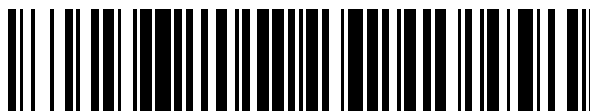


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 548 453**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

C21D 6/00 (2006.01)

C21D 8/02 (2006.01)

C22C 38/54 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2009 E 09746626 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2015 EP 2278035**

54 Título: **Acero de baja aleación y alta resistencia con excelente resistencia a la fragilización ambiental en medios de hidrógeno a alta presión y método para la fabricación del mismo**

30 Prioridad:

13.05.2008 JP 2008125838

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

16.10.2015

73 Titular/es:

**THE JAPAN STEEL WORKS, LTD. (100.0%)
11-1 Osaki 1-chome Shinagawa-ku
Tokyo 141-0032, JP**

72 Inventor/es:

**TAKASAWA, KOUICHI;
WADA, YORU;
ISHIGAKI, RYOJI y
TANAKA, YASUHIKO**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 548 453 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

Acero de baja aleación y alta resistencia con excelente resistencia a la fragilización ambiental en medios de hidrógeno a alta presión y método para la fabricación del mismo

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un acero de baja aleación y alta resistencia, que se usa para una vasija a presión para almacenar hidrógeno a alta presión y similares, y que se produce por un tratamiento de templeado-revenido (denominado en lo sucesivo en la presente memoria como tratamiento térmico), y a un método para la producción del mismo.

Antecedentes de la técnica

- 10 En un negocio de mejora de la infraestructura de hidrógeno para constituir una compañía comercializadora de hidrógeno, es importante distribuir las estaciones de hidrógeno para almacenar y suministrar hidrógeno a alta presión. Para configurar estaciones de hidrógeno que tengan alta fiabilidad, es indispensable el desarrollo de vasijas a presión para hidrógeno gaseoso a alta presión, por lo que se ha deseado el desarrollo de materiales excelentes para las vasijas a presión. En este caso, materiales metálicos, particularmente materiales de acero, se muestran prometedores como los materiales para las vasijas a presión, desde los puntos de vista de coste y reciclabilidad.

- 15 Como una tendencia técnica, se ha deseado que la presión del gas almacenado se haga mayor para ampliar una distancia de desplazamiento de los coches impulsados por hidrógeno, y se ha previsto que el hidrógeno gaseoso a una alta presión de 35 MPa o mayor se almacene en las vasijas a presión de las estaciones de hidrógeno. Sin embargo, en los aceros al carbono o aceros de baja aleación y alta resistencia convencionales, ha sido concebible que ocurra la fragilización por el medio de hidrógeno en un medio de hidrógeno gaseoso a alta presión. Por lo tanto, un material de acero, que puede usarse en un medio de hidrógeno gaseoso a alta presión de 35 MPa o mayor, hasta ahora ha estado limitado casi exclusivamente a un acero inoxidable austenítico. El acero inoxidable austenítico generalmente es más caro que un acero de baja aleación. Además, el acero inoxidable austenítico tiene una fase austenita estable hasta temperatura ambiente, de manera que no puede realizarse un ajuste de resistencia por tratamiento térmico. Por consiguiente, un acero de baja aleación y alta resistencia se ha deseado como el material para las vasijas a presión para almacenar el hidrógeno gaseoso a mayor presión.

- 20 Para satisfacer tales requisitos, se ha propuesto un acero al carbono o un acero de baja aleación en un medio de hidrógeno a alta presión, un tubo de acero sin juntas producido a partir del mismo, y un método para la producción del mismo (por ejemplo, Bibliografía de Patente 1). El acero propuesto en la Bibliografía de Patente 1 disminuye una cantidad de hidrógeno difusible en el acero controlando la razón Ca/S de componentes para mejorar las características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión. La norma ASTM A514/A514M-05 describe un acero de calidad F como adecuado para aplicaciones de soldadura.

Lista de Citas

Bibliografía de Patentes

- 35 Bibliografía de Patente 1: JP-A-2005-2386

Compendio de la invención

Problemas técnicos que debe resolver la invención tal como se indica en las reivindicaciones.

- 40 Sin embargo, la técnica propuesta descrita anteriormente está basada en los datos de ensayo obtenidos simulando un medio de hidrógeno a alta presión mediante una carga de hidrógeno electrolítico, es decir, solo evalúa indirectamente la características de resistencia a la fragilización por el medio de hidrógeno. Además, la técnica propuesta descrita anteriormente no muestra datos con respecto a las propiedades mecánicas indispensables para el diseño o la producción del equipo actual, particularmente propiedades mecánicas en un estado afectado por la fragilización por el medio de hidrógeno.

- 45 Además, a partir de los resultados de los ensayos de tracción convencionales en un medio de hidrógeno de 45 MPa para diversos aceros de baja aleación, una placa de acero de alto límite elástico para construcción soldada, JIS G 3128 SHY685NS, muestra una gran reducción del área en hidrógeno y ha sido un material excelente respecto a las características de resistencia a la fragilización por el medio de hidrógeno. Sin embargo, la resistencia a la tracción en el aire del mismo no alcanza de 900 a 950 MPa como la presente resistencia diana.

- 50 La presente invención se ha realizado en vista de la presente situación descrita anteriormente de desarrollo de aceros de alta resistencia con excelentes características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión. Evaluando las características de resistencia a la fragilización por el medio de hidrógeno en el medio de hidrógeno de 45 MPa, un objeto de la invención es proporcionar un acero de baja aleación y alta resistencia que tenga excelentes características de resistencia a la fragilización por el medio de hidrógeno dentro del intervalo donde la resistencia a la tracción en el aire es de 900 a 950 MPa, y un método para la producción del mismo, basado en la

citada evaluación.

Medios para resolver los problemas

En una configuración de la invención, usando un material de ensayo basado en un tipo de acero proporcionado como ASME SA517F, se han realizado estudios detallados de las propiedades de tracción en una atmósfera de hidrógeno de 45 MPa. Como resultado, se ha encontrado una nueva composición de aleación que tiene un mayor valor de reducción relativa de área y una menor susceptibilidad a la fragilización por el medio de hidrógeno en la atmósfera de hidrógeno de 45 MPa que un acero convencional, dentro del intervalo de resistencia a la tracción en el aire de 900 MPa a 950 MPa como el intervalo de resistencia diana, conduciendo de esta manera a la invención.

Es decir, la invención se refiere a un acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión y un método para la producción del mismo, que se muestran a continuación.

[1] Un acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión, que tiene una composición que comprende C: de 0,10 a 0,20% en masa, Si: de 0,10 a 0,40% en masa, Mn: de 0,50 a 1,20% en masa, Ni: de 0,75 a 1,75% en masa, Cr: de 0,20 a 0,80% en masa, Cu: de 0,31 a 0,50% en masa, Mo: de 0,10 a 1,00% en masa, V: de 0,01 a 0,10% en masa, B: de 0,0005 a 0,005% en masa y N: 0,01% en masa o menos, y que además comprende uno o dos de Nb: de 0,01 a 0,10% en masa y Ti: de 0,005 a 0,050% en masa, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.

[2] El acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión de acuerdo con [1], en el que la resistencia a la tracción en el aire después del tratamiento térmico es de 900 MPa a 950 MPa.

[3] El acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión de acuerdo con [1] o [2], en el que el número de tamaño de grano del cristal después del tratamiento térmico, que se mide por un método de comparación basado en un método de ensayo del tamaño de grano del cristal de ferrita para aceros especificados en JIS G 0552, tiene un tamaño de grano de 8,4 o mayor.

[4] Un método para producir un acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión, comprendiendo el método: fundir un material de acero de aleación que tiene una composición que comprende C: de 0,10 a 0,20% en masa, Si: de 0,10 a 0,40% en masa, Mn: de 0,50 a 1,20% en masa, Ni: de 0,75 a 1,75% en masa, Cr: de 0,20 a 0,80% en masa, Cu: de 0,10 a 0,50% en masa, Mo: de 0,10 a 1,00% en masa, V: de 0,01 a 0,10% en masa, B: de 0,0005 a 0,005% en masa y N: 0,01% en masa o menos, y que además comprende uno o dos de Nb: de 0,01 a 0,10% en masa y Ti: de 0,005 a 0,050% en masa, siendo el resto Fe e impurezas inevitables para formar un lingote de acero; realizar la normalización de 1.000°C a 1.100°C después del trabajado en caliente; realizar el templeado en un intervalo de temperatura de 880°C a 900°C; y después del templeado, realizar el revenido de 560°C a 580°C.

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la invención, como una ventaja principal, resulta posible preparar una vasija a presión de hidrógeno a alta presión a un coste menor que un acero inoxidable austenítico. Además, la resistencia es mayor que la de un acero convencional, y la susceptibilidad a la fragilización por el medio de hidrógeno es pequeña, de manera que la presión de diseño puede aumentarse, o el espesor de diseño puede reducirse. Además, como una ventaja secundaria, la cantidad de hidrógeno cargada puede aumentarse mediante un aumento en la presión de diseño. Además, el coste de producción del recipiente puede reducirse por una reducción en el espesor del recipiente.

Breve descripción de los dibujos

[Fig. 1] La Fig. 1 es un gráfico que muestra la relación entre la resistencia a la tracción en el aire y la reducción de área relativa (una razón de reducción de área en hidrógeno de 45 MPa y una reducción de área en el aire) de aceros de la invención y aceros comparativos en los Ejemplos.

[Fig. 2] La Fig. 2 es un gráfico que muestra la relación entre la resistencia a la tracción en el aire y la reducción de área de aceros de la invención y aceros comparativos en los Ejemplos.

[Fig. 3] La Fig. 3 es un gráfico que muestra la relación entre un número de tamaño de grano del cristal y la reducción de área relativa de aceros de la invención y aceros comparativos en los Ejemplos.

[Fig. 4] La Fig. 4 es un gráfico que muestra la relación entre un tamaño de grano promedio y la reducción de área relativa de aceros de la invención y aceros comparativos en los Ejemplos.

[Fig. 5] Las Figs. 5 (a) y 5 (b) son vistas que muestran una superficie de fractura de un ensayo de tracción de una pieza en hidrógeno de 45 MPa del acero 6 de la invención en los Ejemplos, y la Fig. 5(c) es una vista que muestra una superficie de fractura de un ensayo de tracción de una pieza en hidrógeno de 45 MPa del acero 1 comparativo,

Modo para llevar a cabo la invención

Los intervalos limitados de los componentes y similares en la invención se describirán en detalle a continuación. Los siguientes contenidos de componentes están todos representados en porcentaje en masa.

C (carbono): de 0,10 a 0,20%

- 5 El C es un componente eficaz para mejorar la resistencia del acero, y para asegurar la resistencia como un acero para soldadura, el valor límite inferior del mismo se decide que sea de 0,10%. La inclusión excesiva del mismo deteriora extremadamente la soldabilidad del acero, de manera que el valor límite superior del mismo se considera como 0,20%. Preferiblemente, el límite inferior es 0,14%, y el límite superior es 0,16%.

Si (silicio): de 0,10 a 0,40%

- 10 El Si es un componente necesario para asegurar la resistencia de un material base, desoxidación y similares, y para obtener los efectos del mismo, el valor límite inferior del mismo se considera como 0,10%. Sin embargo, la inclusión excesiva del mismo provoca una disminución en la tenacidad de una pieza soldada, de manera que el valor límite superior del mismo se considera como 0,40%. Preferiblemente, el límite inferior es 0,18%, y el límite superior es 0,32%.

- 15 Mn (manganeso): de 0,50 a 1,20%

El Mn es un componente eficaz para reforzar el acero, y el valor límite inferior del mismo se decide que sea de 0,50%. Sin embargo, la inclusión excesiva del mismo provoca una disminución en la tenacidad o un agrietamiento de una pieza soldada, de manera que el valor límite superior del mismo se considera como 1,20%. Preferiblemente, el límite inferior es 0,80%, y el límite superior es 0,84%.

- 20 Cr (cromo): de 0,20 a 0,80%

El Cr mejora la resistencia del acero, pero la inclusión excesiva del mismo deteriora la soldabilidad. Por consiguiente, el valor límite inferior del mismo se considera como 0,200%, y el valor límite superior del mismo se considera como 0,80%. Preferiblemente, el límite inferior es 0,47%, y el límite superior es 0,57%.

Ni (níquel): de 0,75 a 1,75%

- 25 El Ni es un elemento eficaz para mejorar la resistencia y templabilidad del acero, pero demasiado Ni provoca el deterioro de las características de resistencia a la fragilización por el medio de hidrógeno. Por consiguiente, el valor límite inferior del mismo se considera como 0,75%, y el valor límite superior del mismo se considera como 1,75% en la presente memoria. Preferiblemente, el límite inferior es 0,70%, y el límite superior es 1,55%.

Cu (cobre): de 0,31 a 0,50%

- 30 El Cu mejora la resistencia del acero, pero la inclusión excesiva del mismo aumenta la susceptibilidad al agrietamiento en el momento de la soldadura. Por consiguiente, el valor límite inferior del mismo se considera como 0,31%, y el valor límite superior del mismo se considera como 0,50%. Preferiblemente, el límite superior es 0,40%. Más preferiblemente, el límite inferior es 0,31%, y el límite superior es 0,33%.

Mo (molibdeno): de 0,10 a 1,00%

- 35 El Mo es un elemento eficaz para reforzar el acero, pero la inclusión excesiva del mismo deteriora la soldabilidad, y provoca un aumento en el coste. Por consiguiente, el valor límite inferior del mismo se considera como 0,10%, y el valor límite superior del mismo se considera como 1,00%. Preferiblemente, el límite inferior es 0,45%, y el límite superior es 0,55%.

V (vanadio): de 0,01 a 0,10%

- 40 El V es un elemento importante para asegurar la resistencia del acero, pero demasiado tiene un efecto adverso sobre la tenacidad. Por consiguiente, el valor límite inferior del mismo se considera como 0,01%, y el valor límite superior del mismo se considera como 0,10%. Preferiblemente, el límite inferior es 0,04%, y el límite superior es 0,06%.

B (boro): de 0,0005 a 0,005%

- 45 El B es un elemento eficaz para reforzar el acero y también es eficaz para mejorar la templabilidad, de manera que el valor límite inferior del mismo se considera como 0,0005%. Por otro lado, la inclusión excesiva del mismo provoca una reducción en la soldabilidad, de manera que el valor límite superior del mismo se considera como 0,005%. Preferiblemente, el límite superior es 0,002%.

N (nitrógeno): 0,01% o menos

Cuando el N supera el 0,01%, el N en solución sólida aumenta provocando una disminución en la tenacidad de una pieza soldada. Por consiguiente, el valor límite superior del mismo se considera como 0,01%.

Nb (niobio): de 0,01 a 0,10%

Ti (titanio): de 0,005 a 0,050%

- 5 El Nb y el Ti son elementos eficaces para refinar el grano del acero, de manera que se permite que uno o dos de ellos estén contenidos. Sin embargo, menos del 0,01% de Nb o menos del 0,005% de Ti da como resultado un fallo para obtener la funcionalidad suficiente. Por consiguiente, el valor límite inferior de Nb se decide que sea de 0,01%, y el valor límite inferior de Ti se decide que sea de 0,005%. Incidentalmente, cuando un componente está contenido en una cantidad del límite inferior o mayor, el otro componente puede estar contenido como una impureza en una cantidad menor que el límite inferior. Por otro lado, la inclusión excesiva de Nb da como resultado una saturación del efecto, y además, provoca una reducción en la soldabilidad, de manera que el valor límite superior del mismo se decide que sea de 0,10%. Además, la inclusión excesiva de Ti provoca una disminución en la tenacidad debido a la deposición excesiva de TiC, de manera que el valor límite superior del mismo se decide que sea de 0,05%. Preferiblemente, el límite inferior de Nb es 0,02% y el límite superior del mismo es 0,06%, y el límite inferior de Ti es 0,01% y el límite superior del mismo es 0,04%.

Resto: Fe e Impurezas Inevitables

En el acero de baja aleación y alta resistencia de la invención, el resto consiste en Fe e impurezas inevitables. Las impurezas inevitables incluyen P y S.

P (fósforo): 0,005% o menos

- 20 En términos de prevención del deterioro de la trabajabilidad en caliente, es preferible que el contenido de P sea tan pequeño como sea posible. Teniendo en cuenta la eficiencia industrial, el valor límite superior del mismo se considera como 0,005%.

S (azufre): 0,002% o menos

- 25 En términos de prevención del deterioro de la trabajabilidad en caliente y una disminución en la tenacidad, es preferible que el contenido de S sea tan pequeño como sea posible. Teniendo en cuenta la eficiencia industrial, el valor límite superior del mismo se considera como 0,002%.

Número de tamaño de grano del cristal: 8,4 o mayor

- 30 El número de tamaño de grano del cristal se midió por un método de comparación basado en un método de ensayo del tamaño de grano del cristal de ferrita para aceros especificados en JIS G 0552. El tamaño de grano después del tratamiento térmico es preferiblemente 8,4 o mayor. Las características de resistencia a la fragilización por el medio de hidrógeno, excelentes en comparación con las de los aceros convencionales, pueden presentarse ajustando el tamaño de grano a 8,4 o mayor. En el caso de que sea menor de 8,4, el tamaño de grano es igual a o menor que el de los aceros convencionales, y no pueden esperarse mejoras en las características por resistencia a la fragilización por el medio de hidrógeno.

- 35 Resistencia a la tracción: de 900 a 950 MPa

Como una resistencia diana, la resistencia a la tracción en el aire después del tratamiento térmico se considera como 900 MPa o mayor. Sin embargo, si supera los 950 MPa se obtiene como resultado un aumento en la susceptibilidad a la fragilización por el medio de hidrógeno, de manera que el límite superior se considera como 950 MPa. Incidentalmente, esta resistencia a la tracción es la resistencia a temperatura ambiente.

- 40 Como las condiciones de tratamiento térmico para la aleación acero que tiene la composición descrita anteriormente, se muestran las siguientes condiciones.

Temperatura de normalización: de 1.000°C a 1.100°C

Para eliminar las deformaciones en el momento del forjado, se decide que la temperatura de normalización sea de 1.000°C a 1.100°C.

- 45 Temperatura de templeado: de 880 a 900°C

Para conferir el tamaño de grano del cristal óptimo, se decide que la temperatura de templeado sea de 880 a 900°C.

Temperatura de revenido: de 560°C a 580°C

Para conferir la resistencia a la tracción óptima a temperatura ambiente en el aire, se decide que la temperatura de revenido sea de 560°C a 580°C.

A continuación se describirá una realización de la invención.

Las materias primas del acero de aleación ajustadas a la composición de la invención se funden para obtener un lingote. Un método para fundir las materias primas del acero de aleación no está particularmente limitado puesto que la invención, y el lingote pueden obtenerse por un método convencional.

- 5 El lingote puede someterse a trabajado en caliente (laminado en caliente, forjado en caliente o similares) por un método convencional, y las condiciones y similares en el trabajado en caliente no están particularmente limitadas como la invención.

Después del trabajado en caliente, adecuadamente, la normalización se realiza en un material trabajado en caliente para homogeneizar la estructura. La normalización puede realizarse, por ejemplo, calentando a 1.100°C durante dos
10 horas, seguido de enfriamiento en el horno.

Además, puede realizarse un tratamiento de templado-revenido como tratamiento térmico.

El templado puede realizarse por calentamiento, por ejemplo, de 880 a 900°C y enfriamiento rápido. Después del templado, puede realizarse un revenido en el que se realiza calentamiento de 560 a 580°C, por ejemplo. En el
15 revenido, es preferible ajustar el parámetro de revenido representado por $T(\log t + 20) \times 10^{-3}$ para la temperatura de revenido T (K) y el tiempo t (h) dentro del intervalo de 18,0 a 18,5.

En el acero de la invención, la resistencia a la tracción en el aire puede ajustarse de 900 a 950 MPa, y el tamaño de grano del cristal puede ajustarse a un número de tamaño de grano de 8,4 o mayor en el método de comparación de JIS G 0552 (el método de ensayo del tamaño de grano del cristal de ferrita para aceros), por tratamiento térmico. El
20 acero de baja aleación y alta resistencia muestra unas características excelentes de reducción de área y excelente alargamiento incluso en una atmósfera de hidrógeno de 45 MPa.

Ejemplos

A continuación se describirán en detalle los ejemplos de la invención.

Un material bajo ensayo que tiene una composición (el resto eran las otras impurezas inevitables) mostrada en la Tabla 1 se fundió en un horno de fusión de inducción a vacío para preparar un lingote de acero redondo de 50 kg,
25 cuyo espesor se ajustó a 35 mm por forjado en caliente. En este ensayo, el tratamiento térmico se realizó a un espesor de 35 mm después del forjado en caliente como un método de producción. Incidentalmente, las cantidades de Ti en los ejemplos nº 1 y 2 y la cantidad de Nb en los ejemplos nº 3 y 4 son menores que el límite inferior analítico ($Ti < 0,0005\%$, $Nb < 0,01\%$).

La temperatura de normalización en los aceros 1 a 7 de la invención era de 950°C, la temperatura de templado era de 880°C a 900°C, y el revenido se realizó a 580°C. Se ajustaron la temperatura de revenido T (K) y el tiempo t (h), y el parámetro de revenido representado por $T(\log t + 20) \times 10^{-3}$ se varió dentro del intervalo de 17,3 a 18,7, ajustando
30 así la resistencia a la tracción en el aire en el intervalo de 900 a 950 MPa.

La temperatura de templado en el acero 1 comparativo era de 920°C, y el revenido se realizó a 600°C. Incidentalmente, el tiempo de revenido se ajustó como 11 horas y 50 minutos, 34 horas, y 97 horas y 30 minutos.

35 La temperatura de normalización en el acero 2 comparativo era de 1.200°C, y la temperatura de templado era de 950°C. El revenido se realizó a 660°C durante 6 horas.

La temperatura de normalización en el acero 3 comparativo era de 900°C, y la temperatura de templado era de 840°C. El revenido se realizó a 600°C durante 35 horas.

[Tabla 1]

Material bajo Ensayo N°		Composición de acero de baja aleación (% en masa)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	
Acero de la Invención	1	0,15	0,26	0,84	<0,003	0,002	0,53	0,52	0,75	0,05	
	2	0,14	0,25	0,84	<0,003	0,002	0,53	0,52	0,76	0,05	
	3	0,14	0,25	0,84	<0,003	0,002	0,53	0,52	0,76	0,05	
	4	0,15	0,25	0,84	<0,003	0,001	0,53	0,52	0,76	0,05	
	5	0,15	0,24	0,85	<0,003	0,002	0,53	0,53	0,75	0,05	
	6	0,16	0,24	0,83	<0,003	0,002	0,53	0,51	1,02	0,05	
	7	0,15	0,25	0,84	<0,003	0,002	0,53	0,52	1,52	0,05	
Acero Comparativo	1	0,15	0,23	0,97	0,006	<0,001	0,50	0,51	1,45	0,04	
	2	0,13	0,04	0,56	0,006	0,003	2,47	1,08	0,17	0,29	
	3	0,24	0,26	0,41	0,01	0,007	1,78	0,40	3, 69	0,13	

Material bajo Ensayo N°		Composición de acero de baja aleación (% en masa)							Observaciones	
		B	Cu	Nb	N	Ti	Al	Fe	(Nombre de la aleación)	
Acero de la Invención	1	0,0011	0,31	0,031	0,0072	-	-	resto		
	2	0,0011	0,31	0,054	0,0072	-	-	resto		
	3	0,0011	0,32	-	0,0074	0,012	-	resto		
	4	0,001	0,32	-	0,0076	0,032	-	resto		
	5	0,0009	0,32	0,036	0,0069	0,014	-	resto		
	6	0,0011	0,31	0,029	0,0069	0,013	-	resto		
	7	0,0009	0,31	0,029	0,0070	0,013	-	resto		
Acero Comparativo	1	0,0009	0,23	-	-	-	-	resto	SHY685NSF	
	2	0,0007	0,07	0,024	-	0,01	0,01	resto	F22V	
	3	-	-	-	0,008	-	<0,005	resto	3,5NiCrMoV	

Después del tratamiento térmico, el material de ensayo se procesó a una muestra para el ensayo de tracción como una barra lisa especificada en JIS Z 2201, nº 14. Se realizó un ensayo de tracción en hidrógeno bajo un medio de hidrógeno de 45 MPa usando un comprobador de fatiga en un medio de hidrógeno a alta presión. El ensayo de tracción se realizó en condiciones de temperatura ordinaria y una velocidad de recorrido de 0,0015 mm/s. El tamaño de grano del cristal se midió basándose en el método de comparación especificado en JIS G 0552.

En la Fig. 1 se muestra la relación entre la resistencia a la tracción en el aire y la reducción de área relativa (la razón de reducción de área en hidrógeno de 45 MPa y la reducción de área en el aire) de los aceros 1 a 7 de la invención y los aceros 1 a 3 comparativos. La reducción de área relativa de los aceros de la invención mostró una gran reducción de área incluso cuando se compara con la otra clase de aceros dentro de 900 a 950 MPa como el intervalo de resistencia diana. Esto muestra que los aceros de la invención tienen una mayor resistencia que los aceros comparativos y tienen una excelente susceptibilidad a la fragilización por el medio de hidrógeno.

En la Fig. 2 se muestra la relación entre la resistencia a la tracción en el aire y la reducción de área de los aceros 1 a 7 de la invención y los aceros 1 a 3 comparativos. Los aceros de la invención mostraron un mayor valor que los aceros convencionales, también en el valor absoluto de la reducción de área.

En la Fig. 3 se muestra la relación entre el número de tamaño de grano y la reducción de área relativa de los aceros 1 a 7 de la invención y los aceros 1 a 3 comparativos, y en la Fig. 4 se muestra la relación entre el tamaño de grano promedio y la reducción de área relativa de los aceros 1 a 7 de la invención y los aceros 1 a 3 comparativos. Los aceros de la invención son aproximadamente equivalentes a o menores que el acero 1 comparativo respecto al tamaño de grano, y mayores en la reducción de área relativa. Es concebible que se haya ejercido un efecto del refinado de grano debido a la adición de Nb y Ti.

En las Figs. 5(a) y 5 (b) se muestran vistas que enseñan una superficie de fractura de una pieza de ensayo de tracción del acero 6 de la invención en hidrógeno de 45 MPa, que se ha observado bajo un microscopio electrónico de barrido (SEM). En la Fig. 5(c) se muestra también una vista observada de una superficie de fractura del acero 1 comparativo después del ensayo de tracción en hidrógeno de 45 MPa, para comparación. En el acero 1 comparativo, se observa una superficie de fractura casi escindida en toda la superficie de fractura. En comparación con esto, en el acero 6 de la invención, se observan hoyuelos finos que tienen un diámetro de 1 μm o menor. Es por tanto concebible que haya ocurrido un comportamiento de fractura dúctil también en el medio de hidrógeno de 45 MPa.

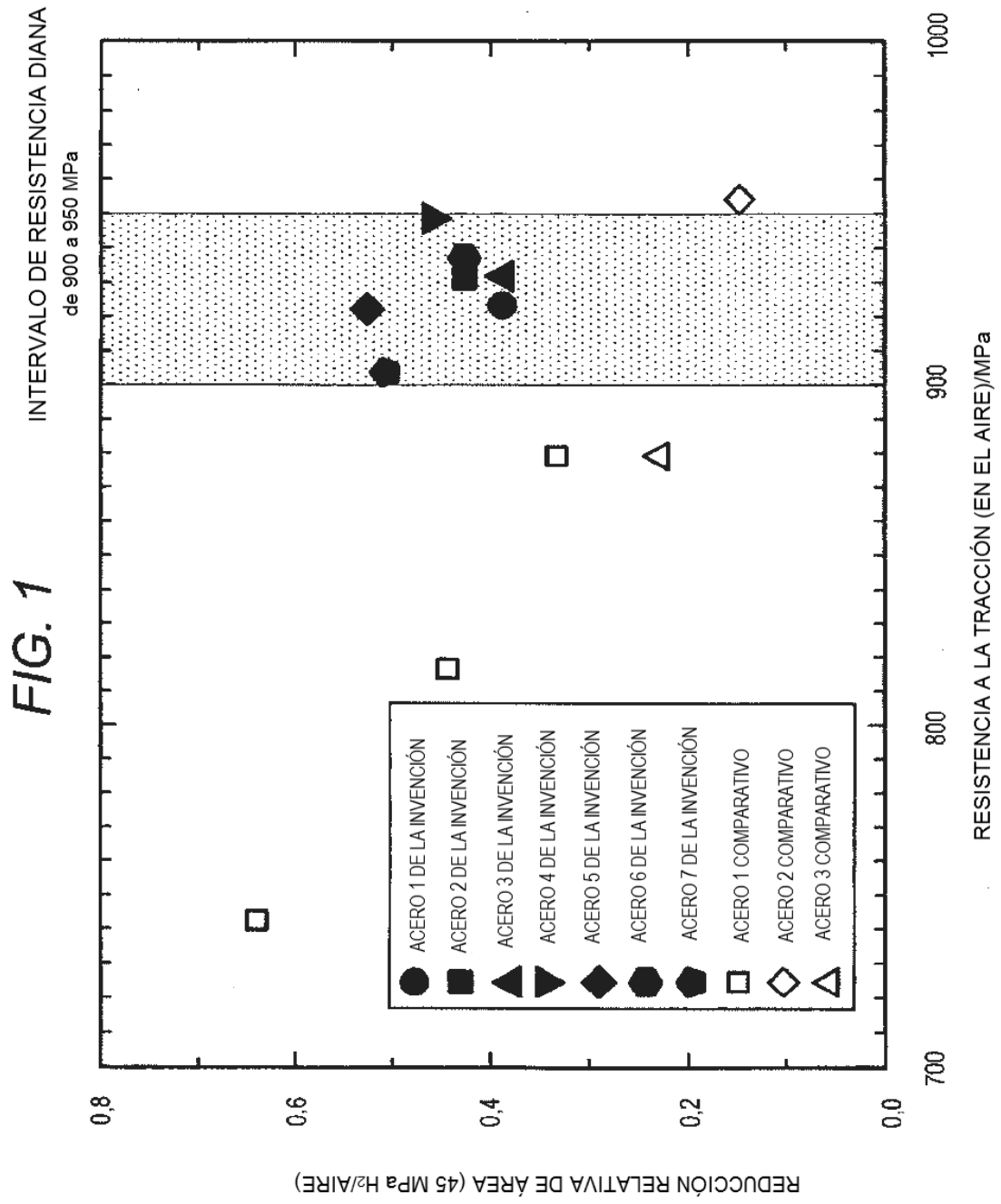
La invención se ha descrito basándose en las realizaciones y ejemplos descritos anteriormente como se ha descrito en lo anterior. Sin embargo, debe entenderse que la invención no está limitada a la descripción de las realizaciones y ejemplos descritos anteriormente y, por supuesto, son posibles los cambios apropiados sin alejarse del alcance de la invención.

Aplicabilidad industrial

De acuerdo con la invención, como una ventaja principal de la misma, resulta posible preparar una vasija a presión de hidrógeno a alta presión a un coste menor que un acero inoxidable austenítico, como se ha descrito anteriormente. Además, la resistencia es mayor que la de un acero convencional, y la susceptibilidad a la fragilización por el medio de hidrógeno es pequeña, de manera que la presión de diseño puede aumentarse, o el espesor de diseño puede reducirse. Además, como una ventaja secundaria, la cantidad de hidrógeno cargada puede aumentarse por un aumento en la presión de diseño. Además, el coste de producción del recipiente puede disminuirse por una disminución en el espesor del recipiente.

REIVINDICACIONES

1. Un acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión, que tiene una composición que comprende C: de 0,10 a 0,20% en masa, Si: de 0,10 a 0,40% en masa, Mn: de 0,50 a 1,20% en masa, Ni: de 0,75 a 1,75% en masa, Cr: de 0,20 a 0,80% en masa, Cu: de 0,31 a 0,50% en masa, Mo: de 0,10 a 1,00% en masa, V: de 0,01 a 0,10% en masa, B: de 0,0005 a 0,005% en masa y N: 0,01% en masa o menos, y que además comprende uno o dos de Nb: de 0,01 a 0,10% en masa y Ti: de 0,005 a 0,050% en masa, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.
5
2. El acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la resistencia a la tracción en el aire después del tratamiento térmico es de 900 MPa a 950 MPa.
10
3. El acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que el número de tamaño de grano del cristal después del tratamiento térmico, que se mide por un método de comparación basado en un método de ensayo del tamaño de grano del cristal de ferrita para aceros especificados en JIS G 0552, tiene un tamaño de grano de 8,4 o mayor.
15
4. Un método para producir un acero de baja aleación y alta resistencia que tiene características de resistencia a la fragilización por un medio hidrógeno a alta presión, comprendiendo el método:
fundir un material de acero de aleación que tiene una composición que comprende C: de 0,10 a 0,20% en masa, Si: de 0,10 a 0,40% en masa, Mn: de 0,50 a 1,20% en masa, Ni: de 0,75 a 1,75% en masa, Cr: de 0,20 a 0,80% en masa, Cu: de 0,10 a 0,50% en masa, Mo: de 0,10 a 1,00% en masa, V: de 0,01 a 0,10% en masa, B: de 0,0005 a 0,005% en masa y N: 0,01% en masa o menos, y que además comprende uno o dos de Nb: de 0,01 a 0,10% en masa y Ti: de 0,005 a 0,050% en masa, siendo el resto Fe e impurezas inevitables para formar un lingote de acero;
20
realizar la normalización de 1.000°C a 1.100°C después del trabajado en caliente;
realizar el templeado en un intervalo de temperatura de 880°C a 900°C; y
25
después del templeado, realizar el revenido de 560°C a 580°C.



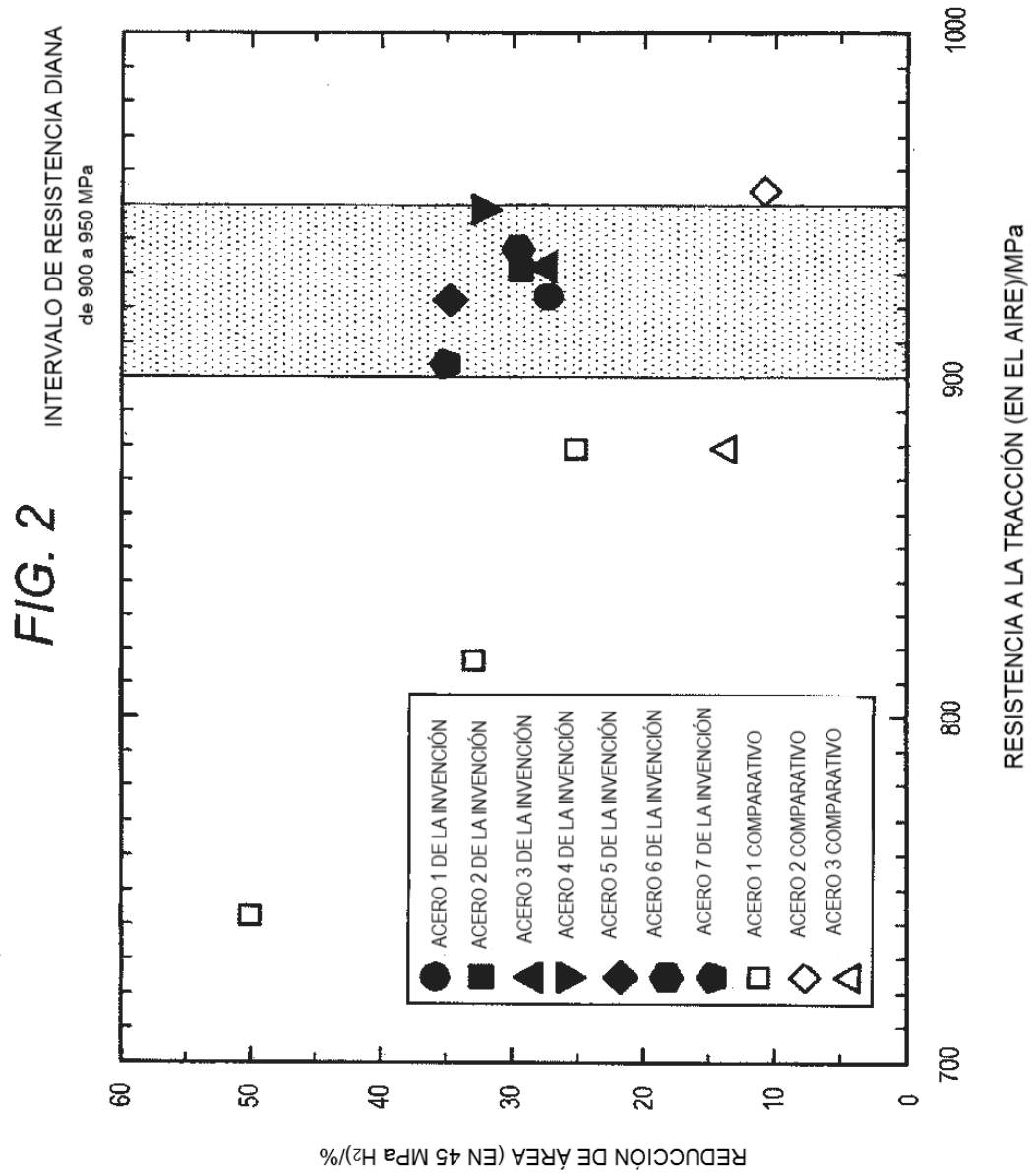


FIG. 3

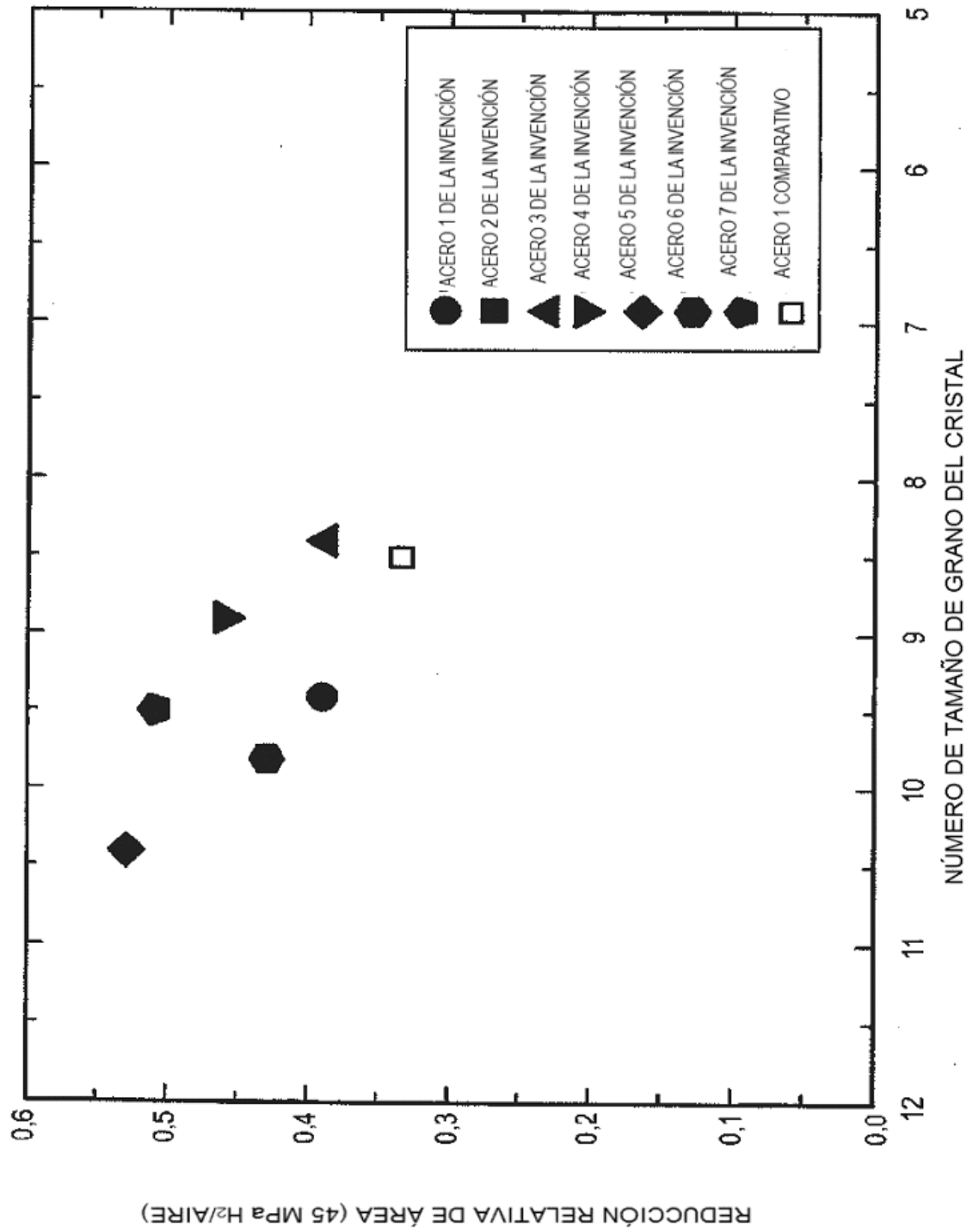


FIG. 4

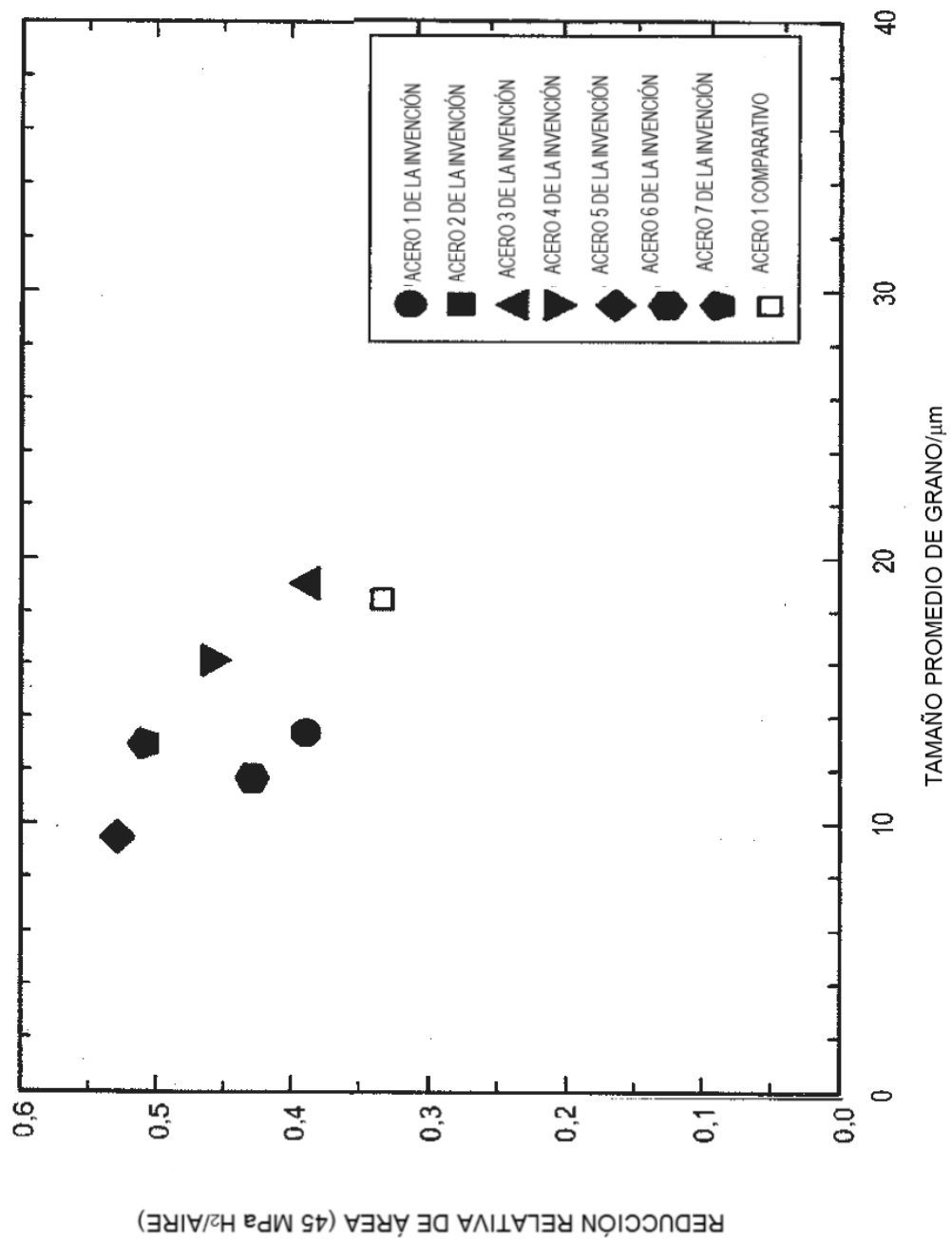


FIG. 5

