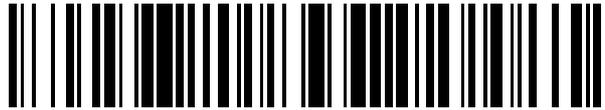


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 569 955**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/02** (2006.01)  
**C22C 38/04** (2006.01)  
**C22C 38/18** (2006.01)  
**C22C 38/28** (2006.01)  
**C21D 8/10** (2006.01)  
**C21D 9/14** (2006.01)  
**C21D 1/18** (2006.01)  
**C21D 1/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2005 E 05795706 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.03.2016 EP 1816227**

54 Título: **Tubo de acero para inflador de airbag y procedimiento de producción del mismo**

30 Prioridad:

**29.10.2004 JP 2004316337**  
**29.10.2004 US 622849 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.05.2016**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TAKANO, TAKASHI;**  
**ARAI, YUJI;**  
**KONDO, KUNIO y**  
**HITOSHIO, KEISUKE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 569 955 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**

Tubo de acero para inflador de airbag y procedimiento de producción del mismo

**Campo técnico**

5 La presente invención versa acerca de un tubo de acero para un inflador de airbag (un tubo de acero para ser utilizado en un inflador de airbag) que tiene una resistencia elevada al nivel de al menos 900 MPa y, preferentemente, al menos 1000 MPa de resistencia a la tracción junto con una buena tenacidad y una resistencia al estallido a baja temperatura, tal que no experimenta fractura por fragilidad a -40°C y, preferentemente, a -60°C y no tiene propagación de fisuras en una prueba de estallido con presión estática a tal baja temperatura, y acerca de un procedimiento para su fabricación.

**Técnica antecedente**

10 Los sistemas de airbag (cojín neumático) que se proporcionan para el asiento del conductor y el asiento del pasajero delantero para aumentar la seguridad de los automóviles ya están formando parte del equipamiento estándar. Un sistema convencional de airbag emplea un producto químico explosivo para generar un gas para inflar un airbag. Sin embargo, debido a un deseo de una respuesta en la velocidad del inflado del airbag y del control de la presión del gas de inflado, se ha desarrollado y se emplea cada vez más otro tipo de sistema de airbag, que almacena un gas a alta presión para inflar un airbag en un tubo de acero denominado inflador (o acumulador).

15 Un inflador típico tiene una estructura en la que un tubo de acero que tiene ambos extremos reducidos mediante estrechamiento está cerrado en un extremo mediante la soldadura de una placa de cierre al mismo y tiene un mecanismo de activación del airbag montado en el otro extremo. Cuando se detecta una colisión, se descarga de golpe el gas a alta presión almacenado en el inflador al interior del airbag. En consecuencia, un tubo de acero para un inflador de airbag experimenta esfuerzos en un periodo de tiempo sumamente breve con una tasa de deformación elevada. Por lo tanto, a diferencia de miembros estructurales convencionales, tales como cilindros de presión y tuberías de conducción, se requiere que un tubo de acero para un inflador de airbag tenga una resistencia elevada, una resistencia excelente al estallido y una buena tenacidad, además de una precisión dimensional elevada y una trabajabilidad y una soldabilidad buenas. Dado que los automóviles se utilizan incluso en climas fríos, se debería garantizar la resistencia al estallido a una temperatura de solo -40°C o inferior.

20 En los documentos JP-A 10-140238, JP-A 2002-194501, JP-A 2002-294339, JP-A 2003-171738, WO2004/003241, JP-A 2004-107756 y JP-A 2008-325641, por ejemplo, se describen un tubo de acero para un airbag que es adecuado para ser utilizado como un inflador y un procedimiento para su fabricación. Sin embargo, aunque la tecnología descrita en estas publicaciones de patente tiene como objetivo proporcionar un tubo de acero para un inflador de airbag que tenga una resistencia elevada y una tenacidad elevada, la resistencia a la tracción conseguida para los primeros cuatro documentos se encuentra al nivel de 800 MPa o 900 MPa y es, como mucho, de 947 MPa, y ninguno de los documentos da a conocer tubos que tengan una resistencia elevada del nivel de al menos 900 MPa junto con una excelente tenacidad.

**Divulgación de la invención**

35 Como resultado de la creciente tendencia en los últimos años hacia reducciones en el peso de los automóviles para aumentar el ahorro en el consumo de combustible, ha llegado a existir una demanda de un sistema de airbag que tenga un tamaño y un peso reducidos. Para satisfacer esta demanda, es necesario que un inflador tenga una presión elevada y un menor grosor de pared. Para lograr estos, existe una demanda de un tubo de acero para un inflador de airbag que tenga una mayor resistencia a la tracción que en el pasado mientras que tenga, al mismo tiempo, una excelente tenacidad.

40 Desde el punto de vista de la seguridad, también es importante que un tubo de acero para un inflador de airbag tenga una buena resistencia al estallido. Esta buena resistencia al estallido se demuestra en una prueba de estallido con presión estática a -40°C o inferior al no producirse una fractura por fragilidad y al no extenderse las fisuras por toda la longitud del tubo de acero y al no extenderse, preferentemente, en absoluto.

45 Un objeto de la presente invención es proporcionar un tubo de acero de resistencia elevada para un inflador de airbag que tiene una resistencia elevada al nivel de al menos 900 MPa y, preferentemente, al menos 1000 MPa y una tenacidad elevada, según pone de manifiesto un 100% de fractura dúctil en una prueba de impacto Charpy a -40°C o inferior, al igual que la buena resistencia descrita anteriormente al estallido, y un procedimiento para su fabricación.

50 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un tubo de acero de alta resistencia para un inflador de airbag que, además de las propiedades descritas anteriormente, tenga una precisión dimensional, una trabajabilidad y una soldabilidad buenas.

Según la presente invención, se pueden conseguir los objetos descritos anteriormente seleccionando una composición específica de acero para un tubo de acero y controlando el trabajo en frío aplicado al tubo, de forma que se obtenga una textura adecuada del acero.

5 Por lo tanto, la presente invención es un tubo de acero para un inflador de airbag que tiene una composición de acero que comprende, en masa porcentual, C: 0,05 - 0,20%, Si: 0,1 - 1,0%, P: como mucho 0,025%, S: como mucho 0,010%, Cr: 0,05 - 1,45%, Al: como mucho 0,10%, uno o ambos de Ti y Mn en cantidades que satisfagan las siguientes ecuaciones (1), (2) y (3),

$$Ti \leq 0,02\% \quad \dots \quad (1)$$

$$0,4\% \leq Mn + 40Ti \leq 1,2\% \quad \dots \quad (2),$$

$$10 \quad Mn \leq 1,0\% \quad \dots \quad (3),$$

15 Mo: 0 - 1,0%, Ni: 0 - 1,5%, V: 0 - 0,2%, B: 0 - 0,005%, Cu: 0 - 0,5%, Nb: 0 - 0,1%, Ca: 0 - 0,01%, Mg: 0 - 0,01%, REM: 0 - 0,01%, y un resto de Fe e impurezas, en el que la relación (denominada a continuación  $\{110\}L/T$ ) de la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano  $\{110\}$  medida en un corte transversal perpendicular a la dirección axial L del tubo de acero con respecto a la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano  $\{110\}$  medido en un corte transversal perpendicular a la dirección circunferencial del tubo de acero es, como mucho, 50 y el tubo de acero tiene una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa y una tenacidad  $vTrs100$  en la dirección circunferencial de  $-40^\circ C$  o inferior.

En una realización, la composición de acero contiene uno o más elementos seleccionados de al menos un grupo de los siguientes grupos (I), (II) y (III):

- 20 (I) uno o más de Mo: 0,05 - 1,0%, Ni: 0,05 - 1,5%, V: 0,01 - 0,2% y B: 0,0003 - 0,005%,  
 (II) uno o más de Cu: 0,05 - 0,5% y Nb: 0,003 - 0,1%, y  
 (III) uno o más de Ca: 0,0003 - 0,01%, Mg: 0,0003 - 0,01% y REM: 0,0003 - 0,01%.

25 Preferentemente, el valor de  $\{110\}L/T$  es, como mucho, 30 y, más preferentemente, es, como mucho, 20 con una resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa. Como resultado, se aumenta adicionalmente la tenacidad del tubo de acero, de forma que no se exhiba una fractura por fragilidad en una prueba de impacto Charpy a  $-60^\circ C$  y se exhiba una buena resistencia al estallido incluso a  $-60^\circ C$ .

Preferentemente, un tubo de acero para un inflador de airbag según la presente invención no experimenta un tratamiento térmico a una temperatura del punto de transformación  $Ac_1$  del acero o superior después de un trabajo en frío. Como resultado, se puede garantizar una precisión dimensional elevada.

30 Se puede fabricar un tubo de acero para un inflador de airbag según la presente invención por medio de un procedimiento que comprende fabricar un tubo inicial de un acero que tiene una composición preestablecida de acero según se ha descrito anteriormente, calentar el tubo hasta una temperatura de al menos el punto de transformación  $Ac_1$  del acero seguido por revenido, templar el tubo revenido a una temperatura inferior al punto de transformación  $Ac_1$ , luego llevando a cabo un trabajo en frío en el tubo, de forma que produzca una reducción total del área de, como mucho, un 65%, y de forma que la relación  $\{110\}L/T$  sea, como mucho, 50 y, preferentemente, subsiguientemente someter al tubo a un recocido para la atenuación de tensiones a una temperatura inferior al punto de transformación  $Ac_1$ .

40 El trabajo en frío puede llevarse a cabo una vez o varias veces. Al llevar a cabo este trabajo, de forma que la reducción del área (la reducción total del área cuando se lleva a cabo el trabajo varias veces) sea como mucho el 65%, se puede obtener una estructura que satisfaga los requisitos descritos anteriormente para  $\{110\}L/T$ . En particular, cuando la reducción del área es, como mucho, de 40%, es posible fabricar un tubo de acero que tenga un valor de  $\{110\}L/T$ , como mucho, 30 y que exhiba una tenacidad y una resistencia al estallido aún mejores.

45 Según la presente invención, se puede proporcionar de forma estable con certeza un tubo de acero que tenga una resistencia elevada y una excelente tenacidad a baja temperatura. Tiene una resistencia elevada al nivel de al menos 900 MPa y, preferentemente, al menos 1000 MPa de resistencia a la tracción, muestra un 100% de fractura dúctil en una prueba de impacto Charpy a  $-40^\circ C$  o inferior y, preferentemente, a  $-60^\circ C$  o inferior, y no exhibe una propagación de fisuras en una prueba de estallido con presión estática a  $-40^\circ C$  y, preferentemente a  $-60^\circ C$ . Según se muestra a continuación en ejemplos, los resultados de una prueba de impacto Charpy y los resultados de una prueba de estallido con presión estática se correlacionan estrechamente entre sí. En consecuencia, aunque no se lleve a cabo una prueba de estallido con presión estática en la que se rompa un tubo de acero, se puede prever la resistencia al estallido de un tubo de acero a una baja temperatura a partir de los resultados de una prueba de impacto Charpy.

Se puede fabricar este tubo de acero para un inflador de airbag sin llevar a cabo un tratamiento térmico a una temperatura superior al punto de transformación  $Ac_1$  después de un trabajo en frío, de forma que tenga una buena precisión dimensional, y su trabajabilidad y soldabilidad también son buenas.

5 La presente invención hace que sea posible reducir el tamaño y el peso de un sistema de airbag, de forma que contribuya a una mejora en el ahorro en el consumo de combustible de los automóviles.

**Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 es un diagrama esquemático que explica la superficie perpendicular a la dirección axial L de un tubo de acero (la superficie L) y la superficie perpendicular a la dirección circunferencial T del tubo de acero (la superficie T).

**Mejor modo para llevar a cabo la invención**

10 **(A) Composición química del acero**

Un tubo de acero para un inflador de airbag según la presente invención tiene la composición específica descrita anteriormente de acero. Esta composición de acero tiene contenido de Ti y Mn que satisfacen las siguientes ecuaciones (1) y (2) (en las ecuaciones, Ti y Mn significan sus contenidos respectivos en masa porcentual):

$$Ti \leq 0,02\% \quad \dots \quad (1)$$

15  $0,4\% \leq Mn + 40Ti \leq 1,2\% \quad \dots \quad (2)$

El contenido de uno cualquiera de Ti y Mn puede ser cero por ciento.

Las razones por las que los intervalos del contenido de cada uno de los elementos en una composición de acero según la presente invención están limitados según se ha descrito anteriormente son las siguientes. Los porcentajes en la composición de acero son todos porcentajes en masa.

20 **C: 0,05 - 0,20%**

El carbono (C) es un elemento que es eficaz para aumentar de forma económica la resistencia del acero. Si el contenido del mismo es inferior a 0,05%, es difícil obtener una resistencia deseada a la tracción de al menos 900 MPa y, preferentemente, al menos 1000 MPa. Por otra parte, si el contenido de C supera el 0,20%, se reducen la trabajabilidad y la soldabilidad.

25 Un intervalo preferente para el contenido de C es de 0,08 - 0,20%, y un intervalo más preferente es de 0,12 - 0,17%.

**Si: 0,1 - 1,0%**

30 El silicio (Si) tiene una acción desoxidante, y también aumenta la endurecibilidad y la resistencia del acero. Para obtener de forma adecuada estos efectos, se hace que el contenido de Si sea de al menos un 0,1%. Sin embargo, si el contenido de Si supera el 1,0%, se reduce la tenacidad. Un intervalo preferente del contenido de Si es de 0,2 - 0,5%.

**P: como mucho 0,025%**

El fósforo (P) provoca una reducción en la tenacidad debida a una segregación del plano de exfoliación. La reducción de la tenacidad se vuelve particularmente notable cuando el contenido de P supera el 0,025%. Preferentemente, el contenido de P es, como mucho, 0,020% y aún más preferentemente, como mucho, 0,015%.

35 **S: como mucho 0,010%**

El azufre (S) reduce la tenacidad, particularmente en la dirección T, es decir, la dirección circunferencial de un tubo de acero. En particular, si el contenido de S supera el 0,010%, hay una reducción notable en la tenacidad en la dirección T de un tubo de acero. Preferentemente, el contenido de S es, como mucho, 0,005% y aún más preferentemente, como mucho, 0,003%.

40 **Cr: 0,05 - 1,45%**

El cromo (Cr) es eficaz para aumentar la resistencia y la tenacidad del acero. Si el contenido del mismo es inferior al 0,05%, es difícil obtener este efecto. Sin embargo, si su contenido supera el 1,45%, da lugar a una reducción en la tenacidad de las soldaduras. Un intervalo preferente para el contenido de Cr es de 0,2 - 1,0%, y un intervalo más preferente es de 0,4 - 0,8%.

45 **Al: como mucho 0,10%**

5 El aluminio (Al) es un elemento que tiene una acción desoxidante y que es eficaz para aumentar la tenacidad y la trabajabilidad. Sin embargo, la presencia de Al en una cantidad superior al 0,10% provoca que se produzcan notablemente marcas de arena. El contenido de Al puede encontrarse al nivel de una impureza, por lo que no tiene un límite inferior particular, pero es, preferentemente, de al menos 0,005%. Un intervalo preferente para el contenido de Al es de 0,005 - 0,05%. En la presente invención, el contenido de Al hace referencia al contenido de Al soluble en ácido (denominado Al sol.).

10 Con la composición básica de acero descrita anteriormente, para garantizar una tenacidad requerida para un tubo de acero para un inflador de airbag y para obtener una resistencia elevada al nivel de al menos 900 MPa y, preferentemente, al menos 1000 MPa, se controlan los contenidos de Mn y de Ti, de forma que se satisfagan las ecuaciones (1) y (2) descritas anteriormente.

**Ti: 0 - 0,02%**

No es necesario añadir titanio (Ti) a una composición de acero de la presente invención, pero cuando se añade, se hace su contenido como mucho un 0,02%, de forma que se satisfaga la ecuación (1). No hay un límite inferior particular, y puede estar presente al nivel de una impureza.

15 Si se añade, Ti es un elemento que tiene una acción desoxidante. Además, tiene una fuerte afinidad por N, y a temperaturas elevadas, existe de forma estable como un nitruro de Ti. En consecuencia, suprime el crecimiento de la granularidad de los cristales en el momento de laminación en caliente y contribuye a un aumento de la tenacidad. Para obtener tal efecto del Ti, el contenido de Ti es, preferentemente, de al menos 0,003%. Sin embargo, si el contenido de Ti supera el 0,02%, la tenacidad termina disminuyendo. En consecuencia, se añade Ti, preferentemente, en el intervalo de 0,003 - 0,02%.

**Mn: como mucho 1,0%**

El manganeso (Mn) es un elemento que tiene una acción desoxidante y que es eficaz para aumentar la endurecibilidad del acero y para aumentar la resistencia y la tenacidad.

25 Puede que no se obtengan una dureza y una tenacidad suficientes cuando el contenido del mismo es inferior al 0,20%, por lo que el contenido de Mn es, preferentemente, de al menos 0,20%. Por otra parte, si el contenido de Mn supera el 1,0%, el MnS puede engrosar, y el MnS engrosado, cuando se extiende durante la laminación en caliente, provoca que se reduzca la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de Mn es, preferentemente, de 0,20 - 1,0% y más preferentemente de 0,4 - 0,8%.

30 Se controlan los contenidos de Ti y de Mn de forma que se satisfaga la ecuación (2). Si el valor de (Mn + 40Ti) es menor que un 0,4% o mayor que un 1,2%, no se puede obtener la resistencia elevada y/o la tenacidad elevada deseadas. Preferentemente, el valor de (Mn + 40Ti) es de al menos un 0,6% y, como mucho, 1,0%.

35 Con el objeto de mejorar adicionalmente la resistencia, la resistencia al estallido y/o la soldabilidad de un acero, además de los elementos descritos anteriormente, se pueden añadir uno o más de Mo, Ni, Cu, V, Nb, B, Ca, Mg y REM en los intervalos descritos a continuación a la composición de acero para un tubo de acero según la presente invención.

**Mo, Ni, B, V:**

Cada uno de molibdeno (Mo), níquel (Ni), boro (B) y vanadio (V) tiene el efecto de aumentar la endurecibilidad, por lo que se pueden añadir uno o más de estos como un elemento opcional, si es necesario.

40 Mo también tiene el efecto de aumentar la resistencia mediante un endurecimiento por solubilización y un endurecimiento estructural. Se obtienen estos efectos de Mo incluso cuando su contenido se encuentra al nivel de una impureza, pero para obtener un efecto más apreciable, el contenido de Mo es, preferentemente, de al menos 0,05%. Sin embargo, si el contenido de Mo supera el 0,50%, se endurecen las soldaduras y, por lo tanto, se reduce la tenacidad. Por lo tanto, cuando se añade, el contenido de Mo es preferentemente de 0,05 - 1,0%, más preferentemente de 0,05 - 0,50% y aún más preferentemente de 0,1 - 0,40%.

45 Ni también tiene el efecto de aumentar la tenacidad. Se obtiene este efecto de Ni incluso cuando su contenido se encuentra al nivel de una impureza, pero para obtener un efecto más apreciable, el contenido de Ni es, preferentemente, de al menos un 0,05%. Sin embargo, Ni es un elemento caro, y los costes aumentan notablemente en particular cuando el contenido del mismo supera un 1,5%. Por lo tanto, cuando se añade Ni, su contenido es preferentemente de 0,05 - 1,5% y más preferentemente de 0,1 - 1,0%.

50 Se obtiene el efecto de B sobre el aumento de la endurecibilidad incluso cuando su contenido se encuentra al nivel de una impureza, pero para obtener un efecto más apreciable, el contenido de B es, preferentemente, de al menos un 0,0003%. Sin embargo, si el contenido de B supera un 0,005%, se reduce la tenacidad. Por lo tanto, cuando se añade B, su contenido es, preferentemente, de 0,0003 - 0,005%. Un intervalo más preferente para el contenido de B es de 0,0003 - 0,002%.

Se obtiene el efecto de V sobre el aumento de la endurecibilidad incluso cuando su contenido se encuentra al nivel de una impureza. V también tiene el efecto de aumentar la resistencia mediante un endurecimiento estructural. Se obtiene este efecto de V cuando su contenido es de al menos un 0,01%, pero si su contenido supera el 0,2%, se reduce la tenacidad. En consecuencia, cuando se añade V, su contenido es preferentemente de 0,01 - 0,2%. Un intervalo más preferente para el contenido de V es de 0,03 - 0,10%.

#### Cu, Nb:

Cada uno de cobre (Cu) y niobio (Nb) tiene el efecto de aumentar la tenacidad por lo que, si es necesario, se puede añadir uno o ambos de estos elementos como elementos opcionales.

Se puede obtener el efecto de Cu sobre el aumento de la tenacidad incluso cuando su contenido se encuentra al nivel de una impureza, pero para obtener un efecto más apreciable, el contenido de Cu es, preferentemente, de al menos un 0,05% y más preferentemente al menos un 0,1%. Sin embargo, Cu reduce la trabajabilidad en caliente del acero, por lo que cuando se añade Cu, preferentemente se añade Ni para garantizar una trabajabilidad en caliente. Si el contenido de Cu supera el 0,5%, puede no ser posible garantizar una buena trabajabilidad en caliente incluso si se añade Ni. En consecuencia, el contenido de Cu, cuando se añade, es preferentemente de 0,05 - 0,5%.

Se puede obtener el efecto de Nb sobre el aumento de la tenacidad incluso cuando su contenido se encuentra al nivel de una impureza, pero para obtener un efecto más apreciable, el contenido de Nb es, preferentemente, de al menos un 0,003% y más preferentemente de al menos un 0,005%. Sin embargo, si el contenido de Nb supera el 0,1%, la tenacidad termina reduciéndose. En consecuencia, cuando se añade, el contenido de Nb es, preferentemente, de 0,003 - 0,1%. Un intervalo más preferente para el contenido de Nb es de 0,003 - 0,03% y un intervalo aún más preferente es de 0,005 - 0,02%.

#### Ca, Mg, REM:

Cuando se desea garantizar una resistencia aún mejor al estallido para un tubo de acero para un inflador de airbag, se pueden añadir según sea necesario uno o más de calcio (Ca), magnesio (Mg) y metales de tierras raras (REM) como un elemento opcional.

Cada uno de estos elementos tiene el efecto de aumentar adicionalmente la resistencia al estallido al mejorar la anisotropía de la tenacidad y mejorar la tenacidad en la dirección T de un tubo de acero. Se puede obtener este efecto incluso cuando el contenido se encuentra al nivel de una impureza, pero para obtener un efecto más apreciable, el contenido de cualquiera de estos elementos es, preferentemente, de al menos un 0,0003%. Sin embargo, si el contenido de cualquiera de estos elementos supera un 0,01%, las inclusiones se forman en agrupaciones, dando lugar a la incidencia de marcas de arena. En consecuencia, el contenido de cada uno de estos elementos, cuando se añaden, es preferentemente de 0,0003 - 0,01% y más preferentemente de 0,0005 - 0,003%.

#### (B) {110}L/T

Según se muestra en la Figura 1, cuando se mide la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano {110} tanto en un corte transversal perpendicular a la dirección axial L del tubo de acero (la superficie mostrada por un rayado vertical y denominada a continuación superficie L) y en un corte transversal perpendicular a la dirección circunferencial T (la superficie mostrada por un rayado diagonal y denominada a continuación superficie T), la relación de la relación de intensidad integrada de rayos X sobre la superficie L y la relación de intensidad integrada de rayos X sobre la superficie T es denominada {110}L/T.

Como se expone en el documento JP-A 2003-171738, la relación de intensidad integrada de rayos X medida para el plano {110} de acero varía mucho con las condiciones de fabricación, y la relación de la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano {110} sobre la superficie L con respecto a la de la superficie T (es decir, {110}L/T) puede ser utilizada como un parámetro para evaluar la anisotropía entre la dirección L y la dirección T de la textura del acero. La relación de intensidad integrada de rayos X es un valor calculado dividiendo el área de un pico asignado a una orientación dada del plano, tal como el plano {110} en un gráfico de un diagrama de difracción de rayos X obtenido con una muestra en sección transversal por el área de un pico asignado a la misma orientación del plano en un gráfico obtenido con una muestra que tiene una orientación aleatoria de los cristales, tal como una muestra en polvo.

En un tubo de acero según la presente invención, el valor de {110}L/T que es la relación de la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano {110} medida en la superficie L con respecto a la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano {110} medida en la superficie T es, como mucho, 50. Si {110}L/T supera 50, la anisotropía de la textura se vuelve tan grande que se reduce la tenacidad del tubo de acero. Como resultado, se produce una fractura por fragilidad durante una prueba de impacto Charpy a -40°C, no se puede exhibir una buena resistencia al estallido a una temperatura de -40°C (sin propagación de fisuras en una prueba de estallido con presión estática).

Preferentemente, el valor de {110}L/T es, como mucho, 30. Más preferentemente, es, como mucho, 20, y la resistencia a la tracción es de al menos 1000 MPa. Un tubo de acero para el cual este valor es de al menos 30 o al

menos 20 con una resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa tiene una mayor tenacidad. Por lo tanto, no experimenta una fractura por fragilidad en una prueba de impacto Charpy a  $-60^{\circ}\text{C}$  y exhibe una buena resistencia al estallido a  $-60^{\circ}\text{C}$ .

5 El valor de  $\{110\}L/T$  de un tubo de acero varía principalmente con el grado de trabajo (reducción del área) en el momento del trabajo en frío, y hay una tendencia para que  $\{110\}L/T$  aumente según aumenta la reducción del área. En consecuencia, en un procedimiento de fabricación de un tubo de acero según la presente invención, el trabajo en frío de un tubo inicial se lleva a cabo, preferentemente, de forma que  $\{110\}L/T$  sea, como mucho, 50. Sin embargo, si se satisface la composición de acero definida por la presente invención y si  $\{110\}L/T$  es, como mucho, 50, se obtendrá un tubo de acero que satisfaga tanto la resistencia elevada como la tenacidad elevada descritas anteriormente, de forma que se pueda fabricar un tubo de acero según la presente invención mediante un procedimiento distinto del procedimiento de fabricación descrito a continuación.

### (C) Procedimiento de fabricación

15 Se puede fabricar un tubo de acero para un inflador de airbag según la presente invención al someter a un tubo inicial fabricado de un acero que tiene la composición descrita anteriormente a las siguientes etapas en este orden: calentar hasta una temperatura de la menos el punto de transformación  $Ac_1$  del acero seguido por el revenido, templar a una temperatura inferior al punto de transformación  $Ac_1$ , trabajo en frío, y preferentemente recocado para la atenuación de tensiones a una temperatura inferior al punto de transformación  $Ac_1$ .

20 El tubo inicial puede ser bien un tubo de acero sin costuras o un tubo soldado de acero, pero es preferible un tubo de acero sin costuras desde el punto de vista de la fiabilidad. No hay limitaciones particulares sobre un procedimiento para fabricar un tubo de acero sin costuras o un tubo soldado de acero.

Para proporcionar el tubo de acero con la resistencia requerida a la tracción, es endurecido mediante calentamiento hasta al menos el punto  $Ac_1$  y un revenido subsiguiente, y luego se lleva a cabo un templado a una temperatura inferior al punto  $Ac_1$ .

25 Si la temperatura de calentamiento antes del revenido es inferior al punto de transformación  $Ac_1$ , no se pueden garantizar la resistencia y la tenacidad elevadas necesarias.

Preferentemente, la temperatura de calentamiento descrita anteriormente es una temperatura igual o superior al punto de transformación  $Ac_3$  del acero, que se encuentra en la región austenítica.

30 Un calentamiento a una temperatura elevada durante un periodo prolongado provoca que se forme una gran cantidad de capa de óxido sobre la superficie de un tubo de acero, y puede reducir la calidad de la superficie y la resistencia al estallido. Por lo tanto, el calentamiento se lleva a cabo, preferentemente, mediante un calentamiento rápido hasta una temperatura predeterminada seguido de un breve periodo de retención. El calentamiento rápido puede llevarse a cabo a una velocidad de aumento de temperatura de al menos  $10^{\circ}\text{C}/\text{seg}$ .

35 Se puede conseguir tal calentamiento rápido mediante un calentamiento por inducción de alta frecuencia o un calentamiento directo por resistencia, por ejemplo, pero no hay restricciones particulares sobre el procedimiento de calentamiento. Un procedimiento preferente de calentamiento es un calentamiento por inducción de alta frecuencia.

40 Particularmente en el caso de tal calentamiento rápido durante un breve periodo, una temperatura de calentamiento preferente se encuentra en el intervalo desde 900 hasta  $1000^{\circ}\text{C}$ , y más preferentemente desde 900 hasta  $960^{\circ}\text{C}$ . Si la temperatura de calentamiento es inferior a  $900^{\circ}\text{C}$ , puede que no se consiga una austenitización completa durante el calentamiento durante un breve periodo, haciendo que sea imposible, de ese modo, formar una microestructura deseada. Si la temperatura de calentamiento supera  $1000^{\circ}\text{C}$ , se pueden engrosar  $\gamma$  granos y se puede reducir la tenacidad.

Preferentemente, se lleva a cabo el calentamiento hasta una temperatura de al menos el punto de transformación  $Ac_1$  en una atmósfera que tiene un potencial de oxigenación tan bajo como sea posible desde el punto de vista de suprimir la formación de la capa superficial de óxido. Una atmósfera reductora es aún más preferente.

45 El enfriamiento después de que se calienta el tubo de acero a una temperatura de al menos el punto de transformación  $Ac_1$  y, preferentemente, de al menos el punto de transformación  $Ac_3$  por revenido (preferentemente, a una velocidad media de enfriamiento de al menos  $5^{\circ}\text{C}/\text{seg}$  en el intervalo de temperatura de 850 -  $500^{\circ}\text{C}$ ) para obtener una resistencia elevada deseada de una forma estable y fiable. Preferentemente, la velocidad de enfriamiento es de al menos  $20^{\circ}\text{C}/\text{seg}$ . Tal revenido se puede llevar a cabo mediante revenido por agua o un procedimiento similar.

50 Entonces, se temple un tubo de acero que se enfría aproximadamente hasta la temperatura ambiente mediante revenido a una temperatura del punto de transformación  $Ac_1$  o inferior para proporcionar al tubo la resistencia elevada y una buena resistencia al estallido deseadas. Es difícil obtener las propiedades descritas anteriormente de una forma estable y fiable si la temperatura de templado supera el punto de transformación  $Ac_1$ . El templado se lleva

a cabo, preferentemente, manteniendo el tubo de acero durante al menos 20 minutos a una temperatura en el intervalo de 450 - 650°C.

5 Un tubo inicial que ha experimentado un endurecimiento y un templado de esta manera es sometido entonces a un trabajo en frío para darle una terminación de dimensiones y un estado de la superficie deseados. No hay una limitación particular sobre el procedimiento de trabajo en frío, pero normalmente se lleva a cabo mediante estirado en frío o laminado en frío.

10 En el procedimiento de la presente invención, después de este trabajo en frío, no se somete al tubo a un tratamiento térmico a una temperatura del punto  $Ac_1$  o superior, de forma que el grado de trabajo en este trabajo en frío gobierne la anisotropía de la textura del tubo de acero, es decir, el valor de  $\{110\}L/T$ . En concreto, según aumenta el grado de trabajo, hay una tendencia de que aumenten la anisotropía y, por lo tanto, el valor de  $\{110\}L/T$ . Por esta razón, el trabajo en frío se lleva a cabo de forma que la reducción del área sea, como mucho, del 65%. Si la reducción del área se vuelve mayor del 65%, el valor de  $\{110\}L/T$  del tubo de acero después de trabajarlo puede volverse mayor que 50. Preferentemente, la reducción del área es, como mucho, del 40%. Como resultado, se hace posible obtener un tubo de acero que tiene una resistencia elevada y una tenacidad excelente en el que el valor de  $\{110\}L/T$  es de solo, como mucho, 30, de forma que el tubo exhiba una buena resistencia al estallido incluso a -60°C.

15 El trabajo en frío puede llevarse a cabo dos o más veces. En este caso, se hace que la reducción total del área sea, como mucho, del 65%.

20 Después de un trabajo en frío, se lleva a cabo, preferentemente, un recocido para la atenuación de tensiones a una temperatura inferior al punto de transformación  $Ac_1$  para eliminar tensiones que fueron introducidas durante el trabajo en frío sin reducir la tenacidad. Cuando el trabajo en frío se lleva a cabo dos o más veces, este recocido para la atenuación de tensiones se lleva a cabo, preferentemente, después de cada vez que se lleva a cabo un trabajo en frío. Preferentemente, se lleva a cabo el recocido para la atenuación de tensiones manteniendo el tubo en un intervalo de temperatura de 400 - 650°C durante al menos 10 minutos. Sin embargo, el extremo inferior de este intervalo de temperatura puede llegar posiblemente al intervalo de temperatura de fragilidad azul del acero, por lo que el recocido para la atenuación de tensiones se lleva a cabo, preferentemente, a una temperatura elevada en este intervalo tal como al menos 450°C y más preferentemente al menos 500°C. Por otra parte, la resistencia a la tracción de un tubo de acero varía con las condiciones de este recocido para la atenuación de tensiones, y un a temperatura inferior produce una mayor resistencia a la tracción. Al seleccionar de forma apropiada las condiciones de recocido para la atenuación de tensiones, se puede obtener un tubo de acero con una resistencia elevada al nivel de al menos 1000 MPa sin provocar una fragilidad azul.

25 Por lo tanto, según la presente invención, se puede realizar un tubo de acero para un inflador de airbag que tenga una resistencia elevada al nivel de al menos 900 MPa y, preferentemente, al menos 1000 MPa de resistencia a la tracción con buena tenacidad, de forma que exhiba una fractura dúctil del 100% en una prueba de impacto Charpy a -40°C y preferentemente a -60°C o inferior y no tenga una propagación de fisuras en una prueba de estallido con presión interna a -40°C y preferentemente a -60°C. En consecuencia, un tubo de acero para un inflador de airbag según la presente invención puede soportar completamente aumentos en la presión y reducciones en los grosores de pared de un inflador de airbag.

### **Ejemplos**

40 Se ilustrará la presente invención mediante los siguientes ejemplos. Se deberían interpretar estos ejemplos en todos los sentidos como ilustrativos y no restrictivos. En los ejemplos, se utilizaron aceros  $n^{os}$  1 - 21 que tienen las composiciones mostradas en la Tabla 1, y tenían puntos de transformación  $Ac_1$  en el intervalo de 700 a 760°C y puntos de transformación  $Ac_3$  en el intervalo de 820 a 880°C.

#### **(Ejemplo 1)**

45 Utilizando lingotes de acero que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1, se fabricaron tubos iniciales en forma de tubos sin costura de acero que tienen dimensiones nominales de un diámetro externo de 42,7 mm y un grosor de pared de 3,9 mm mediante un procedimiento de trabajo en caliente que incluía calentar hasta 1250°C y luego llevar a cabo una perforación y un laminado mediante un sistema convencional de fresado con mandril perforador Mannesmann. De las composiciones de acero mostradas en la Tabla 1, los  $n^{os}$  17 - 19 tenían un valor de (Mn + 40Ti) que se encontraba fuera del intervalo definido por la presente invención, y los  $n^{os}$  20 y 21 tenían un contenido de Cr que se encontraba fuera del intervalo definido en la misma. Cada uno de estos fue un acero comparativo.

55 Según se resume en la Tabla 2, se calentó cada tubo inicial durante 10 minutos a 920°C en un horno convencional de paso de peregrino (con una velocidad de aumento de la temperatura de 0,3 °C/segundo en una atmósfera de aire) y luego revenido con agua mediante enfriamiento por agua (en la Tabla 2, se indica la temperatura de calentamiento mediante Q), después de lo cual fue templado a una temperatura no superior al punto de transformación  $Ac_1$  (mostrándose la temperatura mediante T en la Tabla 2) en un horno de paso de peregrino (atmósfera: aire) durante 30 minutos. Durante el enfriamiento con agua, la velocidad de enfriamiento en un intervalo

de temperatura de 850 - 500°C fue de al menos 20 °C/segundo. Entonces, se aplicó un trabajo en frío al tubo inicial mediante estirado. En este ejemplo, según se muestra en la Tabla 2, se llevó a cabo un trabajo en frío dos veces, y la reducción total del área fue de un 63,2%. Después de que se llevó a cabo cada vez el estirado en frío, se llevó a cabo un recocido para la atenuación de tensiones a una temperatura inferior al punto de transformación  $Ac_1$  (mostrándose la temperatura mediante SR en la Tabla 2) durante 20 minutos, y se obtuvo un tubo de acero que tenía un diámetro externo de 24,0 mm y un grosor de pared de 2,60 mm.

#### (Ejemplo 2)

Se fabricaron tubos de acero de la misma forma que en el Ejemplo 1, pero en este ejemplo, según se muestra en la Tabla 2, del estirado en frío puede llevarse a cabo dos veces en el Ejemplo 1, no se llevaron a cabo el segundo estirado en frío y el subsiguiente recocido para la atenuación de tensiones. En consecuencia, la reducción del área mediante estirado en frío fue de un 39,1%, y la forma final del tubo de acero fue un diámetro externo de 32,0 mm y un grosor de pared de 3,20 mm.

#### (Ejemplo comparativo 1)

Se fabricó un tubo de acero de la misma forma que en el Ejemplo 1, pero la forma del tubo inicial fue un diámetro externo de 50,8 mm y un grosor de pared de 4,8 mm. Después de que se sometió a un tubo inicial a un tratamiento térmico para endurecerlo y templearlo de la misma forma que en el Ejemplo 1, según se muestra en la Tabla 2, se llevó a cabo un estirado en frío tres veces. Después de cada vez que se llevó a cabo un estirado, se llevó a cabo un recocido para la atenuación de tensiones de la misma forma que en el Ejemplo 1. La reducción total del área mediante estirado en frío fue de un 74,8% y la forma final del tubo de acero fue un diámetro externo de 24,0 mm y un grosor de pared de 2,60 mm. Según se describe a continuación, en un tubo de acero fabricado en este ejemplo, la reducción del área mediante un trabajo en frío fue demasiado elevada, de forma que el valor de  $\{110\}L/T$  fue mayor que 50 para cada tipo de acero. En consecuencia, los tubos de acero de este ejemplo fueron todos ejemplos comparativos.

#### (Ejemplo 3)

Se fabricó un tubo de acero de la misma forma que en el Ejemplo 1, pero la forma del tubo inicial fue un diámetro externo de 50,8 mm y un grosor de pared de 4,0 mm. Después de que se sometió al tubo inicial a un tratamiento térmico para endurecerlo y templearlo de la misma forma que en el Ejemplo 1, según se muestra en la Tabla 2, se llevó a cabo un estirado en frío una vez con una reducción del área de un 40,7%, y entonces se llevó a cabo un recocido para la atenuación de tensiones de la misma forma que en el Ejemplo 1. La forma final del tubo de acero fue un diámetro externo de 40,0 mm y un grosor de pared de 3,00 mm.

#### (Ejemplo 4)

Se fabricó un tubo de acero de la misma forma que en el Ejemplo 1, pero la forma del tubo inicial fue la misma que para el Ejemplo 3 con un diámetro externo de 50,8 mm y un grosor de pared de 4,0 mm. Después de que se sometió al tubo inicial al tratamiento térmico para endurecerlo y templearlo de la misma forma que en el Ejemplo 1, según se muestra en la Tabla 2, se llevó a cabo un estirado en frío una vez con una reducción del área de 23,4%, y luego se llevó a cabo un recocido para la atenuación de tensiones de la misma forma que en el Ejemplo 1. La forma final del tubo de acero fue un diámetro externo de 45,0 mm y un grosor de pared de 3,45 mm.

ES 2 569 955 T3

Tabla 1

Acero nº	Composición del acero (% en masa)																	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al sol.	Mo	Ni	V	B	Cu	Nb	Ca	Mg	REM	Mn + 40Ti
1	0,15	0,31	0,81	0,007	0,001	0,63	0,008	0,035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,13
2	0,15	0,30	0,55	0,015	0,002	0,56	0,001	0,035	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59
3	0,14	0,31	0,45	0,015	0,002	0,52	0,002	0,029	-	0,22	-	-	-	-	-	-	-	0,53
4	0,16	0,29	0,53	0,011	0,001	0,64	0,009	0,032	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	0,89
5	0,16	0,34	0,41	0,012	0,001	0,61	0,011	0,033	-	-	-	0,0011	-	-	-	-	-	0,85
6	0,09	0,31	0,47	0,009	0,002	0,60	0,013	0,033	0,32	0,25	-	-	-	-	-	-	-	0,99
7	0,15	0,32	0,45	0,008	0,001	0,56	0,011	0,033	0,17	-	-	0,0021	-	-	-	-	-	0,89
8	0,16	0,35	0,45	0,009	0,002	0,58	0,013	0,025	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	0,97
9	0,13	0,27	0,43	0,012	0,002	0,55	0,011	0,022	-	-	-	-	-	0,018	-	-	-	0,87
10	0,15	0,30	0,50	0,008	0,001	0,60	0,011	0,035	0,32	0,24	-	-	0,32	0,025	-	-	-	0,94
11	0,15	0,30	0,51	0,015	0,002	0,62	0,008	0,029	-	-	-	-	-	-	0,0023	-	-	0,83
12	0,14	0,32	0,44	0,013	0,002	0,66	0,009	0,032	-	-	-	-	-	-	-	0,0008	-	0,80
13	0,16	0,29	0,55	0,012	0,001	0,64	0,011	0,033	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0015	0,99
14	0,16	0,34	0,52	0,012	0,001	0,59	0,013	0,033	0,31	-	-	-	-	-	0,0021	-	-	1,04
15	0,15	0,32	0,45	0,008	0,002	0,56	0,013	0,025	-	-	-	-	0,25	0,021	0,0021	0,0011	-	0,97
16	0,16	0,33	0,43	0,009	0,001	0,58	0,011	0,022	0,30	0,25	-	-	0,30	0,022	0,0023	-	-	0,87
17	0,15	0,31	1,51	0,008	0,001	0,60	0,009	0,035	-	-	-	-	0,31	0,019	-	-	-	1,87
18	0,16	0,30	0,62	0,015	0,002	0,56	0,019	0,035	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	1,38
19	0,12	0,31	0,23	0,008	0,001	0,56	0,004	0,035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39
20	0,15	0,30	0,70	0,015	0,002	1,54	0,011	0,035	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	1,14
21	0,15	0,30	0,65	0,015	0,002	-	0,011	0,035	0,29	-	-	-	-	0,021	-	-	-	1,09

Tabla 2

Etapa	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo comparativo 1	Ejemplo 3	Ejemplo 4
Fabricación del tubo en caliente (perforación, laminado)	O.D.: 42,7 mm W.T.: 3,9 mm	O.D.: 42,7 mm W.T.: 3,9 mm	O.D.: 50,8 mm W.T.: 4,8 mm	O.D.: 50,8 mm W.T.: 4,0 mm	O.D.: 50,8 mm W.T.: 4,0 mm
Temperatura de calentamiento para revenido	Q: 920°C	Q: 920°C	Q: 920°C	Q: 920°C	Q: 920°C
Temperatura para el templado	T: inferior a Ac <sub>1</sub>	T: inferior a Ac <sub>1</sub>	T: inferior a Ac <sub>1</sub>	T: inferior a Ac <sub>1</sub>	T: inferior a Ac <sub>1</sub>
Primer estirado en frío	O.D.: 32,0 mm W.T.: 3,20 mm R.O.A.: 39,1%	O.D.: 32,0 mm W.T.: 3,20 mm R.O.A.: 39,1%	O.D.: 42,7 mm W.T.: 3,9 mm R.O.A.: 31,5%	O.D.: 40,0 mm W.T.: 3,00 mm R.O.A.: 40,7%	O.D.: 45,0 mm W.T.: 3,45 mm R.O.A.: 23,4%
Primer recocido para la atenuación de tensiones	SR: inferior a Ac <sub>1</sub>	SR: inferior a Ac <sub>1</sub>	SR: inferior a Ac <sub>1</sub>	SR: inferior a Ac <sub>1</sub>	SR: inferior a Ac <sub>1</sub>
Segundo estirado en frío	O.D.: 24,0 mm W.T.: 2,60 mm R.O.A.: 39,6% (Total 63,2%)		O.D.: 32,0 mm W.T.: 3,20 mm R.O.A.: 39,1% (Total 58,3%)		
Segundo recocido para la atenuación de tensiones	SR: inferior a Ac <sub>1</sub>		SR: inferior a Ac <sub>1</sub>		
Tercer estirado en frío			O.D.: 24,0 mm W.T.: 2,60 mm R.O.A.: 39,6% (Total 74,8%)		
Tercer recocido para la atenuación de tensiones			SR: inferior a Ac <sub>1</sub>		
O.D. = diámetro externo; W.T. = grosor de pared; R.O.A. = reducción del área					

5 Para cada uno de los tubos de acero fabricados según los anteriores ejemplos y ejemplo comparativo, se llevaron a cabo una medición de la relación de intensidad integrada de rayos X del plano {110} para determinar {110}L/T, una prueba Charpy y una prueba de resistencia a la tracción en la dirección T, y una prueba de estallido de la siguiente forma.

**<Medición de la relación de intensidad integrada de rayos X>**

10 Se cortó una porción de cierta longitud de cada tubo de acero, y fue deslaminada cortando en la dirección axial del tubo a temperatura ambiente. Del tubo deslaminado de acero, se tomaron una muestra que exponía un corte transversal perpendicular a la dirección axial L (superficie L en la Figura 1) y una muestra que exponía un corte transversal perpendicular a la dirección circunferencial T (superficie T en la Figura 1) para preparar muestras para la

medición de la superficie L y de la superficie T, respectivamente. En un gráfico de un diagrama de difracción de rayos X en el que la abscisa es el ángulo  $2\theta$  de difracción obtenido de cada una de estas muestras de corte transversal para la superficie L y la superficie T, se midió el área de un pico (es decir, la intensidad integrada de rayos X) asignado al plano {110}. Se calculó la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano {110} para cada una de la superficie L y la superficie T dividiendo el área del pico medida por el área del pico de la misma orientación del plano medida de la misma forma con una muestra en polvo que tiene una orientación aleatoria de los cristales. Se calculó el valor de {110} L/T dividiendo la relación de intensidad integrada de rayos X para la superficie L por la relación de intensidad integrada de rayos X para la superficie T.

**<Prueba Charpy y prueba de resistencia a la tracción para la dirección T>**

Se cortó una porción de cierta longitud de cada tubo de acero, y se deslaminó la muestra cortando en la dirección axial del tubo (la dirección L) a temperatura ambiente. Se tomaron muestras Charpy con muesca en forma de V preestablecidas por JIS Z 2002 que tenían una anchura de 2,5 mm del tubo deslaminado en la dirección circunferencial (la dirección T) (de forma que los lados longitudinales de las muestras se extendían en la dirección T), y fueron sometidas a una prueba de impacto Charpy a diversas temperaturas por debajo de la temperatura ambiente para determinar el porcentaje de área de fractura dúctil en la superficie fracturada. Se muestran los resultados de ensayo por la temperatura más baja que podría mostrar un 100% de fractura dúctil (denominada a continuación vTrs100). Cuanto menor sea esta temperatura, mayor es la tenacidad.

Se midió la resistencia a la tracción según el procedimiento de ensayo de tracción para materiales metálicos definido en JIS Z 2241 utilizando una muestra número 11 según JIS Z 2201, que fue tomada en la dirección T de la misma forma descrita anteriormente.

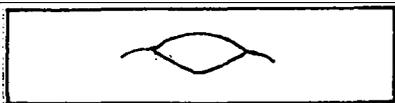
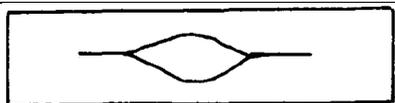
**<Prueba de estallido con presión estática>**

Se cortaron tres muestras de tubo de acero que tenían una longitud de 250 mm de cada tubo de acero, de forma que se llevó a cabo la prueba de estallido con presión estática tres veces para cada tubo de acero.

Se hizo que la temperatura para la prueba de estallido fuera  $-60^{\circ}\text{C}$  para los ejemplos 2 y 4 en los que los tubos de acero tenían un valor de vTrs de  $-60^{\circ}\text{C}$  o inferior, y se hizo que fuera  $-40^{\circ}\text{C}$  para los restantes ejemplos 1 y 3 y el ejemplo comparativo 1.

La prueba fue llevada a cabo cerrando ambos extremos de una muestra de tubo de acero con una longitud de 250 mm por medio de placas de cierre que fueron soldadas a los extremos, y aplicando una presión estática creciente con un líquido a  $-40^{\circ}\text{C}$  o  $-60^{\circ}\text{C}$  al interior del tubo hasta que se produjo el estallido (rotura) del tubo. Tras una observación visual de la periferia de la porción de estallido (la porción rota) del tubo estallado, se evaluó la resistencia al estallido por el grado de propagación de fisuras en ambos lados de la porción de estallido de la forma mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3

Forma de la porción de estallido después de la prueba de estallido con presión estática	Marca	Criterios
	○	No hay propagación de las fisuras en la porción de estallido. Ambos extremos de la porción de estallido tienen una curvatura o están curvados con respecto a la dirección axial del tubo.
	△	No se propagan las fisuras hasta los extremos, pero los extremos de la porción de estallido se extienden en una línea recta en la dirección axial del tubo.
	×	Las fisuras se propagan hasta uno o ambos extremos de la porción de estallido.

En la Tabla 4 se recopilan los resultados de las pruebas descritas anteriormente. En la Tabla 4, se muestran los resultados de la prueba de estallido con la marca indicada en la Tabla 3 para cada uno de los tres tubos de acero que fueron sometidos a ensayo. Los otros resultados del ensayo son la media de tres mediciones.

Tabla 4-1

Acero nº	Ejemplo 1				Ejemplo 2				Ejemplo comparativo 1			
	{110}L/T	TS [MPa]	vTrs100 [°C]	Prueba de estallido (-40°C)	{110}L/T	TS [MPa]	vTrs100 [°C]	Prueba de estallido (-60°C)	{110}L/T	TS [MPa]	vTrs100 [°C]	Prueba de estallido (-40°C)
1	46,4	912	-40	○○○	24,2	916	-65	○○○	53,6	917	-15	×××
2	45,7	922	-40	○○○	25,8	923	-65	○○○	54,2	920	-15	×××
3	43,6	923	-40	○○○	27,7	927	-65	○○○	56,4	928	-15	×××
4	42,9	915	-40	○○○	24,6	916	-65	○○○	53,9	913	-15	×××
5	45,3	911	-40	○○○	23,7	918	-65	○○○	55,8	921	-15	×××
6	46,1	930	-45	○○○	23,2	939	-70	○○○	56,2	935	-20	×××
7	45,5	928	-45	○○○	24,5	931	-70	○○○	58,1	935	-20	×××
8	44,5	925	-40	○○○	24,8	926	-65	○○○	57,6	923	-20	×××
9	43,8	932	-40	○○○	25,8	921	-65	○○○	57,3	935	-20	×××
10	42,3	945	-45	○○○	27,6	946	-70	○○○	56,8	942	-25	×××
11	42,7	929	-40	○○○	25,2	924	-65	○○○	57,9	928	-20	×××
12	45,2	925	-40	○○○	24,3	921	-65	○○○	55,6	925	-20	×××
13	44,7	924	-40	○○○	24,5	930	-65	○○○	56,0	928	-20	×××
14	44,3	960	-40	○○○	23,9	954	-65	○○○	54,8	966	-20	×××
15	42,6	965	-45	○○○	23,6	964	-70	○○○	56,8	968	-25	×××
16	44,2	970	-45	○○○	25,4	968	-70	○○○	56,9	969	-25	×××
17	45,5	912	-15	×××	23,8	916	-35	×××	55,8	915	0	×××
18	44,6	932	-10	×××	25,4	918	-30	×××	56,7	926	+5	×××
19	43,9	913	-15	×××	26,1	920	-35	×××	56,2	918	0	×××
20	42,9	947	-10	×××	25,3	938	-20	×××	56,5	943	+5	×××
21	44,2	926	-10	×××	24,8	932	-30	×××	57,2	930	+5	×××

TS: resistencia a la tracción

Tabla 4-2

Acero nº	Ejemplo 3				Ejemplo 4			
	{110}L/T	TS [MPa]	vTrs100 [°C]	Prueba de estallido (-40°C)	{110}L/T	TS [MPa]	vTrs100 [°C]	Prueba de estallido (-60°C)
1	26,8	1022	-40	○○○	14,3	1018	-60	○○○
2	26,5	1018	-40	○○○	16,1	1033	-60	○○○
3	23,5	1018	-40	○○○	18,2	1025	-60	○○○
4	27,9	1015	-40	○○○	14,9	1019	-60	○○○
5	25,6	1019	-40	○○○	14,8	1015	-60	○○○
6	23,7	1035	-45	○○○	14,3	1038	-65	○○○
7	24,2	1028	-45	○○○	15,6	1032	-65	○○○
8	25,3	1025	-40	○○○	15,9	1028	-60	○○○
9	26,4	1022	-40	○○○	16,8	1029	-60	○○○
10	27,3	1065	-50	○○○	18,1	1072	-65	○○○
11	23,9	1025	-40	○○○	15,7	1030	-60	○○○
12	25,1	1024	-40	○○○	13,9	1020	-60	○○○
13	26,7	1019	-40	○○○	14,7	1023	-60	○○○
14	24,6	1054	-40	○○○	13,4	1061	-60	○○○
15	26,2	1071	-45	○○○	13,6	1065	-65	○○○
16	25,6	1080	-55	○○○	15,7	1068	-70	○○○
17	23,8	1031	-10	×××	13,6	1028	-20	×××
18	24,3	1022	-5	×××	14,7	1018	-15	×××
19	26,6	1010	-15	×××	16,2	1012	-25	×××
20	25,8	1048	-5	×××	15,4	1049	-15	×××
21	27,2	1026	-10	×××	14,4	1020	-25	×××

TS: resistencia a la tracción

5 Como puede verse en la Tabla 4, los tubos de acero de aceros nºs 1 - 16 de los ejemplos 1 - 4 que tenían una composición de acero según la presente invención y un valor para {110}L/T de, como mucho, 50, tenían una resistencia elevada al nivel de al menos 900 MPa de resistencia a la tracción, una buena tenacidad al nivel de una vTrs 100 de -40°C o inferior y una buena resistencia al estallido, porque no hubo absolutamente ninguna extensión de las fisuras en una prueba de estallido a -40°C o inferior.

10 En particular, en los ejemplos 2 y 4 en los que la reducción de área en el trabajo en frío fue, como mucho, un 40% y {110} L/T fue, como mucho, 30 y, como mucho, 20, respectivamente, los valores de vTrs100 fueron de -60°C o inferior indicando que se mejoró adicionalmente la tenacidad, e incluso cuando se redujo la temperatura de la prueba de estallido a -60°C, exhibieron una excelente resistencia al estallido, porque no hubo absolutamente una extensión de las fisuras.

5 En cambio, en el ejemplo comparativo 1, aunque la composición de acero fue la misma, la reducción del área durante el trabajo en frío superó el 65%, y  $\{110\}L/T$  fue mayor de 50, indicando que la anisotropía del tubo de acero se volvió demasiado grande. Como resultado, los valores de  $vTrs100$  se encontraron en el intervalo de  $-15^{\circ}C$  hasta  $-25^{\circ}C$ , lo que indica que no se obtuvo la tenacidad deseada. En una prueba de estallido a  $-40^{\circ}C$ , para las tres composiciones de acero, se observaron fisuras que se extendieron hasta los extremos del tubo para cada uno de los tres tubos de acero que fueron sometidos a ensayo, y la resistencia al estallido fue inferior.

10 Se encontró una correlación entre el valor de  $vTrs100$  y los resultados de la prueba de estallido (la resistencia al estallido) para todos los ejemplos y ejemplos comparativos. Se puede observar que si el valor de  $vTrs100$  era menor que la temperatura a la que se llevó a cabo la prueba de estallido, la resistencia al estallido es buena. En consecuencia, puede verse en la Tabla 4 que aunque no se lleve a cabo una prueba de estallido, la cual es problemática de llevar a cabo, se puede prever la resistencia al estallido simplemente a partir del valor de  $vTrs100$ .

15 La resistencia a la tracción de los tubos de acero se encontraba en el nivel de 900 MPa para los ejemplos 1 y 2, pero al cambiar las condiciones de trabajo en frío para las mismas composiciones de acero, la resistencia a la tracción de los ejemplos 3 y 4 aumentó hasta el nivel de 1000 MPa. Por lo tanto, según la presente invención, se puede ajustar la resistencia a la tracción de un tubo de acero para un inflador de acero al nivel necesario dependiendo de las especificaciones del airbag.

20 Aunque se satisfaga el requisito de la presente invención de que el valor de  $\{110\}L/T$  sea, como mucho, 50, si la composición de acero, y en particular el valor de  $[Mn + 40Ti]$  especificado por la ecuación (2) o el contenido de Cr se encuentra fuera del intervalo especificado por la presente invención, aunque la resistencia a la tracción permanezca al mismo nivel, no se puede conseguir el valor objetivo de  $-40^{\circ}C$  o inferior para  $vTrs100$ , y aumentó mucho tanto en los ejemplos como en los ejemplos comparativos. En particular, en el ejemplo 4, los valores de  $vTrs100$  fueron desde  $-60^{\circ}C$  hasta  $-70^{\circ}C$  para los aceros n<sup>os</sup> 1 - 16 que fueron aceros según la presente invención, pero fueron desde  $-15^{\circ}C$  hasta  $-25^{\circ}C$  para los aceros n<sup>os</sup> 17 - 21 que fueron aceros comparativos. La diferencia fue un valor sumamente grande de aproximadamente  $45^{\circ}C$ . También en los otros ejemplos, esta diferencia en cada ejemplo fue de aproximadamente  $30^{\circ}C$ , y en los resultados de la prueba de impacto Charpy, se observó una diferencia notable entre los aceros según la presente invención y los aceros comparativos. Como resultado, con los tubos de acero de estos aceros comparativos, se produjo una propagación de fisuras hasta los extremos de un tubo en cada uno de los tres tubos que fueron sometidos a ensayo en la prueba de estallido, indicando que la resistencia al estallido era inferior.

30

## REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero para ser utilizado en un inflador de airbag, que tiene una composición de acero que consiste, en masa porcentual, en C: 0,05 - 0,20%, Si: 0,1 - 1,0%, P: como mucho 0,025%, S: como mucho 0,010%, Cr: 0,05 - 1,45%, Al: como mucho 0,10%, Ti y Mn en cantidades que satisfacen las siguientes ecuaciones (1) y (2) y (3),

$$Ti \leq 0,02\% \quad \dots\dots \quad (1)$$

$$0,4\% \leq Mn + 40Ti \leq 1,2\% \quad \dots\dots \quad (2)$$

$$Mn \leq 1,0\% \quad \dots\dots \quad (3)$$

Mo: 0 - 1,0%, Ni: 0 - 1,5%, V: 0 - 0,2%, B: 0 - 0,005%, Cu: 0 - 0,5%, Nb: 0 - 0,1%, Ca: 0 - 0,01%, Mg: 0 - 0,01%, REM: 0 - 0,01%, y un resto de Fe e impurezas, en el que la relación (denominada a continuación {110}L/T) de la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano {110} medida en un corte transversal perpendicular a la dirección axial L del tubo de acero con respecto a la relación de intensidad integrada de rayos X para el plano {110} medida en un corte transversal perpendicular a la dirección circunferencial T del tubo de acero es, como mucho, 50 y el tubo de acero tiene una resistencia a la tracción en la dirección circunferencial de al menos 900 MPa y una vTrs100 en la dirección circunferencial de -40°C o inferior.

2. Un tubo de acero según la reivindicación 1, en el que la composición de acero contiene uno o más elementos seleccionados entre al menos un grupo de los siguientes grupos (I), (II) y (III):

(I) uno o más de Mo: 0,05 - 1,0%, Ni: 0,05 - 1,5%, V: 0,01 - 0,2% y B: 0,0003 - 0,005%,

(II) uno o ambos de Cu: 0,05 - 0,5% y Nb: 0,003 - 0,1%, y

(III) uno o más de Ca: 0,0003 - 0,01%, Mg: 0,0003 - 0,01% y REM: 0,0003 - 0,01%.

3. Un tubo de acero según la reivindicación 1 o 2, en el que la composición de acero contiene al menos un 0,2% en masa de Mn.

4. Un tubo de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la relación {110}L/T es, como mucho, 30.

5. Un tubo de acero según la reivindicación 4, que tiene una resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa y en el que la relación {110}L/T es, como mucho, 20.

6. Un procedimiento de fabricación de un tubo de acero para ser utilizado en un sistema de airbag según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende fabricar un tubo inicial de un acero que tiene una composición de acero establecida en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, calentar el tubo hasta una temperatura de al menos el punto de transformación Ac<sub>1</sub> del acero seguido de un revenido, templar tubo revenido a una temperatura inferior al punto de transformación Ac<sub>1</sub>, y luego llevar a cabo un trabajo en frío en el tubo, llevándose a cabo el trabajo en frío de forma que produzca una reducción total del área, como mucho, de un 65%, y tal que la relación {110}L/T sea, como mucho, 50.

7. Un procedimiento según la reivindicación 6, en el que se somete al tubo a un recocido para la atenuación de tensiones a una temperatura inferior al punto de transformación Ac<sub>1</sub> después del trabajo en frío.

8. Un procedimiento según la reivindicación 6 o 7, en el que la temperatura de calentamiento antes del revenido es una temperatura del punto de transformación Ac<sub>3</sub> del acero o superior.

9. Un procedimiento según la reivindicación 8, en el que la temperatura de calentamiento se encuentra en el intervalo de 900 - 1000°C.

10. Un procedimiento según la reivindicación 8 o 9, en el que el calentamiento hasta la temperatura de calentamiento se lleva a cabo a una velocidad de aumento de la temperatura de al menos 10°C/seg.

11. Un procedimiento según la reivindicación 10, en el que el calentamiento se lleva a cabo mediante calentamiento por inducción de alta frecuencia.

12. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en el que el revenido se lleva a cabo de forma que la velocidad de enfriamiento, al menos en el intervalo de temperatura de 850°C a 500°C, sea de al menos 20 °C/seg.

13. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 12, en el que la reducción del área es, como mucho, un 40%.

14. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 13, en el que el tubo de acero no experimenta un tratamiento térmico a una temperatura del punto de transformación  $Ac_1$  del acero o superior después del trabajo en frío.
15. Un inflador de airbag que comprende un tubo de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

**Fig. 1**

