

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 691 209**

51 Int. Cl.:

C21D 8/10	(2006.01)	C22C 38/48	(2006.01)
C21D 9/08	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)		
C22C 38/42	(2006.01)		
C22C 38/54	(2006.01)		
B21C 29/00	(2006.01)		
C21D 1/25	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.06.2011 PCT/JP2011/062583**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **08.12.2011 WO11152447**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2011 E 11789849 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018 EP 2578705**

54 Título: **Proceso para fabricar un tubo de acero para airbag**

30 Prioridad:

03.06.2010 JP 2010127713

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

26.11.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KAWAMOTO TAKUMA;
ARAI YUJI y
TAKANO TAKASHI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 691 209 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

Proceso para fabricar un tubo de acero para airbag

Campo de la técnica

5 Esta invención se refiere a un proceso para fabricar económicamente un tubo de acero sin soldadura que es adecuado como un tubo de acero para airbags (sistemas de bolsa de aire) y al que se exige alta resistencia, expresada por una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa, y alto nivel de dureza, expresado por un valor de $vTrs$ 100 (la temperatura de transición de aparición de fractura Charpy más baja a la que el porcentaje de fractura dúctil es del 100 %) de -60°C o menos.

Antecedentes de la técnica

10 En los últimos años, la industria del automóvil ha promovido activamente la introducción de equipos de seguridad. Un ejemplo de tal equipo que se ha desarrollado es un sistema de airbag, que se ha instalado en muchos automóviles. En el momento de una colisión, un sistema de airbag infla un airbag con un gas o similar entre un pasajero y el volante, el panel de instrumentos, o similar antes de que el pasajero impacte contra estos objetos y reduce las lesiones del pasajero absorbiendo la energía cinética del mismo. Los sistemas de airbag eran inicialmente de un tipo que usaba
15 productos químicos explosivos, pero en los últimos años, se ha desarrollado un tipo que usa un gas de llenado a alta presión, y que se usa cada vez más.

En los sistemas de airbag que usan un gas de llenado a alta presión, un gas de llenado tal como un gas inerte (como el argón) que se introduce en un airbag en el momento de una colisión siempre se mantiene a alta presión dentro de un acumulador conectado al airbag, y en el momento de una colisión, se sopla todo el gas de una vez desde el
20 acumulador en el airbag con el fin de inflar el airbag. Típicamente, un acumulador se fabrica soldando una tapa a ambos extremos de un tubo de acero que se ha cortado a una longitud adecuada y, si es necesario, se ha sometido a una reducción de diámetro.

Por consiguiente, se aplica una tensión a una alta velocidad de deformación a un tubo de acero usado para un acumulador de un sistema de airbag (denominado a continuación como acumulador de airbag o simplemente como
25 un acumulador) en un período de tiempo extremadamente corto. Por lo tanto, a diferencia de estructuras tales como cilindros de presión convencionales o tuberías de línea, este tipo de tubo de acero requiere una alta precisión dimensional, trabajabilidad y, soldabilidad, así como una alta resistencia y excelente resistencia al estallido.

Recientemente, hay una demanda creciente para disminuciones en el peso de los automóviles. Desde este punto de vista, también existe el deseo de reducir el espesor de pared y el peso de los tubos de acero para los airbags para
30 montar en los automóviles. Con el fin de garantizar una alta presión de estallido incluso con un espesor de pared reducido, los acumuladores se fabrican ahora a partir de tubos de acero sin soldadura de alta resistencia con una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa o incluso al menos 1.000 MPa. Tomando como ejemplo un acumulador fabricado a partir de un tubo de acero sin soldadura con un diámetro exterior de 60 mm y un espesor de pared de 3,55 mm, si su resistencia a la tracción es 800 MPa, su presión de estallido es como máximo alrededor de 100 MPa, pero
35 si su resistencia a la tracción es 1.000 MPa, su presión de estallido aumenta a 130 MPa. Al mismo tiempo, cuando el diámetro exterior de un acumulador de un airbag y la presión de estallido requerida son constantes, es posible disminuir el espesor de pared en alrededor el 20 %.

Un acumulador también necesita tener una excelente tenacidad a baja temperatura, de modo que, incluso en regiones frías, el acumulador no sufra una fractura frágil en el momento de una colisión, lo que puede provocar accidentes secundarios.
40

Por esta razón, se ha impartido a un tubo de acero sin soldadura para un acumulador una alta resistencia y una alta tenacidad llevando a cabo en el mismo un endurecimiento por templado y revenido. Específicamente, se desea que un acumulador tenga una tenacidad a baja temperatura tal que la fractura en una prueba de impacto Charpy a -60°C sea dúctil (es decir, $vTrs100$ es -60°C o menos), y preferiblemente tal que la fractura en una prueba de impacto Charpy a -80°C sea dúctil ($vTrs100$ es -80°C o menos).
45

Con respecto a un tubo de acero sin soldadura para sistemas de airbag con alta resistencia y alta tenacidad, el Documento de Patente 1, por ejemplo, propone un proceso para fabricar un tubo de acero sin soldadura para airbags que comprende formar un tubo de acero sin soldadura por trabajo en caliente usando un material de acero con una composición química en un intervalo prescrito, estirar en frío el tubo de acero sin soldadura para conferir las
50 dimensiones predeterminadas, calentar el tubo de acero a una temperatura en el intervalo de al menos el punto Ac_3 a como máximo 1.050°C seguido por templado, y luego revenido a una temperatura en el intervalo de al menos desde 450°C a como máximo el punto Ac_1 .

Se pretende que este proceso proporcione un tubo de acero sin soldadura que tenga excelentes trabajabilidad y soldabilidad en el momento de la fabricación de un inflador de un airbag, que tenga una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa cuando se use como un inflador, y que tenga alta tenacidad de tal modo que muestre ductilidad en una prueba de caída realizada a -60°C en un tubo de acero cortado por la mitad. Sin embargo, el hecho de que muestre
55

ductilidad en una prueba de caída a -60°C no significa necesariamente que sea dúctil en una prueba de estallido a -60°C .

El Documento de Patente 2 propone un proceso para fabricar un tubo de acero para sistemas de airbag con una resistencia a la tracción que exceda de 1.000 MPa llevando a cabo un endurecimiento por templado mediante calentamiento por inducción de alta frecuencia para lograr un refinamiento del grano por calentamiento rápido. Cuando se usa un tubo de acero sin soldadura como un tubo madre, se prepara el tubo de acero sin soldadura por conformado de tubos en caliente usando un material de acero con una composición química en un intervalo prescrito, y se somete el tubo de acero sin soldadura a un estirado en frío para obtener un tubo de acero con dimensiones predeterminadas. Después se calienta el tubo de acero, se temple, y luego se somete a revenido a una temperatura de como máximo el punto de transformación Ac_1 . Al llevar a cabo el revenido después del endurecimiento por templado, al tubo de acero se le confiere una alta tenacidad deseable para de ese modo exhibir ductilidad en una prueba de estallido incluso a -80°C o menos.

Sin embargo, en los procedimientos descritos en los Documentos de Patente 1 y 2, tal como se describen específicamente en ellos, con el fin obtener un tubo de acero con una resistencia a la tracción de al menos 1.000 MPa y una alta tenacidad, era necesario contener una gran cantidad de costosos metales de aleación tales como Cr y Mo. En el Documento de Patente 1, el contenido (Cr + Mo) es del 1,0 al 2,5 % en masa, y en el Documento de Patente 2, se emplea un material de acero para el que en muchos casos el contenido (Cr + Mo) es del 0,92 % en masa. Si se contienen grandes cantidades de Cr y Mo, además de un alto costo del material debido particularmente al costoso Mo, después de formar un tubo de acero sin soldadura en un estado caliente, el tubo de acero resultante tiende a tener una alta resistencia que hace difícil el subsiguiente estirado en frío. Por lo tanto, se hace necesario un tratamiento de reblandecimiento antes del estirado en frío, haciendo de ese modo complicado el proceso de fabricación y altos los costos de fabricación.

El Documento de Patente 3, que usa un acero en el que el contenido de (Cr + Mo) es del 1,0-1,18 % en masa, tiene los mismos problemas que el acero de los Documentos de Patente 1 y 2.

El Documento de Patente 4 describe una composición de acero para un tubo de acero sin soldadura con una excelente resistencia al estallido y que contiene Cr, Mo, Cu y Ni. Sin embargo, sus propiedades se evalúan con respecto a un tubo de acero sin soldadura en el que el contenido (Cr + Mo) es al menos 0,76 % en masa, y la resistencia a la tracción de ese tubo es como máximo 947 MPa.

El Documento de Patente 5 (US 2006/169368 A1) se refiere a tubos de acero de baja aleación con una ultra alta resistencia y una excelente tenacidad a baja temperatura, y también a un método de fabricación de tal tubo de acero.

Documentos de la técnica anterior

Documentos de patentes

Documento de Patente 1: JP 2004-76034 A1

Documento de Patente 2: WO 2004/104255 A1

Documento de Patente 3: US 2005/0076975 A1

Documento de patente 4: WO 2002/079526 A1

Compendio de la invención

En un tubo de acero convencional para airbags, con el fin de dotarle de una alta resistencia y una alta tenacidad, se logró el fortalecimiento añadiendo Cr y Mo. Sin embargo, esa técnica no sólo aumenta el costo de la aleación, sino que también dificulta llevar a cabo el estirado en frío después del conformado del tubo. Por lo tanto, cuando hay una gran diferencia entre el tamaño de un tubo de acero sin soldadura usado como un tubo madre y el tamaño de un tubo de acero para airbags como producto final, se hace necesario repetir múltiples veces el estirado en frío en una etapa de estirado en frío. En este caso, el tubo de acero se acaba en un producto con las dimensiones deseadas mientras se lleva a cabo el reblandecimiento entre las sucesivas veces del estirado en frío, por lo que aumentan los costos generales de fabricación.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags con una alta resistencia y alta tenacidad por medios menos costosos que las técnicas de la técnica anterior, y que es menos costoso que los productos convencionales al simplificar una etapa de estirado o disminuir el costo de la aleación.

Desde otro punto de vista, un objeto de la presente invención es proporcionar un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags con un espesor de pared y diámetro que son iguales o menores que los productos convencionales que usan un material de partida y un proceso de fabricación con costos más bajos que en el pasado.

Los presentes inventores observaron que, como resultado de confiar el refuerzo al Cr y al Mo en un tubo de acero convencional de alta resistencia para airbags, se hace alta la resistencia después de la finalización del conformado

del tubo en caliente, produciendo así una disminución en la productividad durante el estirado en frío y, aumenta el costo de la aleación. Por lo tanto, investigaron una composición de aleación y un proceso de fabricación que suprimiera el uso de estos elementos de aleación tanto como fuese posible y que pudiera garantizar una alta resistencia expresada por una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa y una excelente tenacidad a baja temperatura expresada por una $vTrs_{100}$ de $-60^{\circ}C$ o menos.

Como resultado, obtuvieron el siguiente conocimiento y completaron la presente invención. (a) En la fabricación de un tubo de acero para airbags llevando a cabo un estirado en frío seguido por un endurecimiento por templado y revenido, si las condiciones del calentamiento y las condiciones del enfriamiento en el momento del endurecimiento por templado se ajustan adecuadamente, es posible garantizar una alta resistencia y una tenacidad a baja temperatura incluso si el tubo de acero no contiene una gran cantidad de Cr y Mo. Es particularmente efectivo que el acero contenga Cu y Ni en lugar de Cr y Mo. (b) Un acero con un contenido reducido de Cr y Mo y que en su lugar contenga Cu y Ni se somete fácilmente a un estirado en frío después del conformado del tubo en caliente. Como resultado, es posible aumentar la relación de trabajo (reducción en el área) en una única operación de estirado en frío en una etapa de estirado en frío, simplificando así la etapa de estirado en frío.

La presente invención es un proceso para fabricar un tubo de acero con una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa y una tenacidad a baja temperatura expresada como un valor de $vTrs_{100}$ de $-60^{\circ}C$ o menos para airbags caracterizado por incluir una etapa de formación de un tubo en el que se produce un tubo de acero sin soldadura por conformado de un tubo en caliente a partir de un acero que comprende, en % en masa, C: 0,04 - 0,20 %, Si: 0,10 - 0,50 %, Mn: 0,10 - 1,00 %, P: como máximo 0,025 %, S: como máximo 0,005 %, Al: como máximo 0,10 %, Cr: 0,01 - 0,50 %, Cu: 0,01 - 0,50 %, Ni: 0,01 - 0,50 %, Mo: menos del 0,1 %, Nb: como máximo 0,050%, Ti: como máximo 0,050 %, V: como máximo 0,20 %, Ca: como máximo 0,005 %, B: como máximo 0,0030 %, y un resto de Fe e impurezas inevitables, una etapa de estirado en frío en la que el tubo de acero sin soldadura resultante se somete a estirado en frío al menos una vez con una reducción en el área de más del 40 % al 50 % en una operación de estirado en frío de una vez para obtener un tubo de acero con las dimensiones predeterminadas, y una etapa de tratamiento térmico en la que el tubo de acero estirado en frío se somete a un endurecimiento mediante templado por calentamiento a una temperatura de al menos el punto Ac_3 a una velocidad de aumento de temperatura de al menos $50^{\circ}C$ por segundo seguido por enfriamiento a una velocidad de enfriamiento de al menos $50^{\circ}C$ por segundo, al menos en un intervalo de temperatura de $850 - 500^{\circ}C$, y luego a revenido a una temperatura de como máximo el punto Ac_1 .

Las realizaciones preferidas de un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags según la presente invención son las siguientes.

El acero puede contener además opcionalmente uno o más de los siguientes elementos:

Mo: 0,01 - 0,10 %,

al menos uno de Nb: 0,005 - 0,050 %, Ti: 0,005 - 0,050 %, y V: 0,02 - 0,20 %; y

al menos uno de Ca: 0,0005 - 0,005 %, y B: 0,0005 - 0,0030 %.

Los contenidos de Cu, Ni, Cr, y Mo en el acero satisfacen preferiblemente la siguiente Ecuación (1).

$$Cu + Ni \geq (Cr + Mo)^2 + 0,3 \quad (1)$$

Los símbolos para los elementos en la Ecuación (1) indican los valores del contenido de esos elementos en porcentaje en masa. Cuando no está contenido el Mo, $Mo = 0$.

El espesor de pared del tubo de acero después de la finalización de la etapa de estirado en frío es preferiblemente como máximo 2,0 mm.

La etapa de estirado en frío se lleva a cabo preferiblemente realizando un estirado en frío de una sola vez.

El calentamiento para el endurecimiento por templado en la etapa de tratamiento térmico se lleva a cabo preferiblemente mediante calentamiento por inducción de alta frecuencia. En este caso, antes de calentarse para el endurecimiento por templado, el tubo de acero obtenido en la etapa de estirado en frío se somete preferiblemente a un proceso de estirado.

Según la presente invención, es posible fabricar un tubo de acero para airbags con una alta resistencia expresada como una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa y una excelente tenacidad a baja temperatura expresada por $vTrs_{100}$ de $-60^{\circ}C$ o menos, mientras que el contenido del costoso Mo está restringido a 0 o a un nivel bajo. Además, la resistencia del tubo de acero sin soldadura obtenido por el conformado de tubos en caliente no es demasiado alta, por lo que se puede aumentar la relación de trabajo en la etapa de estirado en frío posterior en comparación con un proceso convencional, y se puede disminuir el número de veces que se debe llevar a cabo la operación del estirado en frío con la intervención de un reblandecimiento entre las operaciones de laminación en frío. Por lo tanto, según la presente invención, es posible disminuir tanto el coste de la aleación como el coste de fabricación de un tubo de acero para airbags en comparación con la técnica anterior.

Modos para llevar a cabo la invención

La composición química y el proceso de fabricación para un tubo de acero para airbags según la presente invención se explicarán más específicamente a continuación.

(A) Composición química del acero

5 En esta descripción, el porcentaje con respecto a la composición química de un acero significa un porcentaje en masa. El resto de la composición química de un acero diferente a los elementos descritos a continuación es Fe e impurezas inevitables.

C: 0,04 - 0,20 %

10 El C es un elemento que es efectivo para aumentar la resistencia del acero a bajo costo. Si su contenido es menor del 0,04 %, es difícil obtener una alta resistencia (resistencia a la tracción), y si excede de 0,20 %, disminuyen la trabajabilidad y la soldabilidad. Por consiguiente, el contenido de C se hace al menos 0,04 %, y como máximo 0,20 %. Un intervalo preferido para el contenido de C es de al menos 0,07 % a como máximo 0,20 %, y un intervalo más preferido es de al menos 0,12 % a como máximo 0,17 %. Cuando se desea obtener una resistencia a la tracción de al menos 1.000 MPa, es preferible que contenga al menos 0,06 % de C.

15 Si: 0,10 - 0,50 %

El Si es un elemento que tiene una acción desoxidante y que también aumenta la resistencia del acero aumentando su templabilidad. Con este objeto, el contenido de Si se hace al menos 0,10 %. Sin embargo, si su contenido excede de 0,50 %, disminuye la tenacidad, por lo que el contenido de Si se hace como máximo 0,50 %. Un intervalo preferido para el contenido de Si es de al menos el 0,20 % a como máximo 0,45 %.

20 Mn: 0,10 - 1,00 %

25 El Mn es un elemento que tiene una acción desoxidante y que también es eficaz para aumentar la resistencia y la tenacidad del acero aumentando su templabilidad. Si su contenido es menor del 0,10 %, no se obtienen una suficiente resistencia y tenacidad. Si su contenido excede de 1,00 %, tiene lugar el engrosamiento del MnS, el MnS grueso se alarga en el momento del laminado en caliente, lo que conduce a una disminución de la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de Mn se hace al menos 0,10 %, y al menos 1,00 %. Un contenido preferido de Mn es al menos 0,30 %, y como máximo 0,80 %.

P: como máximo 0,025 %

30 El P, que está contenido en el acero como una impureza, produce una disminución en la tenacidad debido a la segregación de los límites de grano. En particular, si el contenido de P excede de 0,025 %, se reduce marcadamente la tenacidad. Por consiguiente, el contenido de P se hace como máximo 0,025 %. El contenido de P es preferiblemente como máximo 0,020 %, y más preferiblemente como máximo 0,015 %.

S: como máximo 0,005 %

35 El S, que está contenido en el acero como impureza, también disminuye la tenacidad, particularmente en la dirección T de un tubo de acero (la dirección perpendicular a la dirección de laminación (la dirección longitudinal) de un tubo de acero). Si el contenido de S excede de 0,005 %, hay una disminución marcada en la tenacidad en la dirección T de un tubo de acero, por lo que el contenido de S se hace como máximo 0,005 %. Un contenido de S preferido es como máximo 0,003 %.

Al: como máximo 0,10 %

40 El Al es un elemento que tiene una acción desoxidante y que es eficaz para aumentar la tenacidad y la trabajabilidad del acero. Sin embargo, si el Al está contenido en una cantidad que excede de 0,10 %, hay una marcada aparición de las marcas de arena. Por consiguiente, el contenido de Al se hace como máximo 0,10 %. El contenido de Al puede estar en el nivel de una impureza, por lo que no existe un límite inferior particular, pero está preferiblemente al menos al 0,005 %. El contenido del Al en la presente invención se expresa como el contenido de Al soluble en ácido (denominado Al sol.).

45 Cr: 0,01 - 0,50 %

50 El Cr tiene el efecto de aumentar la resistencia y la tenacidad del acero aumentando la templabilidad y la resistencia al reblandecimiento del templado. Este efecto aparece cuando el contenido de Cr es al menos 0,01 %. Sin embargo, debido a que el Cr es un elemento que mejora la templabilidad, esto causa el endurecimiento del acero en la etapa del enfriamiento después del conformado del tubo en caliente, limitando así la relación de trabajo de una operación de estirado en frío de una vez, por lo que hay una mayor necesidad de realizar una pluralidad de veces una etapa de estirado en frío con la intervención de un tratamiento de reblandecimiento. Además, un aumento en el contenido de Cr conduce a un aumento en el costo de la aleación. Por las razones anteriores, el contenido de Cr se hace al menos

ES 2 691 209 T3

0,01 %, y como máximo 0,50 %. Un contenido de Cr preferido es al menos 0,15 % hasta como máximo 0,45 %, y un contenido más preferido es al menos 0,18 % hasta como máximo 0,35 %.

Mo: de 0 % a menos del 0,10 % en masa

5 El Mo tiene el efecto de aumentar la resistencia y la tenacidad del acero aumentando la templabilidad y la resistencia al reblandecimiento del revenido. Este efecto aparece cuando su contenido es al menos 0,01 %. Sin embargo, en la presente invención, la resistencia y la tenacidad necesarias se consiguen mediante el Ni y el Cu, y no es esencial añadir Mo. A saber, el Mo puede ser 0 %.

10 Cuando se añade Mo, su contenido se hace menos de 0,10 %. Si el contenido de Mo es más alto, incluso si un tubo de acero sin soldadura obtenido por conformado de tubos en caliente se refrigera con aire, existe una tendencia a que la resistencia del tubo de acero sin soldadura sea demasiado alta. Como resultado, en la siguiente etapa de estirado en frío, es necesario llevar a cabo el reblandecimiento antes de trabajar, y es limitada la relación de trabajo (reducción de área) en el estirado en frío. Por lo tanto, aumenta el número de veces de estirado en frío y de reblandecimiento antes del estirado en frío necesario para obtener un tubo de acero con las dimensiones predeterminadas. Esta tendencia se hace más evidente cuando el Mo es del 0,10 % o superior. El Mo es un metal extremadamente caro, por lo que un aumento en el contenido de Mo está vinculado a un marcado aumento en el costo de la aleación. A saber, un contenido de Mo del 0,10 % o superior es un impedimento para lograr los objetivos de la presente invención. Por consiguiente, cuando se incluye el Mo, su contenido se hace menos de 0,10 %, y un contenido preferido de Mo es al menos 0,01 %, y como máximo 0,05 %.

Cu: 0,01 - 0,50 %

20 El Cu tiene el efecto de aumentar la resistencia y la tenacidad del acero aumentando su templabilidad. Este efecto se muestra si el contenido de Cu es al menos 0,01 %, y preferiblemente al menos 0,03 %. Sin embargo, un contenido de Cu que excede de 0,50 % conduce a un aumento en el costo de la aleación. Por consiguiente, el contenido de Cu se hace al menos 0,01 %, y como máximo 0,50 %. Un contenido de Cu preferido es al menos 0,03 %, y particularmente al menos 0,05 %, y más preferiblemente al menos 0,15 %. El límite superior en el contenido de Cu es preferiblemente 0,40 %, y más preferiblemente 0,35 %.

Ni: 0,01 - 0,50 %

30 El Ni tiene el efecto de aumentar la resistencia y la tenacidad del acero aumentando su templabilidad. Este efecto aparece si el contenido de Ni es al menos 0,01 %, y preferiblemente al menos el 0,03 %. Sin embargo, un contenido de Ni que excede de 0,50 % conduce a un aumento en el costo de la aleación. Por consiguiente, el contenido de Ni se hace al menos 0,01 %, y como máximo 0,50 %. El contenido de Ni es preferiblemente al menos 0,03 %, más preferiblemente al menos 0,05 %, y lo más preferiblemente al menos 0,15 %. El límite superior en el contenido de Ni es preferiblemente el 0,40 %, y más preferiblemente 0,35 %.

La suma de los contenidos de Cu y Ni (Cu + Ni) es preferiblemente al menos 0,20 %, y como máximo 0,65 %, y más preferiblemente al menos 0,28 %, y como máximo 0,60 %.

35 En una realización preferida de la presente invención, los contenidos de Cu, Ni, Cr, y Mo en el acero se ajustan para satisfacer la siguiente Ecuación (1).

$$\text{Cu} + \text{Ni} \geq (\text{Cr} + \text{Mo})^2 + 0,3 \quad (1)$$

Los símbolos para los elementos en la Ecuación (1) indican el valor del contenido de cada elemento en porcentaje en masa. Cuando el acero no contiene Mo, Mo es 0.

40 El Cr y el Mo interfieren con la esferificación de la cementita que precipita durante el revenido. Particularmente en un acero que contiene B, estos elementos forman fácilmente compuestos con el B (boruros) en los límites de grano, por lo que causan fácilmente una disminución en la tenacidad particularmente en un acero de alta resistencia. Al suprimir Cr y Mo y al contener Cu y Ni para satisfacer de ese modo la Ecuación (1), resulta fácil fabricar un tubo de acero para airbags con una alta resistencia y una alta tenacidad.

45 En una realización preferida de la presente invención, puede estar contenido adicionalmente al menos un elemento seleccionado de uno o ambos de los siguientes grupos (i) y (ii).

(i) Nb, Ti, V

(ii) Ca, B

50 Nb: como máximo 0,050 %

El Nb, que está finamente disperso en el acero como carburos, tiene un efecto de fijar fuertemente los límites de grano. Como resultado, refina los granos cristalinos y aumenta la tenacidad del acero. Sin embargo, si el Nb está contenido en una cantidad que excede de 0,050 %, los carburos se vuelven gruesos, y termina disminuyendo la tenacidad. Por

consiguiente, cuando se añade Nb, su contenido se hace como máximo 0,050 %. El efecto del Nb anteriormente descrito aparece incluso con un contenido extremadamente pequeño, pero con el fin de obtener adecuadamente este efecto, el contenido de Nb es preferiblemente al menos 0,005 %.

Ti: como máximo 0,050 %

5 El Ti tiene el efecto de fijar el N en el acero y, por lo tanto, aumentar la tenacidad. Los nitruros de Ti finamente dispersos fijan fuertemente los límites de grano, y refinan los granos cristalinos, aumentando así la tenacidad del acero. Sin embargo, si el Ti está contenido en una cantidad mayor del 0,050 %, los nitruros se vuelven gruesos y termina disminuyendo la tenacidad. Por consiguiente, el contenido de Ti cuando se añade se hace como máximo 0,050 %. El efecto del Ti aparece incluso cuando se añade en una cantidad diminuta, pero con el fin de obtener su efecto de manera adecuada, su contenido es preferiblemente al menos 0,005 %. Un contenido de Ti preferido es 0,008 - 0,035 %.

V: como máximo 0,20 %

15 El V tiene el efecto de asegurar la tenacidad y aumentar la resistencia mediante el refuerzo por precipitación. Sin embargo, un contenido de V que exceda de 0,20 % conduce a una disminución en la tenacidad. Por consiguiente, el contenido de V cuando se añade se hace como máximo 0,20 %. El efecto de V aparece incluso cuando se añade en una cantidad diminuta, pero con el fin de obtener un efecto adecuado, su contenido es preferiblemente al menos 0,02 %. Un intervalo preferido para el contenido de V es 0,03 - 0,10 %.

Ca: como máximo 0,005 %

20 El Ca tiene el efecto de fijar el S, que está presente en el acero como una impureza inevitable, como sulfuros, y mejorar la anisotropía de la tenacidad, aumentando así la tenacidad en la dirección T de un tubo de acero, y aumentando así la resistencia al estallido del mismo. Sin embargo, si el Ca está contenido en más del 0,005 %, aumentan las inclusiones y termina disminuyendo la tenacidad. Por consiguiente, el contenido de Ca cuando se añade se hace como máximo 0,005 %. El efecto del Ca descrito anteriormente se observa incluso cuando se añade en una cantidad extremadamente pequeña, pero con el fin de obtener un efecto adecuado, su contenido es preferiblemente al menos 0,0005 %.

25 B: como máximo 0,0030 %

30 Cuando se añade el B en una cantidad diminuta, se segrega en los límites de grano en el acero y aumenta marcadamente la templabilidad del acero. Sin embargo, si el contenido de B es 0,0030 % o superior, precipitan los boruros gruesos en los límites de grano, y se observa una tendencia a la disminución de la tenacidad. Por consiguiente, cuando se añade B, su contenido se hace como máximo 0,0030 %. El efecto del B se observa incluso cuando se añade en una cantidad diminuta, pero con el fin de garantizar un efecto adecuado, su contenido se hace preferiblemente al menos 0,0005 %.

En la presente invención, cuando se desea obtener una resistencia a la tracción de al menos 1.000 MPa, es preferible añadir B con el fin de aumentar la resistencia mejorando la templabilidad.

35 El B no se segrega en los límites de grano a menos que esté presente en una solución sólida en el acero. Por consiguiente, el N, que forma fácilmente un compuesto con el B, se fija preferiblemente por el Ti, y el B está contenido preferiblemente en al menos una cantidad que se fija por el N. Por esta razón, el contenido de B cumple preferiblemente la relación dada por la siguiente Ecuación (2) en función de las relaciones estequiométricas de B, Ti y N.

$$B - (N - Ti/3,4) \times (10,8/14) \geq 0,0001 \quad (2)$$

En la Ecuación (2), B, N y Ti representan los valores de los contenidos de esos elementos en porcentaje en masa.

40 (B) Etapa de conformado del tubo

Se usa un lingote de acero de un acero con su composición química ajustada como se establece anteriormente en (A) como material de partida para obtener un tubo de acero sin soldadura por el conformado de tubos en caliente.

45 No existen limitaciones particulares sobre la forma o el método para la preparación de un lingote de acero que se usa como un material de partida para el conformado de tubos en caliente. Por ejemplo, puede ser un miembro de colada (una palanquilla CC redonda) obtenida por colada usando una máquina de colada continua con un molde cilíndrico, o puede ser un lingote que se moldea en un molde rectangular, y luego se forja en caliente para obtener una forma cilíndrica. Como resultado de suprimir la adición de elementos estabilizadores de la ferrita tales como el Cr y el Mo, y de añadir elementos estabilizadores de la austenita tales como el Cu y el Ni, incluso cuando se emplea la colada continua en forma redonda para formar una palanquilla redonda CC, se obtiene suficientemente el efecto de prevenir las grietas centrales, por lo que la aplicabilidad de la presente invención a una CC redonda es suficientemente alta. Como resultado, es posible eliminar una etapa de trabajo para el conformado de una palanquilla redonda por desbastado o similar que es necesaria cuando se hace una colada en un molde rectangular.

No hay limitaciones particulares en un método de conformado de tubos en caliente para obtener un tubo de acero sin

soldadura. Por ejemplo, se puede usar el método de mandril-Mannesmann. El enfriamiento después del conformado del tubo en caliente se enfría preferiblemente con una velocidad de enfriamiento baja, tal como con un enfriamiento con aire para facilitar el estirado en frío. No existen limitaciones particulares en la forma del tubo de acero sin soldadura resultante, pero son adecuados, por ejemplo, un diámetro de 32 - 50 mm y un espesor de pared de alrededor 2,5 - 3,0 mm.

5 (C) Etapa de estirado en frío

Un tubo de acero sin soldadura que se obtiene por conformado de tubos en caliente generalmente tiene un gran espesor de pared y un gran diámetro con una precisión dimensional inadecuada. Con el fin de obtener dimensiones predeterminadas (el diámetro exterior y el espesor de la pared de un tubo de acero) y una buena condición superficial, el tubo de acero sin soldadura que se usa como tubo madre se somete a estirado en frío. En la presente invención, con el fin de explotar las características del acero que se usa, la relación de trabajo (reducción en el área) en una operación de estirado en frío de una vez que se realiza en la etapa de estirado en frío se hace mayor del 40 %. Si la relación de trabajo en una operación de estirado en frío de una sola vez excede de 50 %, se desarrollan fácilmente arrugas y grietas en la superficie interior, por lo que la relación de trabajo es preferiblemente 42 - 48 %, y más preferiblemente 43 - 46 %. Cuando el estirado en frío se lleva a cabo en dos o más veces de etapa de estirado en frío, la relación de trabajo en al menos una de las veces debe ser de al menos 40 %, y es posible combinar un estirado en frío con una relación de trabajo de al menos 40 % con un estirado en frío con una relación de trabajo de menos del 40 %.

La relación de trabajo en el estirado en frío es sinónimo de la reducción en el área (disminución en la sección transversal) definida por la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de reducción en el área} = (S_0 - S_f) \times 100/S_0$$

20 donde, S_0 es el área de la sección transversal del tubo de acero antes del estirado en frío, y S_f es el área de la sección transversal del tubo de acero después de la finalización del estirado en frío.

El área de la sección transversal de un tubo de acero es el área de la sección transversal de únicamente la pared del tubo y excluye la porción hueca de la sección transversal del tubo.

25 La relación de trabajo (o reducción en el área) en una operación de estirado en frío de una vez puede ser la relación de trabajo total cuando el estirado en frío se realiza en una pluralidad de veces sin intervención del reblandecimiento entre las etapas de estirado en frío. Usando un acero según la presente invención, la relación de trabajo del estirado en frío en una vez puede exceder del 40 %, por lo que, si se seleccionan adecuadamente las dimensiones de acabado de un tubo de acero sin soldadura obtenido por conformado de tubos en caliente, es posible fabricar un tubo de acero con paredes delgadas de dimensiones predeterminadas en una sola aplicación (de una única vez) de estirado en frío. Por lo tanto, la fabricación se puede simplificar enormemente en comparación con el proceso convencional para fabricar un tubo de acero de pared delgada, que requiere de dos aplicaciones de estirado en frío, y requiere de la intervención de un reblandecimiento intermedio entre ellas.

35 Los métodos de estirado en frío son bien conocidos, y el estirado en frío se puede llevar a cabo de una manera convencional. Por ejemplo, cuando se usa un tubo de acero sin soldadura preparado por el método de mandril-Mannesmann como se describe anteriormente como tubo madre, se puede dejar que el tubo resultante se enfríe a temperatura ambiente y luego se somete a un estirado con una matriz y un cono para reducir el diámetro y el espesor de pared del tubo. Un tubo de acero para airbags tiene preferiblemente un diámetro de como máximo 30 mm, y un espesor de pared de como mucho 2 mm, por ejemplo. Siempre que se pueda obtener un tubo de acero que tenga las dimensiones necesarias a partir del tubo de acero sin soldadura usado como tubo madre por estirado en frío, no existen limitaciones particulares en el método de trabajo, pero es preferible el método de estirado descrito anteriormente.

40 Con una composición de acero usada en la presente invención, es posible realizar el trabajo con una reducción en el área del 46 %, por ejemplo, por aplicación única de estirado en frío. Por lo tanto, cuando las dimensiones finales de un tubo de acero para airbags son un espesor de pared de 1,7 mm y un diámetro exterior de 25 mm, si las dimensiones de un tubo madre a someter a un estirado en frío son, por ejemplo, un diámetro exterior de 31,8 mm y un espesor de pared de 2,5 mm, es posible obtener un producto con dimensiones predeterminadas realizando el estirado en frío en una vez.

(D) Enderezamiento

50 Debido a que un tubo de acero para airbags fabricado en la presente invención tiene una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa, y se ha sometido a estirado en frío con una reducción en el área de al menos el 40 %, existe una tendencia a que la resistencia del tubo de acero después del estirado en frío sea más alta que la de un acero convencional y, en algunos casos, existe la posibilidad de que el tubo de acero desarrolle un doblado, tal como la recuperación elástica después del estirado en frío.

55 Como se explica a continuación, con el fin de lograr una alta resistencia y alta tenacidad, se calienta un tubo de acero que se le ha dotado de las dimensiones predeterminadas por estirado en frío se calienta hasta al menos en el punto de transformación A_c3 mediante calentamiento rápido con el fin de realizar un endurecimiento por templeado. Este

calentamiento rápido se lleva a cabo típicamente mediante calentamiento por inducción de alta frecuencia. Si existen curvaturas en un tubo de acero que se va a someter a endurecimiento por templado, puede ocurrir el problema que el tubo de acero no pueda pasar directamente a través de las bobinas de alta frecuencia usadas para el calentamiento por inducción de alta frecuencia. Por consiguiente, en una realización preferida, se lleva a cabo el enderezamiento después del estirado en frío para eliminar las curvaturas en el tubo de acero.

No existen limitaciones particulares sobre el método de enderezamiento, y el enderezamiento se puede llevar a cabo de una manera convencional. Por ejemplo, un método preferido es aquel en el que se proporcionan cuatro soportes de 2 rodillos con un espacio de balanceo ajustado con el centro del espacio entre los rodillos en cada soporte ligeramente desviado o desplazado entre sí, y se hace pasar un tubo de acero a través de los rodillos para aplicar trabajo en forma de curvatura hacia adelante y hacia atrás. Cuanto mayor sea la relación de trabajo en la curvatura hacia adelante y hacia atrás en este momento, mayor será el efecto del enderezamiento. Desde este punto de vista, la cantidad de desplazamiento (la cantidad de desviación de los ejes de los rodillos entre pares de rodillos adyacentes) se hace al menos un 1 % del diámetro exterior del tubo de acero, y el espacio libre entre los rodillos se hace preferiblemente como máximo un 1 % más pequeño que el diámetro exterior del tubo de acero. Con el fin de evitar problemas tales como el agrietamiento del tubo de acero, la cantidad de desplazamiento se hace preferiblemente como máximo un 50 % del diámetro exterior del tubo de acero, y el espacio entre los rodillos se hace preferiblemente al menos un 5 % más pequeño que el diámetro exterior del tubo de acero.

(E) Tratamiento térmico

Después de llevar a cabo el enderezamiento descrito anteriormente en (D) según se requiera, el tubo de acero se somete a tratamiento térmico con el fin de impartir la resistencia a la tracción requerida al tubo de acero, y aumentar la tenacidad en la dirección T, garantizando así la resistencia al estallido. Con el fin de proporcionar a un tubo de acero una alta resistencia expresada por una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa, y una excelente tenacidad a baja temperatura o resistencia al estallido, se lleva a cabo el tratamiento térmico mediante endurecimiento por templado después de calentar a una temperatura de al menos el punto Ac_3 (transformación), y posterior revenido a una temperatura de como máximo el punto Ac_1 (transformación).

Si la temperatura de calentamiento antes del templado es menor del punto Ac_3 (transformación) en el que se forma una fase única de austenita, no es posible garantizar una buena tenacidad en la dirección T (y, por consiguiente, una buena resistencia al estallido). Por otro lado, si la temperatura de calentamiento es demasiado alta, los granos de austenita comienzan a crecer abruptamente y se convierten en granos gruesos, y disminuye la dureza. Por lo tanto, la temperatura de calentamiento se hace preferiblemente como máximo 1.050°C. Más preferiblemente es como máximo 1.000°C.

El calentamiento hasta al menos del punto Ac_3 para el endurecimiento por templado se lleva a cabo por un calentamiento rápido a una velocidad de calentamiento de al menos 50°C por segundo. Esta velocidad de calentamiento puede ser la velocidad de calentamiento promedio en un intervalo de temperatura de al menos 200°C a la temperatura de calentamiento. Si la velocidad de calentamiento es menor de 50°C por segundo, no es posible lograr el refinamiento de los diámetros de los granos de la austenita, y disminuyen la resistencia a la tracción y la tenacidad a baja temperatura o la resistencia al estallido. Con el fin de obtener un tubo de acero con una resistencia a la tracción de al menos 1.000 MPa y una $vTrs_{100}$ de -80°C o menos, la velocidad de calentamiento es preferiblemente al menos 80°C por segundo, y más preferiblemente al menos 100°C por segundo. Este calentamiento rápido se puede lograr mediante calentamiento por inducción de alta frecuencia. En este caso, la velocidad de calentamiento se puede ajustar mediante la velocidad de alimentación de un tubo de acero que se hace pasar a través de bobinas de alta frecuencia.

Un tubo de acero que se ha calentado a una temperatura de al menos el punto Ac_3 por calentamiento rápido se mantiene durante un corto período de tiempo a una temperatura de al menos el punto Ac_3 , y luego se enfría rápidamente para llevar a cabo el endurecimiento por templado. El tiempo de mantenimiento está preferiblemente en el intervalo de 0,5 - 8 segundos. Más preferiblemente es 1 - 4 segundos. Si el tiempo de mantenimiento es demasiado corto, la uniformidad de las propiedades mecánicas es a veces inferior. Si el tiempo de mantenimiento es demasiado largo, particularmente si la temperatura de mantenimiento está en el lado alto, esto conduce fácilmente al engrosamiento del diámetro de los granos de la austenita. El refinamiento del diámetro de los granos es necesario para garantizar una tenacidad extremadamente alta.

La velocidad de enfriamiento para el endurecimiento por templado se controla de modo que sea al menos 50°C por segundo al menos en un intervalo de temperatura de 850-500°C. Esta velocidad de enfriamiento es preferiblemente al menos 100°C por segundo. Con el fin de hacer que la resistencia a la tracción sea al menos 1.000 MPa y hacer que $vTrs_{100}$ tenga un valor de -80°C o menos, la velocidad de enfriamiento se hace preferiblemente al menos 150°C por segundo. Si la velocidad de enfriamiento es demasiado baja, el endurecimiento por templado se vuelve incompleto, y disminuye la proporción de la martensita, por lo que no se obtiene una resistencia a la tracción suficiente.

Un tubo de acero que se ha sometido al enfriamiento rápido antes descrito y que se enfría hasta la proximidad de la temperatura ambiente se somete luego a revenido a una temperatura de como máximo el punto Ac_1 con el fin de impartir una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa y suficiente resistencia al estallido. Si la temperatura de

revenido excede del punto Ac_1 , se hace difícil obtener de forma estable la resistencia a la tracción deseada y la tenacidad a baja temperatura con certeza.

5 No hay limitaciones particulares sobre un método para el revenido, y se puede llevar a cabo, por ejemplo, introduciéndolo en un horno de tratamiento térmico tal como un horno continuo de tipo rodillo de solera, o usando un calentamiento por inducción de alta frecuencia, o similar seguido de enfriamiento. Las condiciones de inmersión preferidas en un horno de tratamiento térmico son una temperatura de 350 - 500°C y un tiempo de mantenimiento de 20 - 30 minutos. Después del revenido, las curvaturas se pueden enderezar usando un enderezador adecuado o similar de la manera descrita en (D).

10 Con el fin de formar un acumulador de airbag a partir de un tubo de acero para airbags fabricado de esta manera, se corta el tubo de acero a una longitud predeterminada para obtener un tubo corto y, si es necesario, al menos un extremo del tubo cortado se somete a una reducción de diámetro mediante trabajo a presión o giro (esto se denomina embotellamiento) para el trabajo final a una forma necesaria para el montaje de un iniciador o similar. Por consiguiente, las dimensiones predeterminadas y la precisión dimensional para un tubo de acero para airbags a las que se hace referencia en esta descripción significan las dimensiones y la precisión dimensional con respecto al espesor y al diámetro del tubo. Finalmente, se monta una tapa en cada extremo del tubo de acero por soldadura.

Ejemplos

20 En un convertidor se prepararon los aceros con las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1, con los puntos Ac_1 en el intervalo de 720 - 735°C y los puntos Ac_3 en el intervalo de 835 - 860°C, y se fabricaron palanquetas cilíndricas con un diámetro exterior de 191 mm por colada continua (CC redonda). Cada palanqueta CC redonda se cortó a una longitud deseada, y se calentó a 1.250°C, y luego se sometió a perforación y laminado mediante la técnica de tipo industrial de mandril-Mannesmann para obtener un primer tubo madre con un diámetro exterior de 31,8 mm y un espesor de pared de 2,5 mm, y un segundo tubo madre con un diámetro exterior de 42,7 mm y un espesor de pared de 2,7 mm.

25 Se sometieron los dos tipos de tubos madre que se obtuvieron de esta manera a estirado en frío en una o dos veces por un método habitual que lleva a cabo el estirado con un troquel y un cono, y se terminaron para formar tubos de acero con un diámetro exterior de 25,0 mm y un espesor de pared de 1,7 mm. Para los aceros comparativos G y H en la Tabla 1, cuando se intentó fabricar un tubo de acero con la forma descrita anteriormente realizando un estirado en frío en una sola vez en el primer tubo madre con un diámetro exterior de 31,8 mm y un espesor de pared de 2,5 mm, se desarrolló una fractura y no se pudo llevar a cabo la fabricación.

30 En los Ejemplos Comparativos 9 y 10, se usaron el segundo de los tubos madre. Se conformó un tubo de acero con un diámetro exterior de 32,0 mm y un espesor de pared de 2,2 mm realizando el estirado por primera vez, luego se sometió a reblandecimiento a 630°C durante 20 minutos, y luego se terminó con un diámetro exterior de 25,0 mm y un espesor de pared de 1,7 mm realizando un estirado en frío una segunda vez.

35 Cada tubo de acero que se sometió a estirado en frío se enderezó con un enderezador, y luego se sometió a templado con agua por calentamiento a 920°C a una velocidad promedio de calentamiento de 300°C por segundo (el valor promedio en el intervalo de temperatura de 200 - 900°C) usando un aparato de calentamiento por inducción de alta frecuencia, manteniéndolo a 920°C durante 2 segundos, y enfriamiento con agua (a una velocidad de enfriamiento promedio de 150°C por segundo en el intervalo de temperatura de 850 - 500°C). Posteriormente, con el fin de revenir el tubo de acero, se introdujo durante 30 minutos a 350 - 500°C en un horno de recocido brillante, y luego se enfrió a temperatura ambiente por enfriamiento natural, inicialmente en el horno, y luego fuera del horno para obtener un tubo de acero para airbags.

40 Se cortó un tubo de una longitud fija de cada tubo de acero resultante, y se cortó en la dirección longitudinal del tubo a temperatura ambiente y se desenrolló. Se usó como una pieza de prueba un miembro rectangular con una longitud de 55 mm, una altura de 10 mm, y un ancho de 1,7 mm que se tomó en la dirección T del tubo desenrollado y que tenía una muesca en V de 2 mm para una prueba de impacto de Charpy que se llevó a cabo a varias temperaturas de -40°C e inferiores. Mediante esta prueba, se obtuvo la temperatura más baja a la que el porcentaje de fractura dúctil era del 100 % (vTrs100).

45 Usando una pieza de prueba No. 11 prescrita por la norma JIS Z 2201 que se tomó de la dirección L de cada tubo de acero, se llevó a cabo una prueba de tracción según el método de prueba de tracción para metales prescrito por la norma JIS Z 2241. Los resultados de las pruebas anteriores y las condiciones de fabricación de un tubo de acero se recogen en la Tabla 2.

Tabla 1

Acero	Composición del acero (% en masa, resto Fe e impurezas)														Cu+Ni	(Cr+Mo) ² +0,3	Notas	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	Nb	Ti	V	Al sol.	Ca				B
A	0,14	0,29	0,50	0,012	0,003	0,30	0,01	0,25	0,26	0,025	0,024	-	0,031	0,0016	0,0014	0,51	0,40	Esta invención
B	0,15	0,28	0,48	0,012	0,002	0,29	-	0,26	0,28	0,024	0,024	-	0,035	0,0011	0,0013	0,54	0,38	
C	0,14	0,26	0,52	0,013	0,002	0,30	0,01	0,27	0,25	0,024	0,026	-	0,042	0,0015	0,0014	0,52	0,40	
D	0,13	0,25	0,47	0,011	0,002	0,36	0,04	0,26	0,06	-	0,023	0,018	0,042	0,0013	0,0015	0,32	0,46	
E	0,13	0,26	0,48	0,012	0,002	0,22	-	0,26	0,25	-	-	-	0,034	-	-	0,51	0,35	
F	0,15	0,26	0,40	0,013	0,003	0,35	0,02	0,29	0,30	-	0,022	-	0,040	-	0,0010	0,59	0,44	
G	0,12	0,25	1,29*	0,014	0,003	0,61*	0,28*	0,27	0,25	0,023	0,024	-	0,036	0,00151	0,0003	0,52	1,09	
H	0,15	0,23	0,54	0,013	0,002	0,74*	0,35*	0,29	0,31	0,024	0,008	-	0,033	0,0022	0,0002	0,60	1,49	

* Fuera del intervalo definido en la presente invención.

Tabla 2

No. Prueba	Acer o	Dimensiones tubo madre	Primer laminado en frío		Segundo laminado en frío			Relación trabajo total (%)	Condiciones calentamiento del endurecimiento o por templado	Velocidad enfriamiento (°C/s)	TS (MPa)	vTrs100 (°C)	Nota
			Dimensiones (mm)	% reducción en el área	Resultado	Dimensiones (mm)	% reducción en el área						
1	A	DE: 31,8 mm x 2,5 mm t	DE: 25,0 mm x 1,7 mm t	46	o	-	-	46	920°C x 2s (calentamiento o por inducción de alta frecuencia)	150	1.098	-120	Esta invención
2	B				o	-	-				1.070	-120	
3	C				o	-	-				1.101	-120	
4	D				o	-	-				1.022	-75	
5	E				o	-	-				1.028	-100	
6	F				o	-	-				1.053	-110	
7	G	DE: 32,0 mm x 2,2 mm t	39,3	x	***	***	***	***	***	***	***	***	Comparativo
8	H				x	***	***	***	***	***	***	***	
9	G	DE: 42,7 mm x 2,7 mm t	DE: 32,0 mm x 2,2 mm t	39,3	o	Diámetro Exterior: 25,0 mm x 1,7 mm t	39,6	63.3	920°C x 2s (HF-IH)	150	1.075	-110	Comparativo
10	H				o						o	1.040	

*** Debido al agrietamiento que ocurrió durante el estirado en frío, no se pudieron realizar los siguientes pasos.

HF-IH = Calentamiento por inducción de alta frecuencia

DE = Diámetro exterior

- 5 Como es evidente en la Tabla 2, cuando se usaron los aceros A - F con la composición química de un acero según la presente invención, a pesar de un bajo coste de aleación debido a que la cantidad del costoso Mo era cero, o era una cantidad pequeña de menos del 0,10 %, fue posible llevar a cabo el trabajo a las dimensiones del producto predeterminadas por un estirado en frío de una vez incluso con una relación de trabajo expresada por una reducción en el área del 46 %. Además, al llevar a cabo un calentamiento rápido y un enfriamiento rápido en la siguiente etapa de endurecimiento por templado, fue posible alcanzar un alto nivel de rendimiento del producto como un tubo de acero para airbags. En particular, cuando se usan los aceros A - C, E y F con una composición que satisface la Ecuación (1) descrita anteriormente, $vTrs_{100}$ era -100°C o menos, por lo que es evidente que la tenacidad a baja temperatura es extremadamente alta, y se puede esperar una excelente resistencia al estallido en un entorno de baja temperatura.
- 10 Los aceros G y H, que eran ejemplos comparativos, contenían una gran cantidad de Mo, por lo que era alto el costo de la aleación. Además, se desarrollaron grietas cuando se llevó a cabo el estirado en frío con una reducción en el área de al menos el 40 %. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo el estirado en frío en al menos 2 veces con una reducción en el área de menos del 40 %, y es necesario un reblandecimiento entre el estirado en frío, por lo que también aumentan los costos de fabricación de un tubo de acero para airbags.
- 15

REIVINDICACIONES

- 1.- Un proceso para fabricar un tubo de acero con una resistencia a la tracción de al menos 900 MPa y una tenacidad a baja temperatura por un valor de $vTrs$ 100 de $-60^{\circ}C$ o menos para airbags caracterizado por incluir:
- 5 una etapa de conformado de un tubo en el que se produce un tubo de acero sin soldadura por conformado de tubos en caliente a partir de un acero que comprende, en % masa, C: 0,04 - 0,20 %, Si: 0,10 - 0,50 %, Mn: 0,10 - 1,00 %, P: como máximo 0,025 %, S: como máximo 0,005 %, Al: como máximo 0,10 %, Cr: 0,01 - 0,50 %, Cu: 0,01 - 0,50 %, Ni: 0,01 - 0,50 %, Mo: menos del 0,1 %, Nb: como máximo 0,050%, Ti: como máximo 0,050 %, V: como máximo 0,20 %, Ca: como máximo 0,005 %, B: como máximo 0,0030 %, y un resto de Fe e impurezas inevitables,
- 10 una etapa de estirado en frío en la que el tubo de acero sin soldadura resultante se somete a estirado en frío al menos una vez con una reducción en el área de más del 40 % al 50% en un estirado en frío de una vez para obtener un tubo de acero con dimensiones predeterminadas, y
- 15 una etapa de tratamiento térmico en la que el tubo de acero estirado en frío se somete a endurecimiento por templado, calentándolo a una temperatura de al menos el punto Ac_3 a una velocidad de aumento de temperatura de al menos $50^{\circ}C$ por segundo seguido por enfriamiento a una velocidad de enfriamiento de al menos $50^{\circ}C$ por segundo al menos en un intervalo de temperatura de $850 - 500^{\circ}C$, y luego se somete a revenido a una temperatura de como máximo el punto Ac_1 .
2. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en la reivindicación 1, en donde el acero contiene 0,01 – 0,1 % de Mo.
3. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el acero contiene al menos uno de Nb: 0,005 - 0,050 %, Ti: 0,005 - 0,050 %, y V: 0,02 - 0,20 %.
4. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, en donde el acero contiene al menos uno de Ca: 0,0005 - 0,005 %, y B: 0,0005 - 0,0030 %.
5. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en donde los contenidos de Cu, Ni, Cr y Mo en el acero satisfacen la siguiente Ecuación (1):
- 25
$$Cu + Ni \geq (Cr + Mo)^2 + 0,3 \dots (1)$$
- en donde los símbolos para los elementos en la Ecuación (1) significan los valores del contenido de los elementos respectivos en porcentaje en masa, y Mo = 0 cuando el acero no contiene Mo.
6. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5, en donde el espesor de pared del tubo de acero después de la finalización de la etapa de estirado en frío es como máximo 2,0 mm.
- 30 7. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en la reivindicación 6, en donde la etapa de estirado en frío se lleva a cabo realizando un estirado en frío en una vez.
8. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, en donde el calentamiento para el endurecimiento por templado en la etapa de tratamiento térmico se lleva a cabo mediante calentamiento por inducción de alta frecuencia.
- 35 9. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en la reivindicación 8, en donde el tubo de acero obtenido en la etapa de estirado en frío se endereza antes del calentamiento para el endurecimiento por templado.
10. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, en donde el contenido de C es de al menos 0,12 % a como máximo 0,17 %.
- 40 11. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 10, en donde el contenido de Si es de al menos 0,20 % a como máximo 0,45 %.
12. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 11, en donde el contenido de Mn es de al menos 0,30 % a como máximo 0,80 %.
- 45 13. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 12, en donde el contenido de Cr es de al menos 0,18 % a como máximo 0,35 %.
14. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 13, en donde el contenido de Cu es al menos 0,15 %, y el límite superior es 0,35 %.
- 50 15. Un proceso para fabricar un tubo de acero para airbags como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1 - 14, en donde el contenido de Ni es al menos 0,15 %, y el límite superior es 0,35 %.