(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 396 114**

(51) Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)
C21D 8/10	(2006.01)
C21D 9/08	(2006.01)
C22C 38/38	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)
B60R 21/26	(2011.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2007** **E 07829822 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2012** **EP 2078764**

(54) Título: **Tubo de acero sin costuras para acumuladores de bolsa de aire y procedimiento para la producción del mismo**

(30) Prioridad:

27.10.2006 JP 2006293058

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.02.2013

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

ARAI, YUJI y
TAKANO, TAKASHI

(74) Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

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).

ES 2 396 114 T3

DESCRIPCIÓN

Tubo de acero sin costuras para acumuladores de bolsa de aire y procedimiento para la producción del mismo

Campo de la técnica

La presente invención se refiere a un tubo de acero sin costuras adecuado para su uso para fabricar un acumulador de bolsa de aire (airbag) para el que se requieren una alta resistencia y una alta tenacidad, y a un procedimiento de fabricación económica del tubo de acero. En particular, la presente invención se refiere a un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire que tiene una alta resistencia y una alta tenacidad a un nivel tal que este no experimenta una fractura frágil cuando se somete a un ensayo de estallido por presiones internas (un ensayo para aumentar la presión interna de un tubo cerrado hasta que tiene lugar el estallido) a -20 ºC, y a un procedimiento para su fabricación.

Técnica anterior

En los últimos años, la introducción de equipo de seguridad se está promoviendo activamente en la industria de la automoción. Entre tal equipo, se han desarrollado e instalado en la mayoría de automóviles unos sistemas de bolsa de aire que expanden rápidamente una bolsa de aire con gas o similar entre un pasajero y un volante, un panel de instrumentos o similar en el momento de una colisión antes de que el pasajero impacte con el volante, etc., con el fin de absorber la energía cinética del pasajero y de disminuir sus lesiones.

En el pasado se emplearon, en general, unos sistemas de bolsa de aire que usaban productos químicos explosivos para expandir una bolsa de aire. No obstante, con el fin de permitir reciclaje ambiental, se han desarrollado y se están usando cada vez más unos sistemas de bolsa de aire en los que una bolsa de aire se expande usando un gas a alta presión confinado.

En el sistema de bolsa de aire que usa un gas a alta presión confinado, un gas para su expansión tal como un gas inerte (por ejemplo, argón) que se insufla en una bolsa de aire en el momento de una colisión se confina en un recipiente de acumulación de presión (el acumulador) y se mantiene siempre en su interior a una alta presión. El gas se expulsa por soplado en su totalidad de una vez a partir del acumulador al interior de una bolsa de aire en el momento de una colisión. El acumulador se fabrica, en general, soldando una tapa a cada extremo de un tubo de acero que se ha cortado a una longitud apropiada.

Un acumulador para bolsas de aire (al que se hace referencia en el presente documento como acumulador de bolsa de aire o, simplemente, como acumulador) está siempre lleno con un gas a alta presión a aproximadamente 300 kgf/cm^2, por ejemplo, y este debe soportar una alta presión de este tipo durante un largo periodo. Además, cuando el gas se expulsa por soplado con respecto al mismo, el acumulador se somete a esfuerzo con una alta relación de deformación en un periodo de tiempo extremadamente corto, y este debe, así mismo, soportar un esfuerzo de este tipo. Con el fin de hacer posible reducir el tamaño y el peso de un sistema de bolsa de aire, lo que conduce a un ahorro del kilometraje de un automóvil, se desea que un acumulador de bolsa de aire tenga una presión de gas aumentada y un espesor de pared reducido.

Por consiguiente, un tubo de acero sin costuras, el cual es, en general, más fiable que un tubo de acero soldado a una alta presión, se usa en la fabricación de un acumulador de bolsa de aire. En contraste con una estructura simple tal como una canalización o cilindros de presión convencionales, se desea que un tubo de acero para un acumulador de bolsa de aire tenga una alta resistencia a esfuerzos de tensión del orden de, por lo menos, 850 MPa, con el fin de soportar de forma suficiente la presión de gas de relleno y una resistencia al estallido excelente a baja temperatura (o tenacidad), tal como se indica por una fractura dúctil que tiene lugar en un ensayo de estallido a una temperatura de -20 ºC o inferior, a la vista de la posibilidad de uso a bajas temperaturas, además de un alto nivel de precisión dimensional, labrabilidad y soldabilidad.

Tubos de acero sin costuras adecuados para su uso en un acumulador de bolsa de aire y procedimientos para su fabricación se dan a conocer en los documentos de patente 1 a 4 que se citan a continuación y en los documentos US 2006/012 42 11 y US 2003/015 5052, por ejemplo.

En los procedimientos que se proponen en los presentes documentos de patente, un tubo de acero sin costuras que tiene la alta resistencia deseada y una resistencia al estallido excelente, se fabrica mediante un procedimiento que incluye templado y recocido. No obstante, el tratamiento térmico para el templado y recocido tiene el problema de que este hace el procedimiento de fabricación complicado, reduciendo de ese modo la productividad y aumentando los costes de fabricación. Por consiguiente, existe una demanda para un procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin costuras que pueda satisfacer las propiedades deseadas usando un tratamiento térmico que pueda realizarse con facilidad.

El documento de patente 5 da a conocer un procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire en el que el templado y recocido no se llevan a cabo como tratamiento térmico. En el presente documento de patente, se describe que un tubo de acero de alta resistencia y alta tenacidad, que tiene una

alta precisión dimensional y una buena labrabilidad y soldabilidad, puede fabricarse sometiendo un tubo de acero según se conforma para su normalización a 850 - 1000 ºC seguido de labrado en frío para obtener las dimensiones prescritas y, opcionalmente, seguido además de recocido de relajación de tensiones internas, normalización o templado y recocido. No obstante, la tecnología que se da a conocer en el documento de patente 5 se dirige a la fabricación de un tubo de acero sin costuras que tiene una resistencia a esfuerzos de tensión del orden de 590 MPa, y los valores de resistencia a esfuerzos de tensión de los tubos de acero que se obtienen en los ejemplos que se exponen en su interior es, como máximo, de 814 MPa, lo que no es suficiente para cumplir las demandas para un aumento en la presión del gas de llenado y una disminución en el peso debido a una disminución en el espesor de pared en los recientes acumuladores de bolsa de aire.

De forma similar, el documento de patente 6 da a conocer un tubo de acero sin costuras para una bolsa de aire que se fabrica mediante labrado en frío sin un tratamiento térmico o con un tratamiento térmico en la forma de recocido, normalización o templado y recocido, con el objeto de obtener una resistencia a esfuerzos de tensión del orden de 590 MPa o más alta. Ese documento sólo da a conocer el tipo de tratamiento térmico después de un labrado en frío, sin limitación alguna sobre las condiciones del tratamiento térmico, a partir de lo cual es evidente que el objeto ha de conseguirse únicamente por medio de la composición de acero.

En el documento de patente 4 se propone un procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin costuras para una bolsa de aire que tiene una alta resistencia, una alta tenacidad y una alta labrabilidad en el que un tratamiento térmico se lleva a cabo mediante normalización en lugar de templado y recocido. En el presente procedimiento, un material de acero que tiene una composición que comprende C: 0,01 - 0,10 %, Si: como máximo un 0,5 %, Mn: 0,10 - 2,00 %, Cr: mayor que un 1,0 % hasta un 2,0 %, Mo: como máximo un 0,5 % y, opcionalmente, por lo menos uno de entre Cu: como máximo un 1,0 %, Ni: como máximo un 1,0 %, Nb: como máximo un 0,10 %, V: como máximo un 0,10 %, Ti: como máximo un 0,10 % y B: como máximo un 0,005 % se usa para formar un tubo de acero sin costuras, y el tubo se somete a continuación a normalización mediante calentamiento a una temperatura en el intervalo de 850 - 1000 ºC seguido de un enfriamiento por aire y, a continuación, a estirado en frío para obtener las dimensiones prescritas. No obstante, existen pocos ejemplos en relación con las condiciones de normalización. Además, debido a que se parte de la premisa de que el procedimiento tiene un contenido de Cr que supera el 1,0 %, los costes de aleación son relativamente altos, y la tenacidad a baja temperatura es discutible.

En el documento de patente 4, la tenacidad a baja temperatura se evalúa mediante un ensayo de choque por caída de peso. Un ensayo de choque por caída de peso se usa también en el documento de patente 6 y otras publicaciones como un procedimiento simple para evaluar la tenacidad a baja temperatura. No obstante, en el documento de patente 6, los tubos de acero sin costuras que han experimentado un tratamiento térmico tal como recocido y aquellos que aquellos que han experimentado uno tal como un labrado en frío se evaluaron como si tuvieran la misma tenacidad a baja temperatura en un ensayo de choque por caída de peso. A la vista de lo anterior, resulta poco convincente que un ensayo de choque por caída de peso, el cual es meramente un procedimiento de evaluación simple, puede evaluar de forma adecuada el estricto requisito de rendimiento deseado para los acumuladores de bolsa de aire de la actualidad.

Tal como se sugiere en el documento de patente que se ha descrito anteriormente, un labrado en frío, tal como estirado en frío, es indispensable en la fabricación de un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire con el fin de aumentar la precisión dimensional del diámetro exterior y el espesor de pared. Tal como se describe en los párrafos 0003 - 0004 del documento de patente 7, un acumulador de bolsa de aire es una parte para la que se requiere una buena precisión dimensional del diámetro exterior para su montaje, pero no puede emplearse un aumento del espesor de pared del tubo de acero de un acumulador con el fin de aumentar su resistencia debido a que es necesario evitar un aumento en el peso de un automóvil. Además, en la actualidad se instala una bolsa de aire no sólo para el asiento del conductor, sino para el asiento del acompañante e incluso para los asientos traseros y, con el fin de instalar una pluralidad de bolsas de aire en un automóvil, existe una demanda creciente para la reducción de los costes de los acumuladores.

Documento de patente 1: JP H08-325641 A1
Documento de patente 2: JP H10-140250 A1
Documento de patente 3: JP 2002-294339 A1
Documento de patente 4: JP 2004-27303 A1
Documento de patente 5: JP H10-140249 A1
Documento de patente 6: JP H10-140283 A1
Documento de patente 7: JP H11-199929 A1

Divulgación de la invención

Es un objetivo de la presente invención la provisión de un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire que pueda fabricarse empleando sólo un tratamiento térmico simple sin templado y recocido y que tenga una resistencia a esfuerzos de tensión de, por lo menos, 850 MPa y una buena resistencia al estallido a baja temperatura, lo que se indica por que no tiene lugar fractura frágil alguna en un ensayo de estallido a -20 ºC, de tal modo que este pueda ser enfrentarse de forma adecuada a los aumentos en la presión de gas y a las disminuciones

en el espesor de pared de los acumuladores.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento para fabricar un tubo de acero sin costuras de este tipo para un acumulador de bolsa de aire.

Una disminución en el espesor de pared y el diámetro exterior de un tubo de acero para un acumulador de bolsa de aire contribuye no sólo a un kilometraje aumentado de los automóviles sino también a una disminución en los costes de una bolsa de aire. El labrado en frío que se aplica después de la fabricación del tubo es indispensable con el fin de garantizar la precisión dimensional y de tener un espesor de pared y un diámetro exterior reducidos. No obstante, en realidad, el labrado en frío tiene una influencia significativa sobre la tenacidad o resistencia al estallido a baja temperatura de un tubo de acero y, en particular, a medida que aumenta la resistencia de un tubo de acero, se vuelve difícil conseguir una buena tenacidad o resistencia al estallido a baja temperatura. Por lo tanto, es necesario decidir la composición química de un acero y un procedimiento de tratamiento térmico de tal modo que pueda obtenerse tanto una alta resistencia como una buena resistencia al estallido a baja temperatura.

Los inventores de la presente invención investigaron la influencia de la composición química, la estructura metalúrgica y las condiciones en varias etapas de fabricación sobre la resistencia y la resistencia al estallido a baja temperatura de un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire. Como resultado, se encontró que ajustando el equivalente de carbono (a lo que se hace referencia a continuación por brevedad como Ceq) a un intervalo adecuado y realizando un tratamiento térmico de normalización, antes del estirado en frío para el acabado a las dimensiones finales deseadas, con el fin de transformar la estructura metalúrgica de un tubo de acero para dar una estructura de doble fase de ferrita + bainita, se obtiene un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire que tiene una resistencia a esfuerzos de tensión que supera los 850 MPa y que tiene una alta resistencia al estallido de tal modo que no se desarrollan grietas en un ensayo de estallido a -20 ºC.

La presente invención es un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire tal como se proporciona en las reivindicaciones 1 y 2.

La presente invención es también un procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin costuras tal como se proporciona en las reivindicaciones 3 a 6.

Una precisión dimensional prescrita y una buena condición superficial pueden ofrecerse a un tubo de acero para un acumulador de bolsa de aire realizando finalmente el labrado en frío, tal como estirado en frío, sobre el mismo. No obstante, el labrado en frío puede disminuir la tenacidad del tubo de tal modo que no puede obtenerse una buena resistencia al estallido. Por lo tanto, en el pasado, el templado y recocido se llevaron a cabo normalmente antes o después del labrado en frío, con el fin de transformar la estructura metalúrgica para dar martensita recocida o bainita recocida. No obstante, un tratamiento térmico de templado y recocido en sí mismo requiere una alta temperatura y un largo tiempo de procesamiento, y este necesita además una etapa adicional tal como eliminación de flexiones después del templado, lo que conduce a una disminución en la productividad y a un aumento en los costes de fabricación.

Como resultado de estudiar varios tipos de tratamiento térmico como un sustituto para el templado y recocido antes del labrado en frío de un tubo de acero, se encontró que el ajuste de la estructura metalúrgica a una estructura de doble fase de ferrita + bainita ajustando los contenidos de unos elementos individuales y el Ceq de composición de acero y realizando la normalización hace posible obtener tanto una alta resistencia como una buena resistencia al estallido.

En años recientes, con el fin de reducir el peso de un acumulador, se ha intentado disminuir su espesor de pared. Como resultado, unos cambios dimensionales mayores tienden a desarrollarse en el momento del templado y recocido, lo que se está volviendo un problema técnico mayor. Hoy en día, el espesor de pared de un tubo de acero para un acumulador se disminuye hasta 2,5 - 2,0 mm y, por lo tanto, se demanda una resistencia a esfuerzos de tensión de, por lo menos, 850 MPa del tubo.

De acuerdo con la presente invención, un tubo de acero que tiene una alta resistencia a esfuerzos de tensión de, por lo menos, 850 MPa y una alta resistencia al estallido de tal modo que no se desarrollan grietas en un ensayo de estallido a -20 ºC se obtiene sin un tratamiento térmico de templado y recocido antes o después del labrado en frío que se realiza para conseguir una precisión dimensional. Por lo tanto, puede proporcionarse un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire que puede enfrentarse de forma adecuada a los aumentos en la presión del acumulador y a las disminuciones en el espesor de pared de los tubos de acero, y que puede fabricarse de forma económica y con una alta eficiencia.

Breve explicación del dibujo

La figura 1 es una gráfica que compara la relación entre el Ceq y la resistencia a esfuerzos de tensión para un acero de acuerdo con la presente invención y para un material convencional.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

(A) Composición química y estructura metalúrgica de un tubo de acero

Las razones para definir la composición química de un acero en la presente invención tal como se han descrito anteriormente son según sigue. En la presente descripción, a menos que se especifique de otro modo, % quiere decir % en masa.

C: 0,08 - 0,20 %

C es un elemento que es efectivo en el aumento económico de la resistencia del acero, pero si su contenido es menor de un 0,08 %, es difícil conseguir una resistencia a esfuerzos de tensión deseada de, por lo menos, 850 MPa sin llevar a cabo un tratamiento térmico de templado y recocido. Por otro lado, si el contenido de C supera el 0,20 %, la labrabilidad y la soldabilidad del acero disminuyen. Un intervalo preferente para el contenido de C es el 0,08 - 0,16 %, y un intervalo más preferente para el mismo es del 0,09 - 0,13 %.

Si: 0,1 - 1,0 %

Si es un elemento que tiene una acción desoxidante y aumenta la endurecibilidad del acero con el fin de aumentar su resistencia. Para este fin, es necesario que su contenido sea por lo menos un 0,1 %. No obstante, si su contenido supera el 1,0 %, la tenacidad disminuye. Un intervalo preferente para el contenido de Si es del 0,2 - 0,5 %.

Mn: 0,6 - 2,0 %

Mn hace más fácil obtener una estructura de doble fase de ferrita + bainita durante el enfriamiento por aire después de la normalización. En ese sentido, este es efectivo en el aumento de la resistencia y la tenacidad del acero. Si el contenido de Mn es menor de un 0,6 %, no se obtienen una resistencia y una tenacidad suficientes, mientras que, si su contenido supera el 2,0 %, empeora la soldabilidad del acero. Un intervalo preferente para el contenido de Mn es el 0,8 - 1,8 %, y un intervalo más preferente es del 1,0 - 1,6 %.

P: como máximo un 0,025 %

P ocasiona una disminución en la tenacidad causada por segregación del contorno del grano, y la tenacidad del acero disminuye de forma notable cuando su contenido supera el 0,025 %. El contenido de P es, preferentemente, como máximo un 0,020 %, y aún más preferentemente como máximo un 0,015 %.

S: como máximo un 0,010 %

S disminuye la tenacidad, en particular en la dirección circunferencial (la dirección T) de un tubo de acero. En particular, la tenacidad disminuye de forma notable si su contenido supera el 0,010 %. El contenido de S es, preferentemente, como máximo un 0,005 %, y aún más preferentemente como máximo un 0,003 %.

Cr: 0,05 - 1,0 %

Cr es un elemento que es efectivo en el aumento de la resistencia y la tenacidad del acero sin un tratamiento térmico de templado y recocido y, por lo tanto, es necesario que su contenido sea por lo menos un 0,05 %. No obstante, si su contenido supera el 1,0 %, esto conduce a una disminución en la tenacidad. Un intervalo preferente para el contenido de Cr es el 0,2 - 0,8 %, y un intervalo más preferente es del 0,4 - 0,7 %.

Mo: 0,05 - 1,0 %

Mo es también un elemento que es efectivo en el aumento de la resistencia y la tenacidad del acero sin un tratamiento térmico de templado y recocido y, por lo tanto, este se contiene en acero con un contenido de, por lo menos, un 0,05 %. No obstante, si su contenido supera el 1,0 %, esto conduce a una disminución en la tenacidad. Un intervalo preferente para el contenido de Mo es el 0,1 - 1,0 %, y un intervalo más preferente es del 0,15 - 0,70 %.

Al: 0,002 - 0,10 %

Al es un elemento que tiene una acción desoxidante y que es efectivo en el aumento de la tenacidad y labrabilidad del acero. Si el contenido de Al es menor de un 0,002 %, la desoxidación se vuelve poco adecuada, de tal modo que la sanidad del acero se empeora y su tenacidad disminuye. No obstante, la presencia de Al con un contenido que supera el 0,10 % conduce de nuevo a una disminución en la tenacidad. Un intervalo preferente para el contenido de Al es del 0,005 - 0,08 %, y un intervalo más preferente es del 0,01 - 0,06 %. El contenido de Al en la presente invención indica el contenido de Al soluble en ácido (así denominado “Al sol.”).

Uno o más de Ca, Mg, y REM: 0,0003 - 0,01 % de cada uno

Cada uno de Ca, Mg, y REM (metales de tierras raras tales como Ce, La, Y, Nd y similares) se une con S en acero y actúa para fijar el S como un sulfuro. Mediante esta acción, este tiene el efecto de mejorar la anisotropía de la

tenacidad del acero y de aumentar su resistencia al estallido. Por lo tanto, en la presente invención que no se basa en la mejora de la tenacidad por templado y recocido, una mejora en la anisotropía de la tenacidad por Ca, Mg, y/o REM es indispensable. Con el fin de obtener este efecto, por lo menos un elemento que está seleccionado de Ca, Mg, y REM se añade con un contenido de, por lo menos, un 0,0003 %. REM puede añadirse como unos elementos individuales tales como Ce, La, Y, Nd y similares, o estos pueden añadirse en la forma de una mezcla de REM tal como mischmetal. No obstante, si su contenido supera el 0,01 %, las inclusiones forman agrupamientos, y la tenacidad termina disminuyendo. Un intervalo preferente para su contenido es del 0,0005 - 0,005 % de cada uno.

Por lo menos uno de Nb y Ti: 0,002 - 0,1 % de cada uno

Cada uno de Nb y Ti forma un carbonitruro en el momento del calentamiento para un tratamiento térmico de normalización, refinando de ese modo los diámetros de grano de austenita y, a su vez, promoviendo el refinamiento de ferrita + bainita que se forma mediante una transformación de fase en el momento del enfriamiento por aire, y aumentando de este modo la tenacidad del acero. Se piensa que Nb y Ti proporcionan por igual este efecto, por lo que uno cualquiera de Nb y Ti puede estar presente con un contenido de, por lo menos, un 0,002 %. No obstante, con el fin de conseguir el efecto que se ha descrito anteriormente de forma más notable, se prefiere que el contenido tanto de Nb como de Ti sea en una cantidad de, por lo menos, un 0,002 % de cada uno. Si el contenido de cada uno de estos elementos supera el 0,1 %, la tenacidad del acero termina disminuyendo. Un intervalo preferente para Nb y Ti es el 0,003 - 0,1 % de cada uno, y un intervalo más preferente es del 0,005 - 0,08 % de cada uno.

Cuando se añaden tanto Nb como Ti, el total de los contenidos de estos elementos es, preferentemente, por lo menos un 0,003 % y como máximo un 0,1 % y, más preferentemente, este se encuentra en el intervalo de un 0,005 - 0,08 %. En el presente caso, el contenido de cada uno de Nb y Ti se encuentra preferentemente en el intervalo de un 0,005 - 0,05 %.

Ceq: 0,45 - 0,63

Con el fin de proporcionar un tubo de acero tanto con resistencia como con resistencia al estallido a un nivel requerido para un tubo de acero para un acumulador de bolsa de aire mediante normalización en lugar de templado y recocido como tratamiento térmico, es necesario formar una estructura de doble fase de ferrita + bainita mediante normalización. Para este fin, es importante obtener un equilibrio adecuado de los contenidos de C, Si, Mn, Cr, Mo, Cu y Ni. Un equilibrio adecuado se obtiene cuando el valor de Ceq que se define mediante la siguiente ecuación se encuentra en el intervalo de 0,45 - 0,63. Si el Ceq es menor de 0,45, la estructura metalúrgica después de la normalización se vuelve una estructura de doble fase de ferrita + perlita, y se vuelve difícil conseguir tanto una alta resistencia como una tenacidad a baja temperatura. Por otro lado, si el Ceq supera 0,63, la tenacidad a baja temperatura termina disminuyendo. Un intervalo preferente para el Ceq es el 0,47 - 0,62, y un intervalo más preferente para el Ceq es del 0,50 - 0,60.

$$\mathbf{Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + (Cr + Mo)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad ..... \quad (1)}$$

El símbolo para cada elemento en la ecuación (1) indica el valor del elemento en porcentaje en masa. Cu y Ni son unos elementos opcionales, por lo que, cuando estos no se añaden, los símbolos para estos elementos en la ecuación (1) se ajustan a 0.

La composición de un acero de acuerdo con la presente invención puede contener además por lo menos uno de los siguientes elementos opcionales.

Ni: 0,05 - 1,5 %

Ni tiene los efectos de hacer más fácil obtener una estructura de doble fase de ferrita + bainita durante el enfriamiento por aire después de la normalización y de aumentar la tenacidad del acero. Estos efectos de Ni se obtienen incluso cuando su contenido se encuentra en el nivel de una impureza, pero con el fin de obtener de forma más notable estos efectos, Ni se añade preferentemente con un contenido de, por lo menos, un 0,05 %. No obstante, Ni es un elemento costoso y los costes aumentan de forma notable cuando su contenido supera el 1,5 %. Por consiguiente, cuando se añade Ni, su contenido es, preferentemente, de un 0,05 - 1,5 %. Un contenido de Ni más preferente es del 0,1 - 1,0 %.

Cu: 0,05 - 0,5 %

Cu tiene los efectos de hacer más fácil obtener una estructura de doble fase de ferrita + bainita durante el enfriamiento por aire después de la normalización y de aumentar la tenacidad. Con el fin de obtener estos efectos, se prefiere hacer el contenido de Cu por lo menos un 0,05 %. No obstante, si se añade Cu en un exceso de un 0,5 %, la labrabilidad en caliente del acero disminuye. Por consiguiente, cuando se añade Cu, su contenido es, preferentemente, de un 0,1 - 0,4 %.

Estructura metalúrgica: estructura de doble fase de ferrita + bainita

En la presente invención, un tubo de acero que tiene la resistencia y la tenacidad a baja temperatura deseadas puede obtenerse sin templado y recocido, proporcionando el tubo de acero con una estructura de doble fase de ferrita + bainita.

La estructura de doble fase de ferrita + bainita tal como se usa en el presente documento quiere decir una estructura que comprende principalmente ferrita y bainita. Cuando la estructura metalúrgica contiene una tercera fase tal como perlita, si la fracción de área de la fase o las fases diferentes de “ferrita y bainita” es menor de un 10 %, la resistencia y la tenacidad del acero no se ven afectadas de forma significativa. Por lo tanto, la estructura de doble fase de ferrita + bainita abarca unas estructuras que contienen otra fase o fases con una fracción de área de menos de un 10 %. La estructura de doble fase de ferrita + bainita contiene bainita con una fracción de área de, por lo menos, un 10 %. Esto se debe a que, si la fracción de área de la bainita es menor de un 10 %, la fase doble actúa sustancialmente de la misma forma que una única fase de ferrita, haciendo de ese modo difícil conseguir las propiedades deseadas tanto en resistencia como en tenacidad a baja temperatura. Por consiguiente, incluso si la fracción de área de fases diferentes de ferrita y bainita es menor de un 10 %, una estructura en la que la fracción de área de la bainita es menor de un 10 % no se incluye en la estructura de doble fase de ferrita + bainita que se prevé por la presente invención.

Al igual que un procedimiento de fabricación usual para un tubo de acero sin costuras, un procedimiento de fabricación para un tubo de acero sin costuras de acuerdo con la presente invención incluye básicamente las etapas de conformación de tubo, tratamiento térmico y labrado en frío de acabado. Una característica de un procedimiento de fabricación de acuerdo con la presente invención es que no se lleva a cabo un tratamiento térmico de templado y recocido.

(B) Conformación de tubo

Un tubo de acero sin costuras se conforma usando un acero que tiene su composición química ajustada tal como se ha descrito anteriormente como un material de partida. No existen restricciones particulares sobre el procedimiento de formación del tubo de acero sin costuras. Un ejemplo de un procedimiento de este tipo es un procedimiento de fabricación de tubos en caliente en el que se incluye un tubo matriz que se prepara por punzonado y laminación de alargamiento mediante el procedimiento de laminadora de mandril de Mannesman y se somete a laminación para la reducción en el diámetro con una clasificadora o una reductora.

(C) Tratamiento térmico de normalización

Un tubo de acero sin costuras según se conforma se somete a normalización como tratamiento térmico. Una temperatura de calentamiento para la normalización que supera 1.000 ºC conduce a un engrosamiento de granos de austenita y, a su vez, el diámetro de granos de ferrita que se forma mediante la transformación de fase durante el enfriamiento por aire termina engrosándose. Por otro lado, si la temperatura de calentamiento para la normalización cae por debajo del punto de transformación Ac_3, a pesar de que se realiza el calentamiento, los carburos que precipitan en el momento de la conformación de tubo no se disuelven y se engrosan de manera no uniforme, lo que conduce a una disminución en la tenacidad. Por consiguiente, la temperatura de calentamiento para la normalización se encuentra en el intervalo de por lo menos el punto de transformación Ac_3 hasta como máximo 1.000 ºC. El tratamiento térmico de normalización da lugar a la formación de una estructura de doble fase de ferrita + bainita durante el enfriamiento por aire después del calentamiento. Después del presente tratamiento térmico de normalización, el tubo de acero puede descascarillarse, si es necesario, por decapado o similar.

Con el fin de disminuir la carga durante el labrado en frío de acabado, antes del tratamiento térmico de normalización, el labrado en frío puede realizarse como un labrado en bruto sobre el tubo de acero sin costuras según se conforma puede someterse a un labrado en frío como un labrado en bruto. La anisotropía de las propiedades que se desarrollan mediante labrado en frío en bruto no ofrece problema alguno debido a que esta se elimina por el tratamiento térmico de normalización posterior. La reducción en el área en el labrado en frío en bruto es, preferentemente, como máximo un 50 %.

(D) Labrado en frío de acabado

Un tubo de acero sin costuras que se conforma y se trata térmicamente de la forma que se ha descrito anteriormente experimenta un labrado en frío en unas condiciones que están seleccionadas de tal modo que se obtienen una condición superficial y una precisión dimensional prescritas. El labrado en frío puede llevarse a cabo de cualquier forma, a condición de que pueda obtenerse una condición superficial y una precisión dimensional prescritas, y no existen restricciones particulares con respecto al procedimiento que se emplea. El labrado en frío puede ser estirado en frío, laminación en frío o similar, y pueden usarse dos o más procedimientos. El grado de elaboración es, preferentemente, tal que la reducción en el área es de, por lo menos, un 3 %.

(E) Recocido de relajación de tensiones internas

Debido a que se desarrollan tensiones residuales en un tubo de acero sometido a labrado en frío de acabado, se lleva a cabo preferentemente un recocido de relajación de tensiones internas sobre el mismo. A partir de los puntos

de vista de la resistencia y la tenacidad, la temperatura para el recocido de relajación de tensiones internas se encuentra preferentemente en el intervalo de 450 - 650 ºC.

Después de las etapas de fabricación que se describen anteriormente, si es necesario, un enderezamiento de flexiones puede llevarse a cabo mediante una enderezadora que comprende una combinación de cilindros acanalados para obtener un producto.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos ilustran la presente invención, pero no se pretende que estos limiten la presente invención de forma alguna.

Ejemplo 1

En el presente ejemplo, unas placas de acero de muchos materiales de acero que tienen unas composiciones químicas diferentes se usaron para someter a ensayo las mismas para la resistencia a esfuerzos de tensión, la tenacidad a baja temperatura y la estructura metalúrgica.

Se prepararon por fundición al vacío lingotes de acero con un peso de 50 kg y con las composiciones químicas que se muestran en la tabla 1. Los Aceros n.º 1 - 10 en la tabla 1 eran unos aceros para los que los contenidos de los elementos respectivos y el Ceq satisficieron las condiciones prescritas por la presente invención, mientras que los aceros n.º 11 - 15 eran unos aceros para los que el contenido de por lo menos un elemento o el Ceq no satisfizo las condiciones de la presente invención. Todos los aceros tuvieron un punto de transformación Ac_1 en el intervalo de 710 - 770 ºC y un punto de transformación Ac_3 en el intervalo de 820 - 880 ºC.

Los lingotes de acero se calentaron hasta 1250 ºC y, a continuación, se laminaron en caliente para formar unas placas de acero con un espesor de 10 mm. A continuación, las placas de acero laminadas en caliente se sometieron a un tratamiento térmico y a laminación en frío bajo las condiciones que se muestran en la tabla 2 para preparar unas muestras de placa para su evaluación. A saber, cada placa de acero laminada en caliente se sometió a un tratamiento térmico para la normalización mediante calentamiento hasta 900 ºC y a homogeneización durante 10 minutos a esa temperatura seguido de un enfriamiento por aire. El enfriamiento por aire en este momento tuvo una velocidad de enfriamiento promedio de 2 - 3 ºC por segundo bajando desde 800 ºC hasta 500 ºC. La placa de acero normalizada se laminó en frío hasta un espesor de acabado de 6 mm y, a continuación, se sometió a un tratamiento térmico para el recocido de relajación de tensiones internas mediante calentamiento hasta una temperatura en el intervalo desde 450 - 600 ºC y a homogeneización durante 20 minutos a esa temperatura seguido de un enfriamiento por aire. Un ensayo de esfuerzos de tracción, un ensayo de resiliencia Charpy y la observación de la estructura metalúrgica se llevaron a cabo sobre las placas de muestra que se prepararon de la presente forma. Los resultados de ensayo se muestran también en la tabla 2.

El ensayo de esfuerzos de tracción se llevó a cabo usando una probeta con forma de varilla con un diámetro de 4 mm y una longitud de la porción paralela de 34 mm que se corta a partir de cada placa en una dirección perpendicular a la dirección de laminación de la placa. El ensayo de esfuerzos de tracción se llevó a cabo de acuerdo con el procedimiento de ensayo de esfuerzos de tracción para materiales metálicos que se especifica en la norma JIS Z 2241.

Para el ensayo de resiliencia Charpy, un paralelepípedo rectangular con una longitud de 55 mm, una anchura de 4 mm y un espesor de 10 mm, se cortó a partir de cada placa en la dirección perpendicular a la dirección de laminación de la placa, y una probeta de tamaño inferior al normal se preparó a partir del mismo formando una muesca en forma de V en el centro de la longitud del paralelepípedo en la dirección de acabado con un ángulo de muesca de 45 º, una profundidad de muesca de 2 mm y un radio del fondo de muesca de 0,25 mm. Usando tales probetas, un ensayo de resiliencia Charpy se llevó a cabo de acuerdo con el procedimiento de ensayo de resiliencia Charpy para materiales metálicos prescrito por la norma JIS Z 2242 01 a diferentes temperaturas para determinar la temperatura de ensayo más baja a la que la fractura fue un 100 % dúctil (vTr 100).

La estructura metalúrgica se observó usando una sección transversal longitudinal de la placa como superficie para su observación. Un cubo con unas medidas de 10 mm en cada lado cortado a partir de la placa se incrustó en una resina y se pulió, la superficie para su observación se trató con ácido con una disolución de ataque químico de nital, y la superficie atacada se observó con un microscopio óptico. La estructura metalúrgica se evaluó según sigue:

(1) una estructura que comprende principalmente ferrita, en la que la fracción de área de la bainita es de, por lo menos, un 10 %, y la de pearlita es menor de un 10 %: una fase doble de ferrita + bainita; y
(2) una estructura que comprende principalmente ferrita, en la que la fracción de área de pearlita es de, por lo menos, un 10 %, y la de bainita es menor de un 10 %: una fase doble de ferrita + pearlita.

Dentro del intervalo de las composiciones de acero para ensayo que se muestra en la tabla 1, no se observaron estructuras diferentes de las que se describen anteriormente (1) y (2).

Los resultados del ensayo de esfuerzos de tracción y el ensayo de resiliencia Charpy se evaluaron según sigue para determinar si el material era adecuado para un tubo de acero para su uso como un acumulador de bolsa de aire. Para el ensayo de esfuerzos de tracción, el caso en el que la resistencia a esfuerzos de tensión era de, por lo menos, 850 MPa fue aceptable y el caso en el que esta era menor que el presente valor fue inaceptable. Para el ensayo de resiliencia Charpy, el caso en el que la temperatura de ensayo más baja a la que la fractura fue un 100 % dúctil (vTr 100) fue de -20 ºC o más baja fue aceptable, y el caso en el que la temperatura de ensayo más baja fue más alta que el presente valor fue inaceptable.

Tabla 1

Composición química del acero (% en masa, equilibrio: Fe e impurezas)														
Acero n.º	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb	Al sol.	Ca, Mg, REM	Ceq
1	0,11	0,28	1,33	0,016	0,0023		0,62		0,20	0,012	0,028	0,035	Ca: 0,0018	0,507
2	0,16	0,28	1,31	0,015	0,0031		0,61		0,20	0,012	0,026	0,037	Ca: 0,0020	0,552
3	0,11	0,28	1,33	0,010	0,0025	0,25	0,60	0,24	0,30	0,028	0,024	0,035	Ca: 0,0021	0,556
4	0,11	0,27	1,33	0,016	0,0031		0,61		0,20	0,010	0,013	0,036	Ca: 0,0024	0,505
5	0,11	0,28	1,32	0,018	0,0026		0,61		0,20	0,010		0,035	Ca: 0,0024	0,504
6	0,11	0,27	1,30	0,016	0,0028	0,20	0,61	0,21	0,20	0,011		0,036	Ca: 0,0024	0,527
7	0,11	0,28	1,31	0,018	0,0028	0,20	0,61	0,21	0,10	0,010		0,034	Ca: 0,0026	0,509
8	0,11	0,27	1,30	0,014	0,0028	0,20	0,61	0,25	0,31	0,011		0,036	Mg: 0,0012	0,552
9	0,11	0,28	1,31	0,014	0,0025	0,20	0,61	0,18	0,10		0,025	0,034	REM: 0,0025	0,507
10	0,11	0,32	1,28	0,012	0,0018	0,20	0,61	0,20	0,50	0,010		0,034	Ca: 0,0017	0,589
11	0,11	0,27	0,82	0,019	0,0030		0,82		0,05	0,012	0,031	0,036	Ca: 0,0018	0,432*
12	0,11	0,28	1,90	0,017	0,0030		0,95		0,05	0,010	0,028	0,033	Ca: 0,0018	0,638*
13	0,11	0,26	1,34	0,017	0,0030		0,61		0,20	0*	0*	0,034	Ca: 0,0029	0,506
14	0,16	0,26	0,56*	0,011	0,0020	0,31	0,75	0,30	0,30	0,007	0,022	0,025	Ca: 0,0012	0,515
15	0,15	0,28	1,30	0,015	0,0020		0,59		0,16	0,025	0,024	0,032	0*	0,528
* Fuera del intervalo que se define en el presente documento.														

Tabla 2

Acero n.º	Tratamiento térmico de la placa en bruto	Laminación en frío después de tratamiento térmico	Tratamiento térmico después de la laminación en frío	Estructura metalúrgica	TS (MPa)	vTr 100 (ºC)
1	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 550 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	869	-30
2	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 570 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	925	-30
3	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 600 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	922	-20
4	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 520 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	869	-25
5	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 475 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	855	-20
6	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 500 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	852	-20
7	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 470 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	856	-25
8	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 580 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	930	-20
9	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 470 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	856	-25
10	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 600 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	956	-25
11	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 450 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de + pearlita	734	-20
12	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 600 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	905	20
13	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 470 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita *2	850	-10
14	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 550 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + perlita *1	900	10
15	Homogeneización durante 10 minutos a 900 ºC, a continuación enfriamiento por aire	Laminación desde 10 mm hasta 6 mm de espesor	Homogeneización durante 20 minutos a 610 ºC, a continuación enfriamiento por aire	fase doble de ferrita + bainita	909	30

*[1] La estructura metalúrgica se encontraba fuera del intervalo de la presente invención; *[2] El diámetro de granos de ferrita se engrosó.

Tal como se muestra en la tabla 2, para los aceros n.º 1 - 10 que tienen unas composiciones químicas que satisficieron las condiciones prescritas por la presente invención, la estructura metalúrgica era una estructura de doble fase de ferrita + bainita y los resultados tanto para el ensayo de esfuerzos de tracción como para el ensayo de resiliencia Charpy fueron aceptables. Por lo tanto, puede verse que estos aceros fueron adecuados como un material para un tubo de acero para un acumulador de bolsa de aire.

Por el contrario, para el acero n.º 11, debido al Ceq que era más bajo que el intervalo prescrito, la resistencia a esfuerzos de tensión fue demasiado baja. Para el acero n.º 12, debido al Ceq que era más alto que el intervalo prescrito, incluso a pesar de que la resistencia a esfuerzos de tensión fue aceptable, el resultado del ensayo de resiliencia Charpy fue inaceptable. El acero n.º 13 no contenía Ti ni Nb, y los resultados del ensayo de resiliencia Charpy fueron inaceptables. Para el acero n.º 14, el Ceq se encontró en el intervalo prescrito, pero debido a que el Mn era demasiado bajo, la estructura metalúrgica se volvió ferrita + perlita y el resultado de la tenacidad a baja

temperatura fue inaceptable. Para el acero n.º 15, el Ceq satisfizo el intervalo prescrito, pero debido a que no se añadió ninguno de Ca, Mg o REM, la tenacidad a baja temperatura fue inaceptable.

Ejemplo 2

Unos tubos de acero sin costuras, cada uno con un diámetro exterior de 31,8 mm y un espesor de pared de 2,7 mm, se prepararon en una laminadora de tubos de acero sin costuras por el procedimiento de laminadora de mandril de Mannesman, usando un material de acero (los aceros con n.os 16 y 17) que tiene las composiciones químicas que se muestran en la tabla 3.

El tubo de acero sin costuras del Acero n.º 16 experimentó un labrado en bruto (a una relación de reducción de un 35 %) con el fin de dar un diámetro exterior de 25,0 mm y un espesor de pared de 2,25 mm mediante estirado en frío de una forma convencional. Este se sometió a continuación a un tratamiento térmico de normalización mediante calentamiento hasta 900 ºC y a homogeneización durante 5 minutos seguido de un enfriamiento por aire. El tubo de acero normalizado experimentó un estirado en frío (a una relación de reducción de un 34 %) con el fin de acabar este a un diámetro exterior de 20,0 mm y a un espesor de pared de 1,85 mm. Este se sometió a continuación a un recocido de relajación de tensiones internas mediante calentamiento hasta 500 ºC y a homogeneización durante 20 minutos seguido de un enfriamiento por aire para obtener un tubo de acero producto.

El tubo de acero sin costuras del Acero n.º 17 se sometió, sin un labrado en bruto, a un tratamiento térmico de normalización mediante calentamiento hasta 900 ºC y a homogeneización durante 5 minutos seguido de un enfriamiento por aire. El tubo de acero normalizado experimentó un estirado en frío (a una relación de reducción de un 41 %) con el fin de acabar este a un diámetro exterior de 25,0 mm y a un espesor de pared de 2,0 mm. Este se sometió a continuación a un recocido de relajación de tensiones internas mediante calentamiento hasta 470 ºC y a homogeneización durante 20 minutos seguido de un enfriamiento por aire para obtener un tubo de acero producto.

La resistencia, la tenacidad y la resistencia al estallido de cada uno de estos dos tubos de acero producto se evaluaron de la siguiente forma. Los resultados de ensayo se recopilan también en la tabla 3.

La resistencia a esfuerzos de tensión se evaluó mediante el procedimiento de ensayo de esfuerzos de tracción para materiales metálicos especificado por la norma JIS Z 2241, usando una probeta n.º 11 especificada por la norma JIS Z 2201 que se toma en la dirección longitudinal del tubo de acero.

La evaluación de la tenacidad se llevó a cabo de acuerdo con el procedimiento de ensayo de resiliencia Charpy para materiales metálicos prescrito por la norma JIS Z 2242 01 usando una probeta de tamaño inferior al normal que se obtiene cortando un paralelepípedo rectangular con una longitud de 55 mm, una anchura de 1,85 mm y un espesor de 10 mm en la dirección circunferencial (la dirección T) de un tubo de acero que se abrió por corte y se desenrolló a temperatura ambiente e impartiendo una muesca en forma de V en la dirección de acabado en el centro de la dirección longitudinal, teniendo la muesca un ángulo de muesca de 45 º, una profundidad de muesca de 2 mm y un radio en el fondo de la muesca de 0,25 mm.

Se llevó a cabo un ensayo de estallido cortando tres secciones de tubo de acero con una longitud de 250 mm a partir de cada tubo de acero producto, soldando una tapa a cada extremo de cada sección de tubo para cerrar la sección de tubo y aumentando la presión interna de la sección de tubo cerrado que se mantuvo a -20 ºC hasta que el estallido tuvo lugar introduciendo un líquido (etanol) en la sección de tubo a través de una entrada que penetraba la tapa en un extremo de la sección de tubo. La resistencia al estallido se evaluó observando el desarrollo de grietas cuando las secciones de tubo estallaron a -20 ºC.

Tabla 3

Acero n.º	C	Si	Mn	P	s	Cu	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb	Al sol.	Ca	Ceq	Estructura metál.	TS (MPa)	vTrs (ºC)	Ensayo de estallido
16	0,11	0,32	1,31	0,012	0,004	0,28	0,62	0,24	0,30	0,028	0,021	0,050	0,0020	0,560	fase doble de ferrita + bainita	955	-20	Bueno - Sin propagación de grietas en ninguna de las 3 secciones de tubo
17	0,11	0,31	1,37	0,012	0,002	0,18	0,63	0,20	0,21	0,008	0,028	0,044	0,0014	0,545	fase doble de ferrita + bainita	959	-20	Bueno - Sin propagación de grietas en ninguna de las 3 secciones de tubo

Tal como se muestra en la tabla 3, la resistencia a esfuerzos de tensión, la tenacidad y la resistencia al estallido eran buenas para los tubos de acero sin costuras de ambos Aceros con n.os 16 y 17. Estos resultados confirmaron que un tubo de acero sin costuras de acuerdo con la presente invención tiene unas propiedades satisfactorias para su uso como un acumulador de bolsa de aire. A saber, no sólo en el caso en el que el labrado en frío se realizó en dos fases que consisten en un labrado en bruto antes de un tratamiento térmico de normalización y un trabajo de acabado después del tratamiento térmico (Acero n.º 16) sino también en el caso en el que un tubo de acero producto se obtuvo sólo mediante un trabajo de acabado sin un labrado en bruto previo (Acero n.º 17), fue posible fabricar un tubo de acero sin costuras que tiene las propiedades requeridas para un acumulador de bolsa de aire sólo con un tratamiento térmico en la forma de normalización sin templado y recocido.

La figura 1 es una gráfica que muestra una comparición de la relación entre el Ceq y la resistencia a esfuerzos de tensión para los aceros de acuerdo con la presente invención en la tabla 1 (los aceros con n.os 1 - 10 y con n.os 16 y 17) en comparación con los de los ejemplos de los documentos de patente 5 y 6. Tal como puede verse a partir de la presente figura, en la presente invención, puede obtenerse un material que tiene una resistencia considerablemente alta. Por supuesto, la tenacidad a baja temperatura de un material de la presente invención era también excelente y se confirmó su superioridad con respecto a la resistencia al estallido real, por lo que este es un material excelente para su uso en un acumulador de bolsa de aire.

REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire **caracterizado por** tener una composición de acero que consiste, en % en masa, en C: 0,08 - 0,20 %, Si: 0,1 - 1,0 %, Mn: 0,6 - 2,0 %, P: como máximo un 0,025 %, S: como máximo un 0,010 %, Cr: 0,05 - 1,0 %, Mo: 0,05 - 1,0 %, Al: 0,002 - 0,10 %, por lo menos uno de entre Ca: 0,0003 - 0,01 %, Mg: 0,0003 - 0,0 1 % y REM (metales de tierras raras): 0,0003 - 0,01 %, por lo menos uno de entre Ti: 0,002 - 0,1 % y Nb: 0,002 - 0,1 %, opcionalmente, uno o más de Cu: 0,05 - 0,5 % y Ni: 0,05 - 1,5 %, estando el Ceq, que se define mediante la siguiente ecuación (1), en el intervalo de 0,45 - 0,63, y un resto de Fe e impurezas, siendo la estructura metalúrgica una estructura mixta de ferrita + bainita que tiene una fracción de área de la bainita de, por lo menos, un 10 %:

$$\mathbf{Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + (Cr + Mo)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad ..... \quad (1)}$$

en el que el símbolo para cada elemento en la ecuación (1) indica el número que expresa el porcentaje en masa del elemento.

2. Un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la composición de acero comprende uno o más de Cu: 0,1 - 0,4 % y Ni: 0,1 - 1,0 %.

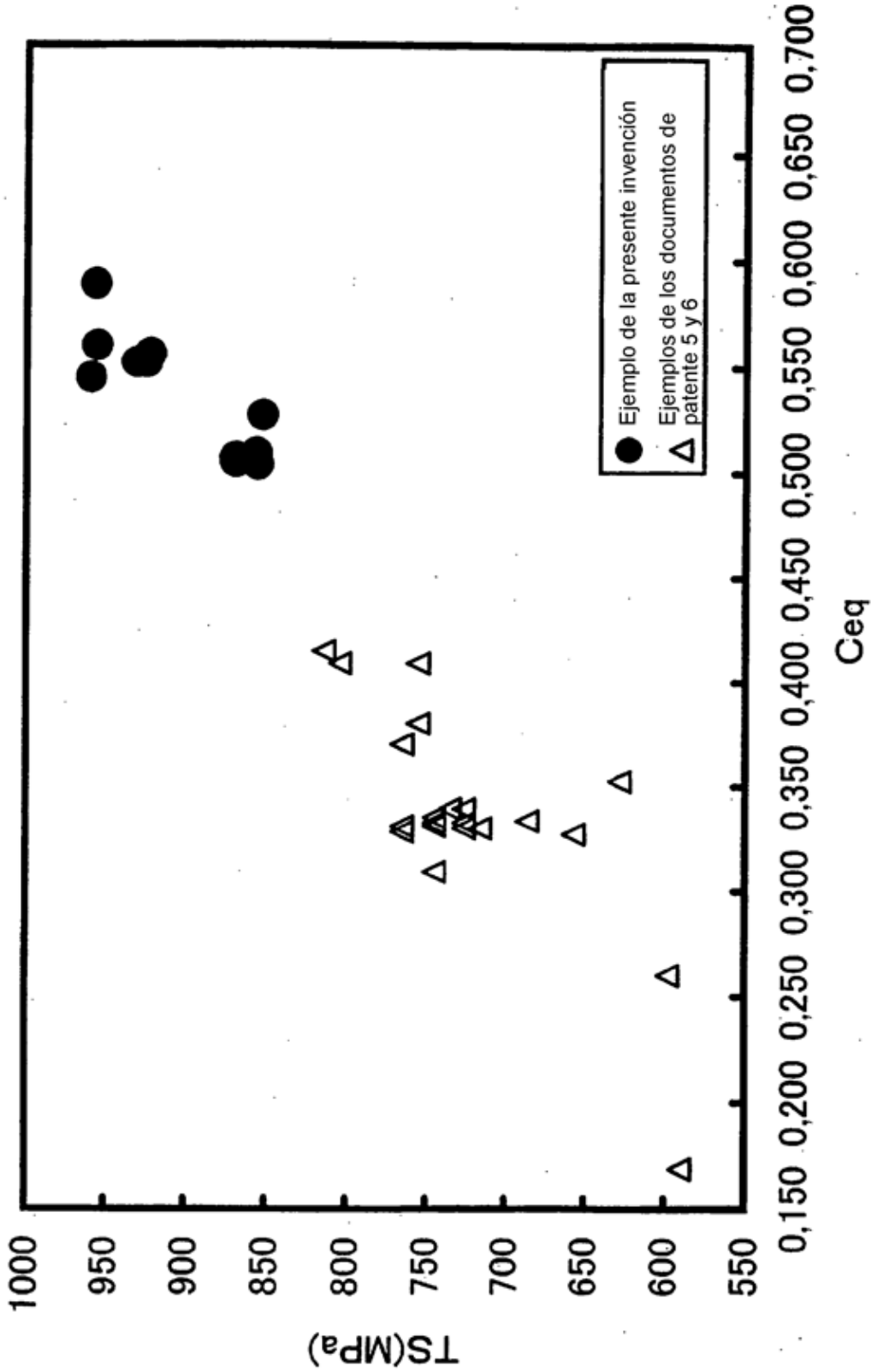
3. Un procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire, que comprende una etapa de formación de un tubo de acero sin costuras que tiene una composición de acero de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 y una etapa de someter el tubo de acero a labrado en frío de acabado con el fin de dotarle de las dimensiones prescritas, **caracterizado porque** el procedimiento comprende una etapa de realización de un tratamiento térmico de normalización sobre el tubo de acero antes de la etapa de labrado en frío de acabado calentando el tubo de acero hasta una temperatura en el intervalo desde el punto de transformación Ac_3 hasta 1.000 ºC seguido de un enfriamiento por aire.

4. Un procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la etapa de labrado en frío de acabado se realiza mediante estirado en frío.

5. Un procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire de acuerdo con la reivindicación 3, que además comprende una etapa de realización de recocido de relajación de tensiones internas sobre el tubo de acero a una temperatura de 450 - 650 ºC después de la etapa de labrado en frío de acabado.

6. Un procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin costuras para un acumulador de bolsa de aire de acuerdo con la reivindicación 3, que además comprende una etapa de realización de labrado en bruto mediante labrado en frío sobre el tubo de acero antes de la etapa de tratamiento térmico de normalización.

Fig. 1


TS(MPa)
1000
950
900
850
800
750
700
650
600
550
0,150
0,200
0,250
0,300
0,350
0,400
0,450
0,500
0,550
0,600
0,650
0,700
Ceq
Ejemplo de la presente invención
Ejemplos de los documentos de patente 5 y 6