de análisis y se confirma que la predicción de fracturas en el análisis coincide con el experimento. Se confirma que el sistema es un sistema capaz de controlar y diseñar un modo de deformación de piezas y una energía de absorción sobre la base de lo anterior, porque es posible predecir la fractura de la parte soldada por puntos.

Este método puede instalarse en solucionadores generales tales como "LS-DYNA3D" de LSTC Co., Ltd., "RADIOSS" de MECALOG Co., Ltd., y en un solucionador desarrollado individualmente, además del solucionador general "PAM-CRASH". Además, el modelo de la parte soldada por puntos puede aplicarse para un elemento de travesaño, un elemento de envuelta, un elemento sólido, etcétera, además de un tipo de contacto tal como el "Multi-PLINK".

(Ejemplo 2)

A continuación se lleva a cabo una verificación de una exactitud de predicción de una resistencia a la tracción y al cizallamiento empleando una curva de resistencia a la fractura. El material para ello es una plancha de acero de clase 590 MPa, con un espesor = 1,8 (mm), al igual que en el ejemplo 1. En primer lugar se modifica una anchura "W" de una muestra del ensayo de tracción y cizallamiento de 20 (mm) a 50 (mm) y, al mismo tiempo, se modifica también un diámetro "d" de punto de soldadura de 4 (mm) a 7 (mm) para llevar a cabo el ensayo y se mide exactamente un parámetro de resistencia a la fractura "Ftss". A partir de los resultados del ensayo puede obtenerse una curva de resistencia a la fractura, mostrada en la Figura 9. El parámetro de resistencia a la fractura "Ftss" = 25,5 (kN) puede leerse de la curva de resistencia a la fractura, como se muestra con un símbolo circular en la Figura 9, en unas condiciones de "d" = 6,7 (mm), "W" = 40 (mm), que son las mismas condiciones que en el ejemplo 1. Éste es aproximadamente el mismo valor con el "Ftss" en las mismas condiciones en el ejemplo 1. Es posible confirmar que las cargas de fractura coinciden en las curvas de carga - carrera del experimento y el análisis por MEF, como se muestra en la Figura 6, llevando a cabo a continuación un análisis por método de elementos finitos (MEF), en el que el ensayo se modela igual que en el ejemplo 1. Por consiguiente, se demuestra que los parámetros de resistencia a la fractura en cualesquiera condiciones de uso práctico pueden obtenerse creando la curva de resistencia a la fractura modificando la anchura "W" y el diámetro "d" de punto de soldadura dentro de un amplio margen correspondiente al uso real. Arriba se muestra el caso en el que la resistencia del material y el espesor de la plancha son fijos, pero cuando la resistencia y el espesor de la chapa varían deben crearse respectivamente las curvas de resistencia a la fractura.

(Ejemplo 3)

A continuación se estructura un sistema, en el que se utiliza un modelo de predicción de fracturas cuando una resistencia a la tracción del mismo es mayor que la clase 590 MPa, y se estima automáticamente una fractura de una parte soldada por puntos mientras se analiza una deformación por colisión de una pieza como programa de subrutina en el código de MEF de análisis de colisión general. El código utilizado es "PAM-CRASH v2003" de ESI Co., Ltd., y la parte soldada por puntos de una pieza modelada mediante un elemento de envuelta se modela utilizando "Multi-PLINK".

Una comparación de un análisis, en el que el ensayo de tracción y cizallamiento está modelado tal como es, y un experimento es lo mejor para una verificación de precisión del modelo de predicción de fracturas, porque se hace posible una comparación exacta. Por lo tanto, se crea una muestra de tracción y cizallamiento con una plancha de acero de clase 980 MPa y con un espesor "t" = 1,4 (mm), al igual que en el ejemplo 1. Un diámetro de punto de soldadura de la soldadura por puntos es $6\sqrt{t}$ (mm). Se lleva a cabo un ensayo empleando una máquina de ensayo de tipo Instron y se miden las cargas y los desplazamientos hasta que se fractura la parte soldada por puntos. Al mismo tiempo se modela en el ordenador el ensayo de tracción y cizallamiento en la misma forma que el ensayo, se lleva a cabo un análisis del ensayo de tracción mediante el código MEF instalando el programa de subrutina anteriormente mencionado para estimar automáticamente la fractura de la parte soldada por puntos, y se calculan las cargas y los desplazamientos hasta que la soldadura por puntos se fractura igual que el experimento. Se utilizan parámetros iniciales introducidos de "TS" = 983 (MPa), "t" = 1,4 (mm), "d" = 7,2 (mm), "θ" = 23°, "α₁" = 2,12 (-) y "W" = 40 (mm). El "α₁" se determina leyéndolo en un gráfico de la curva de "α₁" y "d/W" obtenida mediante el experimento, como se muestra en la Figura 10. Un parámetro de resistencia a la fractura "Ftss" = 26.340 (N), obtenido mediante lo anterior, se instala en una fórmula de predicción de fracturas en la que una deformación en una periferia de la soldadura por puntos se modela mediante un método de elementos finitos, para estimar la fractura de la parte soldada por puntos.

El modelo de ensayo se crea mediante un elemento de envuelta cuyo nivel de análisis de colisión de un vehículo completo es aproximado, y también se simplifican unas condiciones frontera considerando que pueden aplicarse para el análisis de colisión de una pieza real.

La Figura 11 es un ejemplo de verificación de este sistema y puede verse que las cargas de fractura en las curvas de carga - carrera del experimento y del análisis por MEF coinciden en el ensayo de tracción y cizallamiento.

Parece que las formas de las curvas de carga - desplazamiento hasta que alcanzan la carga de fractura son diferentes entre el experimento y el análisis en el ensayo de tracción y cizallamiento, pero la causa es la misma que la expuesta en el ejemplo 1 y no existe ningún problema.

Además se lleva a cabo una verificación de un modelo de predicción mediante un ensayo de aplastamiento axial de una pieza simple. Como se muestra en la Figura 12A, una pieza 6 está constituida por una soldadura por puntos con forma de sombrero en sección transversal y una plancha de cierre unida, y una parte superior de sombrero, teniendo las paredes perpendiculares 50 (mm) respectivamente, teniendo los rebordes 20 (mm) y siendo una longitud en la dirección de aplastamiento de 300 (mm). El material utilizado para la pieza es un producto de acero de clase 980 MPa, igual que anteriormente, y el diámetro de punto de soldadura de la soldadura por puntos de $4\sqrt{t}$ (mm). Se lleva a cabo un ensayo de aplastamiento dinámico en las siguientes condiciones: un peso de un martillo de caída es de 500 (kg), una velocidad inicial en el momento del aplastamiento es de 6 (m/s) y el análisis por MEF se lleva a cabo en las mismas condiciones. El resultado del ensayo y el resultado del análisis por MEF se comparan mediante las

5 formas de las piezas después del aplastamiento, como se muestra en la Figura 12B, que muestra una simulación 7, y en la Figura 12C, que muestra un experimento real. Como resultado de ello, las formas de pandeo son las mismas y, en particular, ambos patrones coinciden en que la parte soldada por puntos se fractura y de este modo se separa la plancha de cierre unida. Con esto se demuestra que es posible predecir con exactitud la fractura del punto mediante un análisis a nivel práctico en el que ciertas partes detalladas están simplificadas, en un análisis de colisión a gran escala de todo el modelo y de un modelo parcial de un vehículo completo.

Aplicabilidad industrial

10 Según la presente invención, es posible llevar a cabo una predicción de fracturas con exactitud en una parte en la que, por ejemplo, se modela una soldadura por puntos de una pieza de automóvil mediante un análisis por un método de elementos finitos en un ordenador. Por lo tanto, puede omitirse una verificación de la fractura de la parte soldada por puntos en un momento de un ensayo de colisión empleando una pieza de automóvil real, o puede reducirse drásticamente el número de veces que se lleva a cabo el ensayo de verificación. Además, por ejemplo, la fabricación experimental modificando unas condiciones de soldeo por puntos de la pieza de automóvil, un diseño de
15 pieza que impida que la soldadura por puntos se fracture por medio de un experimento a gran escala de un ensayo de colisión, puede sustituirse por un diseño que impida la fractura de la parte soldada por puntos mediante el análisis de colisión en el ordenador y, por consiguiente, es posible contribuir a una reducción considerable del coste y a un acortamiento de un periodo de diseño y desarrollo.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de predicción de fracturas para una parte soldada por puntos, que comprende:

5 un medio de entrada configurado para introducir al menos uno de los siguientes parámetros: una resistencia, TS, a la tracción de un material, un espesor t de plancha, un diámetro d de punto de soldadura de una soldadura por puntos, una anchura W de plancha de una unión, o un ángulo θ de rotación de las planchas unidas en un ensayo de tracción que es un ensayo de tracción en U y/o un ensayo de tracción y cizallamiento en una unión soldada por puntos;

10 un primer medio de cálculo configurado para determinar una carga límite de fractura, Fcts, como parámetro de resistencia a la fractura de la parte soldada por puntos en una tracción en U, utilizando una fórmula (a), y una carga límite de fractura, Ftss, como parámetro de resistencia a la fractura de la parte soldada por puntos en una tracción y cizallamiento, utilizando una fórmula (b), sobre la base de un factor α de concentración de esfuerzos y al menos uno de los parámetros introducidos siguientes: resistencia TS a la tracción del material, espesor t de la plancha, diámetro d de punto de soldadura de la soldadura por puntos, anchura W de plancha de la unión o ángulo θ de rotación de la unión en el ensayo de tracción, en el que

20
$$F_{cts} = 2TS \cdot W \cdot t \cdot \sin \theta / \alpha \quad (a)$$

$$F_{tss} = TS \cdot W \cdot t / \alpha \quad (b);$$

en el que el factor α de concentración de esfuerzos que se ha de incluir en la fórmula (a) o (b) es o está al menos uno de los siguientes:

- 25 (i) almacenado en una base de datos con respecto a la resistencia TS a la tracción, el espesor t y la anchura W introducidos, estando la base de datos configurada para almacenar factores α de concentración de esfuerzos definidos por $2TS \cdot W \cdot t \cdot \sin \theta / F_{cts}$ en una tracción en U o por $TS \cdot W \cdot t / F_{tss}$ en una tracción y cizallamiento, para cargas límite de fractura medidas Fcts, Ftss con respecto a diversas resistencias TS a la tracción y diversas anchuras W y espesores t de plancha, o
- 30 (ii) calculado utilizando una fórmula de cálculo del factor de concentración de esfuerzos, el diámetro d de punto de soldadura y la anchura W de plancha introducidos, siendo la fórmula de cálculo del factor de concentración de esfuerzos una fórmula que representa un factor α de concentración de esfuerzos por (un diámetro d de punto de soldadura/una anchura W de plancha), siendo la fórmula capaz de ajustar una relación curvilínea de α y d/W;

un medio de almacenamiento de parámetros configurado para almacenar los parámetros de resistencia a la fractura determinados Fcts, Ftss para cada tipo de acero; y

40 un segundo medio de cálculo configurado para estimar una fractura de la parte soldada por puntos incluyendo los parámetros de resistencia a la fractura Fcts, Ftss almacenados en el medio de almacenamiento de parámetros en una fórmula de predicción de fracturas en la que una deformación en una periferia de la parte soldada por puntos se modela mediante un método de elementos finitos, en el que la fórmula de predicción de fracturas está basada en una fuerza de cizallamiento Fs y en una fuerza vertical Fn con respecto a la parte soldada por puntos, y

45 la fórmula de predicción de fracturas es $F_n \geq F_{cts}$ en una tracción en U y/o $F_n^2 + F_s^2 \geq F_{tss}^2$ en una tracción y cizallamiento.

2. Método de predicción de fracturas para una parte soldada por puntos, que comprende los pasos de:

50 un paso de introducir al menos uno de los parámetros siguientes: una resistencia, TS, a la tracción de un material, un espesor t de plancha, un diámetro d de punto de soldadura de una soldadura por puntos, una anchura W de plancha de una unión, o un ángulo θ de rotación de la unión en un ensayo de tracción que es un ensayo de tracción en U y/o un ensayo de tracción y cizallamiento en una unión soldada por puntos;

55 un primer paso de cálculo de determinar una carga límite de fractura, Fcts, como parámetro de resistencia a la fractura de la parte soldada por puntos en una tracción en U, utilizando una fórmula (a), y una carga límite de fractura, Ftss, como parámetro de resistencia a la fractura de la parte soldada por puntos en una tracción y cizallamiento, utilizando una fórmula (b), sobre la base de un factor α de concentración de esfuerzos y al menos uno de los parámetros introducidos siguientes: resistencia TS a la tracción del material, espesor t de la plancha, diámetro d de punto de soldadura de la soldadura por puntos, anchura W de plancha de la unión o ángulo θ de rotación de la unión en el ensayo de tracción, en el que

65
$$F_{cts} = 2TS \cdot W \cdot t \cdot \sin \theta / \alpha \quad (a)$$

$$F_{tss} = TS \cdot W \cdot t / \alpha \quad (b);$$

en el que el factor α de concentración de esfuerzos que se ha de incluir en la fórmula (a) o (b) es o está al menos uno de los siguientes:

- 5 (i) almacenado en una base de datos con respecto a la resistencia TS a la tracción, el espesor t y la anchura W introducidos, estando la base de datos configurada para almacenar factores α de concentración de esfuerzos definidos por $2TS \cdot W \cdot t \cdot \sin \theta / F_{cts}$ en una tracción en U o $TS \cdot W \cdot t / F_{tss}$ en una tracción y cizallamiento, para cargas límite de fractura medidas F_{cts} , F_{tss} con respecto a diversas resistencias TS a la tracción y diversas anchuras W y espesores t de plancha, o
- 10 (ii) calculado utilizando una fórmula de cálculo del factor de concentración de esfuerzos, el diámetro d de punto de soldadura y la anchura W de plancha introducidos, siendo la fórmula de cálculo del factor de concentración de esfuerzos una fórmula que representa un factor α de concentración de esfuerzos por (un diámetro d de punto de soldadura/una anchura W de plancha), siendo la fórmula capaz de ajustar una relación curvilínea de α y d/W;

- 15 un paso de almacenar los parámetros de resistencia a la fractura determinados F_{cts} , F_{tss} para cada tipo de acero en un medio de almacenamiento de parámetros; y
- un segundo paso de cálculo de estimar una fractura de la parte soldada por puntos incluyendo los parámetros de resistencia a la fractura F_{cts} , F_{tss} almacenados en el medio de almacenamiento de parámetros en una
- 20 fórmula de predicción de fracturas en la que una deformación en una periferia de la parte soldada por puntos se modela mediante un método de elementos finitos,
- en el que la fórmula de predicción de fracturas está basada en una fuerza de cizallamiento F_s y en una fuerza vertical F_n con respecto a la parte soldada por puntos, y
- 25 la fórmula de predicción de fracturas es $F_n \geq F_{cts}$ en una tracción en U y/o $F_n^2 + F_s^2 \geq F_{tss}^2$ en una tracción y cizallamiento.

3. Programa informático para una predicción de fracturas de una parte soldada por puntos para diseñar circuitos, que comprende:

- 30 medio de código de programa para introducir al menos uno de los parámetros siguientes: una resistencia, TS, a la tracción de un material, un espesor t de plancha, un diámetro d de punto de soldadura de una soldadura por puntos, una anchura W de plancha de una unión, o un ángulo θ de rotación de las planchas de unión en un ensayo de tracción que es un ensayo de tracción en U y/o un ensayo de tracción y cizallamiento en una unión soldada por puntos;
- 35 medio de código de programa para determinar, mediante cálculo, una carga límite de fractura, F_{cts} , como parámetro de resistencia a la fractura de la parte soldada por puntos en una tracción en U, utilizando una fórmula (a), y una carga límite de fractura, F_{tss} , como parámetro de resistencia a la fractura de la parte soldada por puntos en una tracción y cizallamiento, utilizando una fórmula (b), sobre la base de un factor α de concentración de esfuerzos y al menos uno de los parámetros introducidos siguientes: resistencia TS a la tracción del material, espesor t de la plancha, diámetro d de punto de soldadura de la soldadura por puntos, anchura W de plancha de la unión o ángulo θ de rotación de la unión en el ensayo de tracción,
- 40 en el que

45
$$F_{cts} = 2TS \cdot W \cdot t \cdot \sin \theta / \alpha \quad (a)$$

$$F_{tss} = TS \cdot W \cdot t / \alpha \quad (b);$$

en el que el factor α de concentración de esfuerzos que se ha de incluir en la fórmula (a) o (b) es o está al menos uno de los siguientes:

- 50 (i) almacenado en una base de datos con respecto a la resistencia TS a la tracción, el espesor t y la anchura W introducidos, estando la base de datos configurada para almacenar factores α de concentración de esfuerzos definidos por $2TS \cdot W \cdot t \cdot \sin \theta / F_{cts}$ en una tracción en U o $TS \cdot W \cdot t / F_{tss}$ en una tracción y cizallamiento, para cargas límite de fractura medidas F_{cts} , F_{tss} con respecto a diversas resistencias TS a la tracción y diversas anchuras W y espesores t de plancha, o
- 55 (ii) calculado utilizando una fórmula de cálculo del factor de concentración de esfuerzos, el diámetro d de punto de soldadura y la anchura W de plancha introducidos, siendo la fórmula de cálculo del factor de concentración de esfuerzos una fórmula que representa un factor α de concentración de esfuerzos por (un diámetro d de punto de soldadura/una anchura W de plancha), siendo la fórmula capaz de ajustar una relación curvilínea de α y d/W;

- 60 medios de código de programa para almacenar los parámetros de resistencia a la fractura determinados F_{cts} , F_{tss} para cada tipo de acero en un medio de almacenamiento de parámetros; y
- 65 medio de código de programa para estimar, mediante cálculo, una fractura de la parte soldada por puntos incluyendo los parámetros de resistencia a la fractura F_{cts} , F_{tss} almacenados en el medio de

almacenamiento de parámetros en una fórmula de predicción de fracturas en la que una deformación en una periferia de la parte soldada por puntos se modela mediante un método de elementos finitos, en el que la fórmula de predicción de fracturas está basada en una fuerza de cizallamiento F_s y en una fuerza vertical F_n con respecto a la parte soldada por puntos, y

5 la fórmula de predicción de fracturas es $F_n \geq F_{ct_s}$ en una tracción en U y/o $F_n^2 + F_s^2 \geq F_{tss}^2$ en una tracción y cizallamiento.

4. Soporte de registro legible por ordenador que registra un programa informático para hacer que un ordenador ejecute el método según la reivindicación 2.

FIG. 1

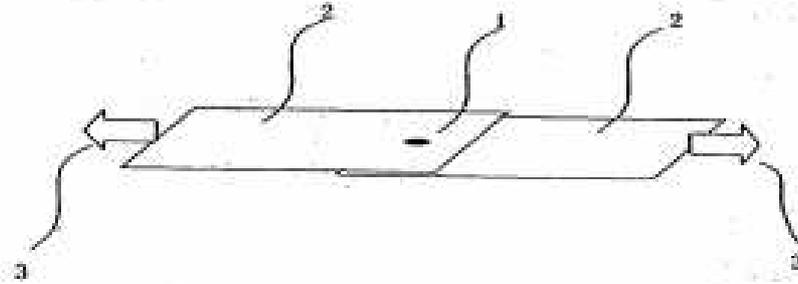


FIG. 2

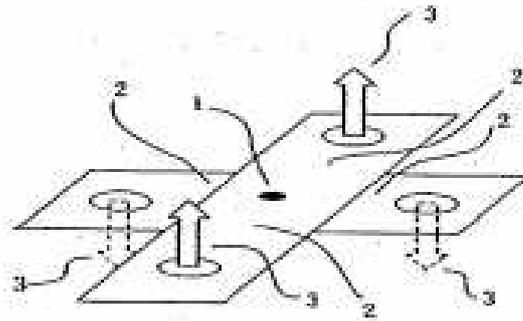


FIG. 3

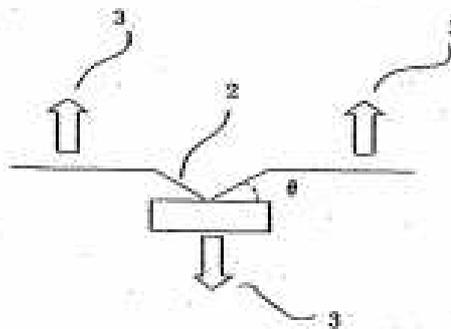


FIG. 4

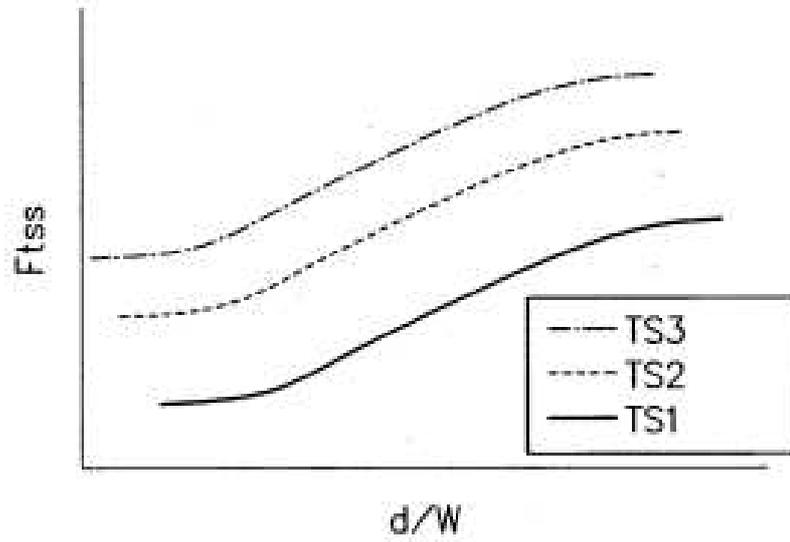


FIG. 5

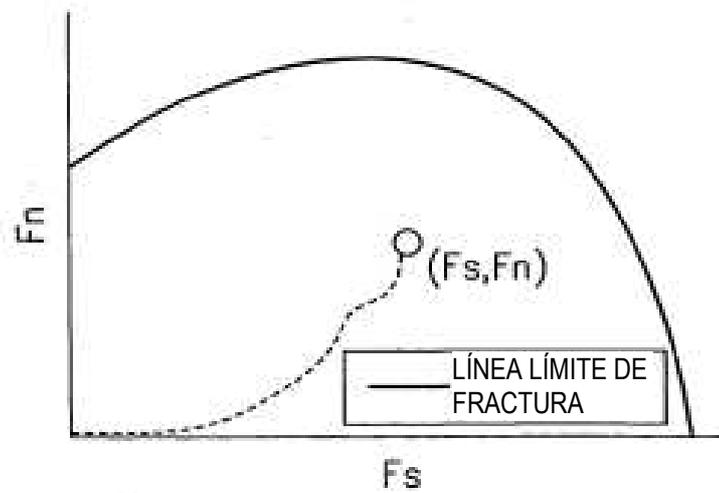


FIG. 6

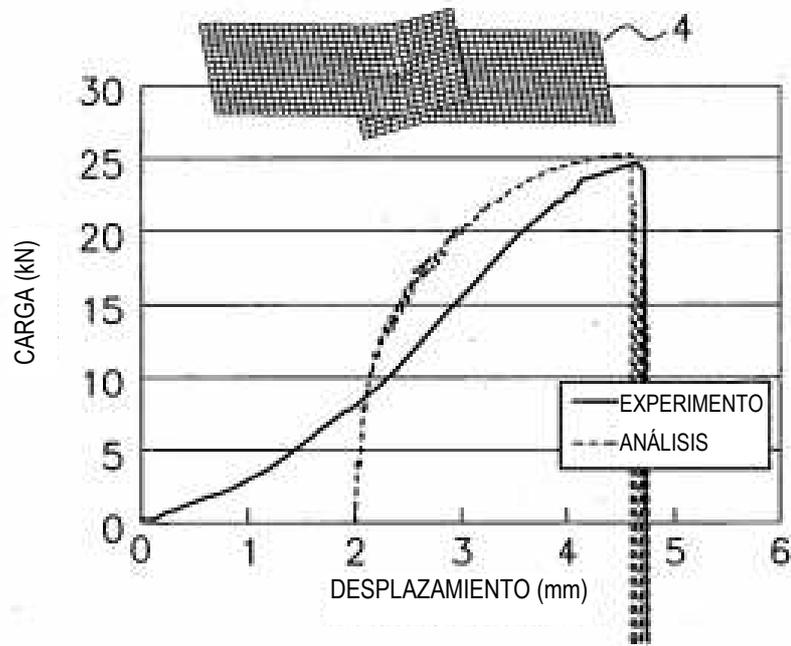


FIG. 7

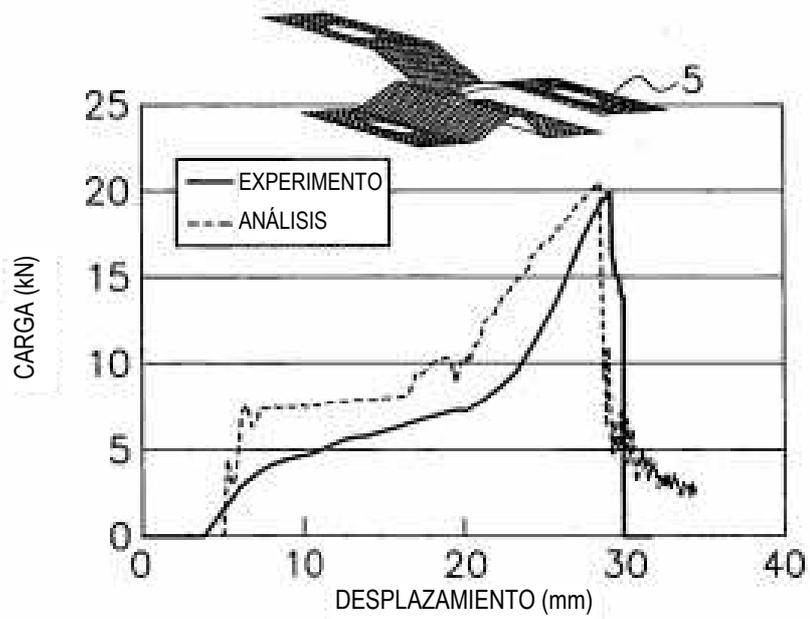
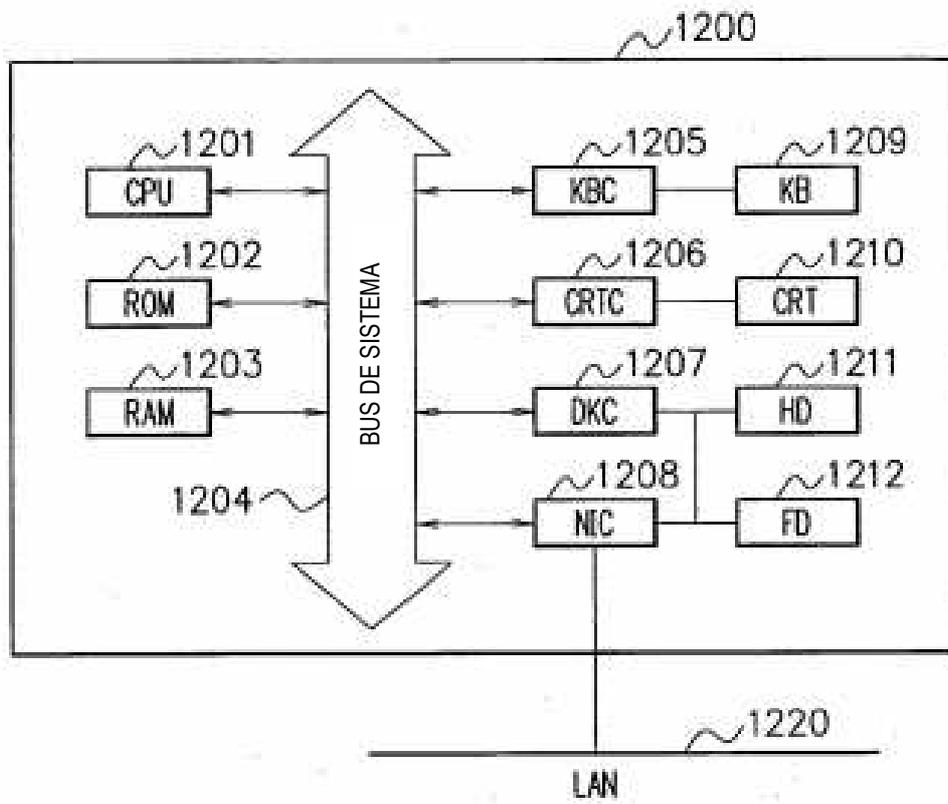
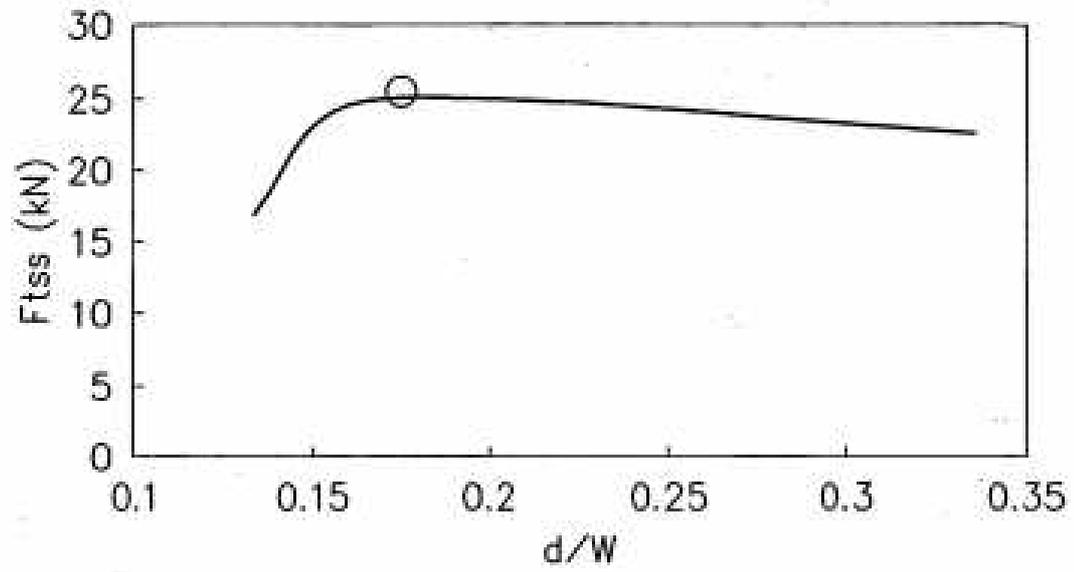


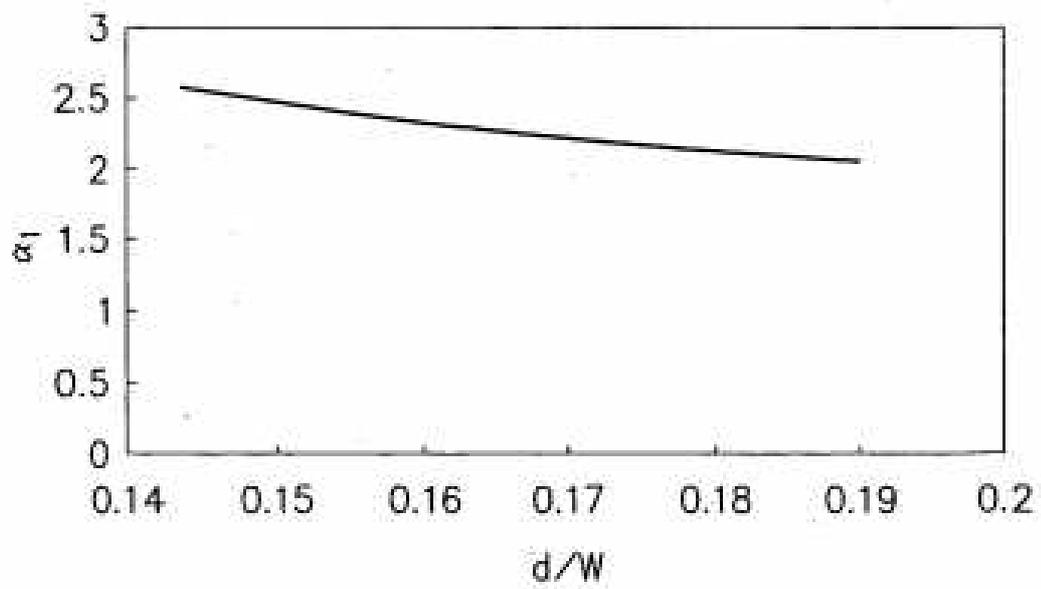
FIG. 8



F I G. 9



F I G. 10



F I G. 11

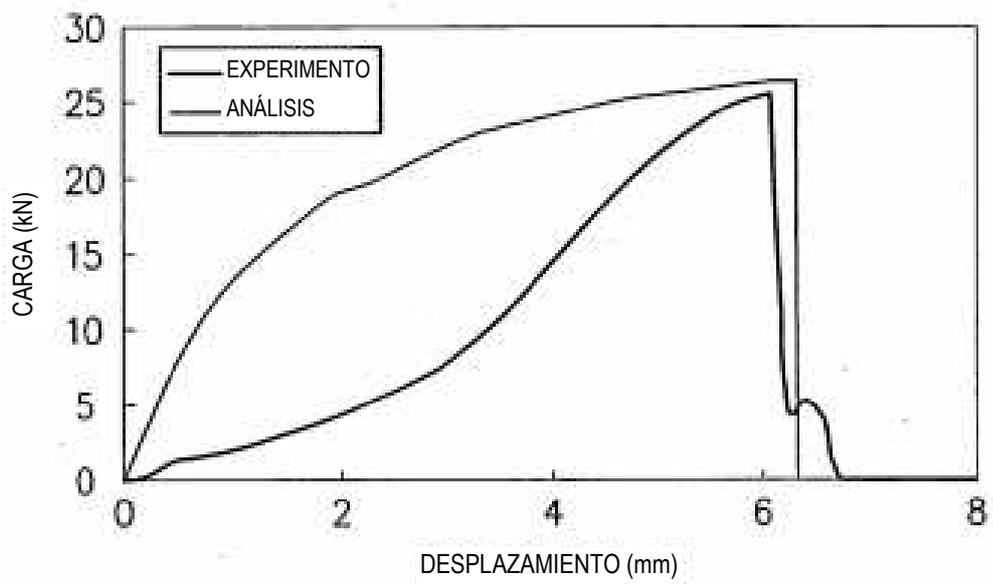


FIG. 12A

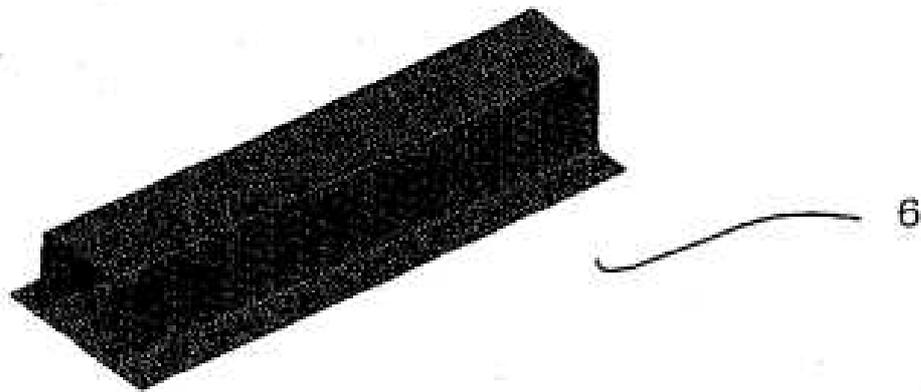


FIG. 12B



FIG. 12C

