

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 595 484**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/34	(2006.01)		
C22C 38/42	(2006.01)		
C22C 38/46	(2006.01)		
C22C 38/44	(2006.01)		
C21D 6/00	(2006.01)		
C21D 1/18	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/48	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.04.2013 PCT/US2013/038608**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.01.2014 WO14014540**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2013 E 13792114 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.07.2016 EP 2841612**

54 Título: **Aleación de acero de alta resistencia, alta dureza**

30 Prioridad:

27.04.2012 US 201213457631

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

30.12.2016

73 Titular/es:

**CRS HOLDINGS, INC. (100.0%)
1105 North Market Street, Suite 601
Wilmington DE 19801, US**

72 Inventor/es:

NOVOTNY, PAUL M.

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 595 484 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

Aleación de acero de alta resistencia, alta dureza

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

5 Está invención se relaciona con aleaciones de acero de alta resistencia, alta dureza, y en particular, con una aleación tal que proporciona una combinación única de resistencia a la tensión y dureza cuando se endureció y se revino.

Descripción de la técnica relacionada

10 Se conocen los aceros martensíticos endurecibles con los años que proporcionan una combinación de resistencia muy alta y dureza. Entre estos aceros conocidos están aquellos descritos en los documentos U.S. 4,076,525 y U.S. No. 5,087,415. El anterior es conocido como aleación AF1410 y el siguiente es vendido bajo la marca registrada AERMET. La combinación de resistencia muy alta y dureza suministrada por aquellas aleaciones es un resultado de sus composiciones que incluyen cantidades significativas de elementos de níquel, cobalto, y molibdeno que están típicamente entre estos elementos de aleación disponibles más costosos. Por consiguiente, aquellos aceros se venden con una prima significativa en comparación con otras aleaciones que no contienen tales elementos.

15 Más recientemente, se ha desarrollado una aleación de acero que proporciona una combinación de alta resistencia y dureza comparable con las de las aleaciones de AERMET y AF1410, pero sin la necesidad de cobalto y con cantidades significativamente más bajas de níquel y molibdeno que aquellas aleaciones. Uno de tales aceros se describe en el documento U.S. No. 2011/0165011. El acero descrito en aquel documento es una aleación de acero SiCuNiCr endurecida con aire. El acero descrito en el documento '011 es capaz de proporcionar combinaciones de resistencia muy alta y dureza incluso cuando se revinieron a aproximadamente 260°C (500°F). Por ejemplo, los especímenes longitudinales de una realización descritos en la solicitud '011 proporcionaron una resistencia a la tensión de al menos 1999 MPa (290 ksi) en combinación con resistencia de impacto en muesca Charpy V (CVN) de al menos 27.1 J (20 ft-lbs) en la condición de endurecimiento y revenido. Los especímenes longitudinales de otra realización proporcionaron una resistencia a la tensión de al menos 2137 MPa (310 ksi) en combinación con una resistencia de impacto CVN de al menos aproximadamente 21.7 J (16 ft-lbs) en la condición de endurecimiento y revenido.

20 Sin embargo, el uso potencial de tales aceros en componentes aeroespaciales críticos ha impulsado una necesidad de extender la combinación de resistencia y dureza proporcionadas por tales aleaciones a niveles más altos de los logrados anteriormente. En consecuencia, ha surgido una necesidad de una aleación de acero de SiCuNiCr endurecida con aire que proporciona resistencia a la tensión en exceso de 2034 MPa (295 ksi), en combinación con una dureza de impacto en exceso de 20 J (15 ft-lbs). Esta combinación de propiedades debe ser proporcionada después que la aleación ha sido revenida a aproximadamente al menos 260°C (500°F). Ya que es conocido que la dureza y resistencia a la tensión están relacionadas inversamente, no es fácil lograr la solución a esta necesidad.

25 El documento US 2009/0291013 propone un método para diseñar una acero martensítico de bajo costo, resistencia alta, dureza alta.

Resumen de la invención

40 La necesidad descrita anteriormente se realiza en gran medida por una aleación de acuerdo con la presente invención. De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona una aleación de acero de alta resistencia, alta dureza que tiene las siguientes composiciones de ancho y en porcentaje en peso preferidas.

<u>Elemento</u>	<u>Ancho</u>	<u>A preferido</u>	<u>B preferido</u>
C	.33-.50	.33-.45	.40-.50
Mn	.8-1.3	.8-1.3	.8-1.3
Si	1.5-2.7	1.0-2.70	1.5-2.70
Cr	1.5-1.8	1.5-1.8	1.5-1.8
Ni	3.0-5.0	3.0-4.5	4.0-5.0
MO + ½ W	.40-.90	.5-.90	.25-.90
Cu	.35-1.2	.35- 1.2	.3-1.2
Co	.01 máx.	.01 máx.	.01 máx.
V +(5/9) x Nb	.10-.40	.10-.40	.10-.40
Ti	.01 máx.	.005 máx.	.005 máx.
Al	.015 máx.	.015 máx.	.015 máx.
Y	.001-.025	.002-.025	.002-.020

ES 2 595 484 T3

Mg	.0001-.008	.0001-.006	.0001-.008
Ca	.005 máx.	.001 máx.	.001 máx.
Fe	Balance	Balance	Balance

Incluidas en el balance están las impurezas usuales encontradas en grados comerciales de aleaciones de aceros producidas para uso similar y propiedades. Entre dichas impurezas el fósforo está restringido preferiblemente a no más de aproximadamente 0.01% y el azufre está restringido preferiblemente a no más de aproximadamente 0.001%. Dentro de los rangos en porcentaje en peso anteriores, silicio, cobre, y vanadio están balanceados tal como

$$14.5 \leq (\%Si + \%Cu)/(\%V + (5/9)\%Nb) \leq 34.$$

5

Se proporciona la tabulación anterior como un resumen conveniente y no pretende restringir los valores superiores e inferiores de los rangos de los elementos individuales para uso en combinación con los demás, o para restringir los rangos de los elementos para su uso únicamente en combinación con los demás. Así, se pueden usar uno o más de los rangos con uno o más de los otros rangos para los elementos restantes. Adicionalmente, de un ancho o composición preferida se puede usar con el mínimo o máximo para el mismo elemento en otra composición preferida o intermedia. Aquí y a través de esta especificación el término "porcentaje" o el símbolo "%" indica porcentaje en peso o porcentaje en masa, a menos que se especifique lo contrario.

10

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un artículo de aleación de acero endurecido o revenido que tiene resistencia muy alta y tenacidad a la fractura. El artículo se forma de una aleación que tiene cualquiera de las composiciones en porcentaje en peso anchas, intermedias, o preferidas indicadas anteriormente. El artículo aleado de acuerdo con este aspecto de la invención es caracterizado adicionalmente por ser revenido a una temperatura de 260°C a 316°C (500°F a 600°F).

15

Descripción detallada

El carbón contribuye a la capacidad de resistencia alta y endurecimiento proporcionadas por la aleación de acuerdo con la presente invención. Por lo tanto, la aleación contienen al menos 0.33% de carbono (por ejemplo, Preferido A) o al menos 0.40% de carbono (por ejemplo, Preferido B). El carbono también es benéfico para la resistencia de revenido de esta aleación. El exceso de carbono puede afectar adversamente la dureza proporcionada por la aleación. Por lo tanto, el carbono está restringido a no más del 0.50%. Preferiblemente, la aleación contienen no más de 0.45% de carbono para buena dureza a niveles de resistencia y dureza más altos.

20

Al menos 0.8% de manganeso está presente en esta aleación principalmente para desoxidar la aleación. Se ha encontrado que el manganeso también beneficia la resistencia alta proporcionada por la aleación. Si hay exceso de manganeso presente, entonces una cantidad indeseable de austenita retenida puede resultar durante el endurecimiento y temple tal que se afecta adversamente la resistencia alta proporcionada por la aleación. Por lo tanto, la aleación contienen no más de 1.3% de manganeso.

25

El silicio beneficia la capacidad de endurecer y resistencia al revenido de esta aleación. Al menos 1.5% de silicio está presente en la aleación a medida que se necesita mayor dureza y resistencia. El exceso de silicio afecta adversamente la dureza, resistencia, y ductilidad de la aleación. Con el fin de evitar tales efectos adversos el silicio está restringido a no más de 2.7% en esta aleación.

30

La aleación de acuerdo con esta invención contiene al menos 1.5% de cromo porque el cromo contribuye a la buena capacidad de endurecimiento, alta resistencia, y resistencia al revenido proporcionadas por la aleación. Más de aproximadamente 2.5% de cromo en la aleación afecta adversamente la dureza de impacto y ductilidad proporcionadas por la aleación. En esta aleación de resistencia alta el cromo está restringido a no más de 1.8%.

35

El níquel es benéfico para la buena dureza proporcionada por la aleación de acuerdo con esta invención. Una realización preferida de la aleación (por ejemplo, A preferido) contiene al menos 3.0% de níquel. Cuando la aleación está balanceada para proporcionar resistencia más alta, preferiblemente contiene al menos 4.0%. El beneficio proporcionado por cantidades más grandes de níquel afecta adversamente el costo de la aleación sin proporcionar una ventaja significativa. Con el fin de limitar el alza del costo de la aleación, se restringe la cantidad de níquel. Así, para la realización de resistencia más alta de la aleación (por ejemplo, B preferido), puede estar presente hasta 5.0% de níquel. En realizaciones de resistencia más bajas (por ejemplo, A preferido) la aleación contienen no más de 4.5% de níquel.

40

El molibdeno es un formador de carburo que es beneficioso para la resistencia al revenido proporcionada por esta aleación. La presencia de molibdeno aumenta la temperatura de revenido de la aleación tal que se logra un efecto de endurecimiento secundario a aproximadamente 260°C (500°F). El molibdeno también contribuye a la resistencia proporcionada por la aleación. Los beneficios proporcionados por el molibdeno se realizaron cuando la aleación contenía al menos 0.4%, y preferiblemente al menos 0.5% de molibdeno. Para la resistencia más alta, la aleación contiene al menos 0.7% de molibdeno. Como el níquel, el molibdeno no proporciona una ventaja que aumente en

50

ES 2 595 484 T3

propiedades con relación a un incremento del costo significativamente de añadir cantidades más grandes de molibdeno. Por esta razón, la aleación de resistencia más alta contiene hasta 0.90% de molibdeno. El tungsteno puede ser sustituido por algunos o todos los molibdenos en esta aleación. Cuando está presente, el tungsteno es sustituido por molibdeno en una base de 2:1.

5 Esta aleación contiene cobre que contribuye a la capacidad de endurecimiento y resistencia al impacto de la aleación. Como se desea una resistencia más alta, la aleación contiene al menos 0.35% de cobre. El exceso de cobre puede resultar en precipitación de una cantidad indeseable de cobre libre en la matriz de aleación y afecta adversamente la tenacidad a la fractura de la aleación. Por lo tanto, no está presente más de 1.2% de cobre en esta aleación.

10 El vanadio contribuye a la resistencia alta y buena capacidad de endurecimiento proporcionada por esta aleación. El vanadio también es un formador de carburo y promueve la formación de carburos que ayudan a proporcionar refinamiento de grano en esta aleación y que beneficia a la resistencia al revenido y endurecimiento secundario de esta aleación. Por estas razones, la aleación preferiblemente contiene al menos 0.10% y preferiblemente al menos 0.25% de vanadio. El exceso de vanadio afecta adversamente la resistencia de la aleación debido a la formación de cantidades más grandes de carburos en la aleación que agota el carbono del material de matriz de la aleación. En consecuencia, la aleación puede contener hasta 0.40% de vanadio. El niobio puede ser sustituido por algún o la totalidad del vanadio en esta aleación porque como el vanadio, el niobio se combina con carbono para formar carburos M_4C_3 que benefician la resistencia al revenido y capacidad de endurecimiento de la aleación. Cuando está presente, el niobio es sustituido por vanadio en una base de 1.8:1.

20 Esta aleación también puede contener una pequeña cantidad de calcio de hasta 0.005% retenida de adiciones durante la fusión de la aleación para ayudar a eliminar el azufre y por lo tanto beneficiar la tenacidad a la fractura proporcionada por la aleación. Preferiblemente, la aleación contiene no más de 0.002% o 0.001% de calcio.

El silicio, cobre, vanadio, y cuando está presente, niobio están preferiblemente balanceados dentro de sus rangos en porcentaje en peso descritos anteriormente para beneficiar la combinación novedosa de resistencia y dureza que caracteriza esta aleación. Más específicamente, la proporción $(\%Si + \%Cu)/(\%V + (5/9)\times\%Nb)$ es 14.5 a 34. Se cree que cuando las cantidades de silicio, cobre, y vanadio presentes en la aleación están balanceadas de acuerdo con la proporción, los límites del grano de la aleación son reforzados mediante la prevención de fases frágiles y elementos de trampa de ser formados en los límites del grano.

30 La aleación de acuerdo con esta invención contiene una pequeña cantidad de magnesio, itrio, o una combinación de los mismos. Se añaden el magnesio y/o itrio durante la fusión primaria para desoxidar la aleación de acero. El magnesio e itrio también benefician la resistencia y dureza del acero nuevo ayudando en el refinamiento de grano de la aleación durante el procesamiento. Se añade el magnesio en cantidades suficientes para resultar en una cantidad retenida de 0.0001 a 0.008%, preferiblemente 0.0001 a 0.006%. Se añade el itrio en una cantidad suficiente para producir una cantidad retenida de 0.001 a 0.025%, preferiblemente 0.002-0.020%.

35 El balance de la aleación es hierro y las impurezas usuales que se encuentran en grados comerciales de aleaciones similares y aceros. En este sentido, la aleación contiene no más de 0.01%, aún mejor, no más de 0.005% de fósforo y no más de 0.001%, aún mejor no más de 0.0005% de azufre. La aleación preferiblemente contiene no más de 0.01% de cobalto. El titanio puede estar presente en un nivel residual de hasta 0.01% de adiciones de desoxidación durante la fusión y está preferiblemente restringido a no más de 0.005%. Puede también estar presente hasta 40 0.015% de aluminio en la aleación de adiciones de desoxidación durante la fusión.

Las aleaciones de acuerdo con las composiciones preferidas A y B están balanceadas para proporcionar resistencia muy alta y dureza en la condición de endurecimiento y de revenido. En este sentido, la composición A preferida está balanceada para proporcionar una resistencia a la tensión de al menos 2034 MPa (295 ksi) en combinación con buena dureza como se indicó por una resistencia de impacto en muesca Charpy V de al menos 21.7 J (16 ft-lbs) y una tenacidad a la fractura K_{Ic} de al menos 76.9 $MPa\sqrt{m}$ (70 $ksi\sqrt{in}$). Adicionalmente, la composición B preferida está balanceada para proporcionar una resistencia a la tensión de al menos 2137 MPa (310 ksi) en combinación con una tenacidad a la fractura K_{Ic} de al menos 54.9 $MPa\sqrt{m}$ (50 $ksi\sqrt{in}$) para aplicaciones que requieren mayor resistencia y buena dureza.

50 No se necesitan técnicas de fusión especiales para hacer la aleación de acuerdo con esta invención. La fusión primaria de la aleación es preferiblemente lograda con fusión de inducción de vacío (VIM). Cuando se desea, como para aplicaciones críticas, la aleación puede ser refinada usando refusión de arco de vacío (VAR). Si se desea se puede también realizar la fusión primaria por fusión de arco en aire (ARC). Después de la fusión ARC, la aleación puede también ser refinada por refusión por electroescoria (ESR) o VAR.

55 La aleación de esta invención es preferiblemente trabajada en caliente desde una temperatura de hasta aproximadamente 1149°C (2100°F), preferiblemente aproximadamente 982°C (1800°F), para formar varias formas de producto intermedio tales como palanquillas y barras. La aleación es preferiblemente tratada con calor mediante austenización de 863°C (1585°F) a 946°C (1735°F) por aproximadamente 1-2 horas. La aleación es entonces enfriada con aire o temperado con aceite desde la temperatura de austenización. Cuando se desea, la aleación

puede ser tratada con calor en vacío y temperada con gas. La aleación es preferiblemente enfriada en profundidad ya sea a -73.3°C (-100°F) o -196°C (-320°F) por aproximadamente 1-8 horas y después calentada en aire. La aleación es preferiblemente revenida a 260°C (500°F) por 2-3 horas y después enfriada con aire. La aleación puede ser revenida hasta a 316°C (600°F) cuando no se requiere una combinación óptima de resistencia y dureza.

5 La aleación de la presente invención es útil en un rango amplio de aplicaciones. La resistencia muy alta y buena tenacidad a la fractura de la aleación la hace útil para componentes de herramientas de máquina y también en componentes estructurales para aeronaves, incluyendo el tren de aterrizaje. La aleación de esta invención también es útil para componentes de automotores que incluyen, pero no están limitados a, miembros estructurales, ejes de accionamiento, resortes, y cigüeñales. Se cree que la aleación también es útil en placas de blindaje, láminas, y
10 barras.

Ejemplos de trabajo

Ejemplo 1

15 Con el fin de demostrar la combinación novedosa de resistencia y dureza proporcionada por la aleación de acuerdo con esta invención, seis hornadas de 15.9-kg (35-lb.) que tienen las composiciones en porcentaje en peso expuestas en la Tabla 1 abajo se fundieron por inducción de vacío y se moldearon en lingotes cuadrados de 10.16 cm (4-pulgada). Antes del moldeo, las hornadas fueron desulfuradas con calcio por medio de una adición de 0.025 porcentaje en peso de níquel/calcio.

Tabla 1

	Hornada 1	Hornada 2	Hornada 3	Hornada 4	Hornada A	Hornada B
C	0.35	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36
Mn	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.19
Si	2.04	2.04	2.04	2.08	2.03	2.01
P	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
S	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Cr	1.74	1.75	1.75	1.74	1.75	1.75
Ni	3.22	3.19	3.19	3.21	3.23	3.24
Mo	0.77	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Cu	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	0.79
V	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Mg	0.0001	0.0006	0.0020	0.0060	---	0.0100
Ca	0.0012	0.0014	0.0012	0.0009	0.0016	0.0007

20 El balance de cada hornada fue hierro e impurezas usuales. Las Hornadas 1 a 4 son realizaciones de la aleación de acuerdo con la presente invención. Las Hornadas A y B son hornadas comparativas. Las hornadas 1 a 4 difieren de las Hornadas A y B con respecto a las cantidades retenidas de magnesio.

25 Se homogenizaron los lingotes cuadrados de 10.16-cm (4-pulgadas) para cada uno de las Hornadas 1-4, A, y B a 1260°C (2300°F) por 6 horas y después se forjaron en caliente desde una temperatura de inicio de 982°C (1800°F) para dar una palanquilla cuadrada de 57.2-mm (2 ¼ -pulgadas). Se cortó una pieza larga de 30.5-cm (12-pulgada) del extremo X de cada palanquilla y después se forjó en caliente a 982°C (1800°F) para dar una barra cuadrada de 38.1- mm (1 ½ -pulgadas). Se cortaron las barras de 38.1-mm (1 ½ -pulgada) en tres partes de tamaño igual. Se forjaron cada una de las de las tres partes a 982°C (1800°F) para dar una barra cuadrada de 15.9-mm (5/8-
30 pulgada). Se enfriaron las barras de 15.9-mm (5/8-pulgada) en aire a temperatura ambiente. Después de eso se recocieron las barras a 676.7°C (1250°F) por 8 horas y después se enfriaron con aire a temperatura ambiente.

35 Se cortaron las muestras de prueba longitudinales estándar, en duplicado, para pruebas de tensión, dureza, y tenacidad a la fractura, a partir de las barras recocidas de 15.9-mm (5/8-pulgada) y se maquinaron hasta el tamaño de acabado. Se calentó un primer conjunto de muestras en vacío a 918.3°C (1685°F) por 1.5 horas y después SE TEMPLARON CON UNA presión positiva de gas inerte. (Tratamiento con calor A.) Se calentó un segundo conjunto de muestras en vacío a 946°C (1735°F) por 2 horas y después se templó con una presión positiva de gas inerte. (Tratamiento con calor B.) Después de templar, se enfriaron las muestras a -73.3°C (-100°F) por 8 y después se

ES 2 595 484 T3

calentaron en aire a temperatura ambiente. Después del tratamiento con frío, las muestras se revinieron mediante calentamiento a 260°C (500°F) por 2 horas y después se enfriaron en aire a temperatura ambiente.

5 Se establecieron los resultados en las Tablas 2A y 2B de la prueba mecánica de temperatura ambiente de muestras duplicadas de cada hornada que incluye el 0.2% de resistencia de rendimiento de compensación (Y.S.) y la resistencia a la tensión final (U.T.S.) en MPa (ksi), la elongación porcentual (%El.), la reducción porcentual en área (%R.A.), el impacto de energía en muesca Charpy V (CVN) en Julios (J) (pie-libras (ft.-lbs.)), la tenacidad a la fractura de carga de paso ascendente (K_{Ic}) en $MPa\sqrt{m}$ ($ksi\sqrt{in}$), y la escala de dureza Rockwell C (HRC). Las muestras evaluadas metalográficamente también se examinaron por tamaño de grano y número de tamaño de grano de ASTM (Tamaño de Grano) para cada hornada, se muestran también en la Tabla 2. La Tabla 2A contiene los resultados de las muestras de un Tratamiento con Calor A y la Tabla 2B contiene los resultados de las muestras de un Tratamiento con Calor B.

Tabla 2A

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K_{Ic}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 1	1	1653.4 (239.8)	2051.2 (297.5)	11.1	44.0	30.6 (22.6)	86.7 (78.9)		
	2	1652.7 (239.7)	2046.4 (296.8)	11.4	46.0	31.5 (23.2)	87.7 (79.8)		
	Prom.	1653.4 (239.8)	2048.4 (297.1)	11.3	45.0	31.0 (22.9)	87.2 (79.4)	54.1	7.5
Hor. 2	1	1654.7 (240.0)	2059.5 (298.7)	10.8	46.4	29.6 (21.8)	79.4 (72.3)		
	2	1674.0 (242.8)	2069.1 (300.1)	11.5	45.2	27.1 (20.0)	80.7 (73.4)		
	Prom.	1664.4 (241.4)	2064.3 (299.4)	11.2	45.8	28.3 (20.9)	80.1 (72.9)	54.5	9
Hor. 3	1	1667.1 (241.8)	2066.4 (299.7)	10.8	44.4	30.1 (22.2)	72.4 (65.9)		
	2	1679.6 (243.6)	2076.0 (301.1)	10.5	45.0	29.6 (21.8)	79.3 (72.2)		
	Prom.	1673.4 (242.7)	2045.7 (300.4)	10.7	44.7	29.8 (22.0)	75.9 (69.1)	54.9	8
Hor. 4	1	1669.2 (242.1)	2045.7 (296.7)	10.3	45.1	29.0 (21.4)	74.5 (67.8)		
	2	1675.4 (243.0)	2082.2 (302.0)	9.9	43.9	28.5 (21.0)	77.0 (70.1)		
	Prom.	1672 (242.5)	2063.6 (299.3)	10.1	44.5	28.7 (21.2)	75.8 (69.0)	55.0	8
Hor. A	1	1678.9 (243.5)	2078.1 (301.4)	10.3	44.7	18 (14.0)	77.8 (70.8)		
	2	1686.5 (244.6)	2078.8 (301.5)	10.2	40.6	21.0 (15.5)	77.1 (70.2)		
	Prom.	1682.3 (244.0)	2078.1 (301.4)	10.3	42.6	20.1 (14.8)	77.5 (70.5)	55.7	7
Hor. B	1	1686.5 (244.6)	2086.4 (302.6)	7.9	35.4	23.0 (17.0)	55.2 (50.2)		

ES 2 595 484 T3

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
	2	1677.5 (243.3)	2082.2 (302.0)	10.4	44.4	23.2 (17.1)	54.9 (50.0)		
	Prom.	1682.3 (244.0)	2084.3 (302.3)	9.2	39.9	23.2 (17.1)	55.0 (50.1)	54.3	8.5

Tabla 2B

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 1	1	1661.6 (241.0)	2065 (299.5)	10.7	45.7	29.6 (21.8)	82.8 (75.4)		
	2	1663.7	2067.0	10.5	44.6	29.4	83.1		
		-241.3	-299.8			-21.7	-75.6		
	Prom.	1663.0 (241.2)	2065.7 (299.6)	10.6	45.1	29.6 (21.8)	83 (75.5)	55.0	8
Hor. 2	1	1679.6 (243.6)	2089.8 (303.1)	10.9	46.3	28.6 (21.1)	86.6 (78.8)		
	2	1676.8 (243.2)	2091.2 (301.3)	10.7	47.5	30.8 (22.7)	83.5 (76.0)		
	Prom.	1678.2 (243.4)	2083.6 (302.2)	10.8	46.9	29.7 (21.9)	85.0 (77.4)	54.7	9
Hor.3	1	1683.7 (244.2)	2091.2 (303.3)	10.5	46.5	26.8 (19.8)	73.2 (66.6)		
	2	1682.3 (244.0)	2088.4 (302.9)	10.9	46.7	28.2 (20.8)	81 (73.7)		
	Prom.	1683.0 (244.1)	2089.8 (303.1)	10.7	46.6	27.5 (20.3)	77.1 (70.2)	54.9	9
Hor.4	1	1678.9 (243.5)	2090.5 (303.2)	11.2	50.3	29.2 (21.5)	76.1 (69.3)		
	2	1659.6 (240.7)	2066.4 (299.7)	11.4	51.0	29.0 (21.4)	79.0 (71.9)		
	Prom.	1669.7 (242.1)	2078.8 (301.5)	11.3	50.6	29.2 (21.5)	77.6 (70.6)	54.9	9
Hor. A	1	1632 (236.7)	2053.9 (297.9)	10.4	44.8	22.6 (16.7)	83.5 (76.0)		
	2	1647.8 (239.0)	2072.6 (300.6)	12.5	47.6	21.6 (15.9)	84.8 (77.2)		
	Prom.	1639.6 (237.8)	2063.6 (299.3)	11.5	46.2	22.1 (16.3)	84.2 (76.6)	55.0	5
Hor. B	1	1671 (242.5)	2085 (302.4)	10.4	44.2	23.3 (17.2)	60.8 (55.3)		
	2	1672.7 (242.6)	2088.4 (302.9)	11.5	48.2	24.3 (17.9)	57.4 (52.2)		
	Prom.	1671 (242.5)	2086.4 (302.6)	11.0	46.2	23.9 (17.6)	59.1 (53.8)	54.9	6

Ejemplo 2

- 5 Las composiciones en porcentaje en peso se establecen en la Tabla 3 de cuatro hornadas adicionales de 15.9-kg (35-lb.) que fueron fusionadas por inducción al vacío y moldeadas de la misma forma como las hornadas descritas en el Ejemplo 1 anteriormente.

Tabla 3

	Calor 5	Calor 6	Calor 7	Calor 8	Calor A
C	0.35	0.41	0.36	0.41	0.36
Mn	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
Si	2.04	2.08	1.97	2.06	2.03
P	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
S	0.00	<0.0005	0.0006	<0.0005	<0.0005
Cr	1.75	1.73	1.75	1.74	1.75
Ni	3.19	4.72	3.20	4.70	3.23
Mo	0.78	0.77	0.78	0.77	0.78
Cu	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79
V	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Y	0.00	0.0080	0.0130	0.0200	- - -
Ca	0.00	0.0006	0.0006	0.0006	0.0016

5 El balance de cada hornada fue hierro e impurezas usuales. Las Hornadas 5 a 8 son realizaciones de la aleación de acuerdo con la presente invención. La Hornada A es la hornada comparativa. Las Hornadas 5-8 difieren de la Hornada A con respecto a las cantidades retenidas de itrio.

10 Se procesaron y probaron las Hornadas 5-8 y A similarmente a las hornadas en el ejemplo 1. Se establecieron los resultados en las Tablas 4A y 4B de la prueba mecánica de temperatura ambiente de las muestras duplicadas de cada hornada que incluye el 0.2% de resistencia de rendimiento de compensación (Y.S.) y la resistencia a la tensión final (U.T.S.) en MPa (ksi), la elongación porcentual (%El.), la reducción porcentual en área (%R.A.), el impacto de energía en muesca Charpy V (CVN) en Julios (J) (pie-libras (ft.-lbs.)), la tenacidad a la fractura de carga de paso ascendente (K_{Ic}) en $MPa\sqrt{m}$ ($ksi\sqrt{in}$), y la escala de dureza Rockwell C (HRC). Las muestras evaluadas metalográficamente también se examinaron por tamaño de grano y número de tamaño de grano de ASTM para cada hornada, también se muestran en la Tabla 3. La Tabla 4A contiene los resultados de las muestras de un Tratamiento con Calor A y la Tabla 4B contiene los resultados de las muestras de un Tratamiento con Calor B.

15 Tabla 4A

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K_{Ic}	HRC	Tamaño de Grano
Hor.5	1	1640.9 (238.0)	2049.8 (297.3)	12.2	46.7	24.9 (18.4)	86.6 (78.8)		
	2	1641.6 (238.1)	2041.5 (296.1)	10.6	37.5	24.8 (18.3)	87.9 (80.0)		
	Prom.	1640.9 (238.0)	2045.7 (296.7)	11.4	42.1	24.9 (18.4)	81.2 (79.4)	54.1	8
Hor.6	1	1623.0 (235.4)	2020.2 (293.0)	11.2	47.3	25.6 (18.9)	84.9 (77.3)		
	2	---1	---1	---1	---1	22.1 (16.3)	88.7 (80.7)		
	Prom.	1623.0 (235.4)	2020.2 (293.0)	11.2	47.3	23.9 (17.6)	86.8 (79.0)	53.4	7

ES 2 595 484 T3

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 7	1	1651.3 (239.5)	2056.0 (298.2)	11.6	47.0	23.7 (17.5)	82.6 (75.2)		
	2	1660.9 (240.9)	2053.9 (297.9)	10.5	43.9	21.8 (16.1)	82.8 (75.4)		
	Prom.	1656.1 (240.2)	2054.6 (298.0)	11.1	45.4	22.8 (16.8)	82.7 (75.3)	54.2	7
Hor.8	1	1589.7 (230.5)	2009.1 (291.4)	10.3	43.0	22.5 (16.6)	80.9 (73.6)		
	2	1612.7 (233.9)	2028.4 (294.2)	11.2	45.4	23.6 (17.4)	83.3 (75.8)		
	Prom.	1600 (232.2)	2018.8 (292.8)	10.8	44.2	23.0 (17.0)	82.1 (74.7)	53.5	7
Hor. A	1	1678.9 (243.5)	2078.1 (301.4)	10.3	44.7	19 (14.0)	77.8 (70.8)		
	2	1686.5 (244.6)	2078.8 (301.5)	10.2	40.6	21.0 (15.5)	77.1 (70.2)		
	Prom.	1682.3 (244.0)	2078.1 (301.4)	10.3	42.6	20.1 (14.8)	77.5 (70.5)	55.7	7

Resultados de la prueba de tensión no son válidos debido al espécimen defectuoso.

Tabla 4B

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 5	1	1632 (236.7)	2053.3 (297.8)	10.4	39.2	23.6 (17.4)	---		
	2	1636.8 (237.4)	2049.1 (297.2)	11.0	47.2	25.5 (18.8)	92.3 (84.0)		
	Prom.	1634.7 (237.1)	2051.2 (297.5)	10.7	43.2	24.5 (18.1)	92.3 (84.0)	54.2	7
Hor.6	1	1608.5 (233.3)	2019.5 (292.9)	12.3	50.2	22.6 (16.7)	88.9 (80.9)		
	2	1616.1 (234.4)	2015.3 (292.3)	10.9	46.3	22.6 (16.7)	88.5 (80.5)		
	Prom.	1612 (233.8)	2017.4 (292.6)	11.6	48.3	22.6 (16.7)	88.7 (80.7)	53.6	7
Hor. 7	1	1648.5 (239.1)	2059.5 (298.7)	11.7	42.6	24.5 (18.1)	83.4 (75.9)		
	2	1658.9 (240.6)	2065 (299.5)	10.9	47.4	25.4 (18.7)	83.9 (76.4)		
	Prom.	1654.1 (239.9)	2062.2 (299.1)	11.3	45.0	24.9 (18.4)	83.7 (76.2)	54.7	7
Hor. 8	1	1632 (236.7)	2041.5 (296.1)	11.7	50.1	23.0 (17.0)	86.3 (78.5)		
	2	1632 (236.7)	2042.9 (296.3)	11.8	47.0	22.1 (16.3)	84.8 (77.2)		

ES 2 595 484 T3

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 8	Prom.	1632 (236.7)	2042.2 (296.2)	11.8	48.6	22.6 (16.7)	85.6 (77.9)	54.2	6
Hor. A	1	1632 (236.7)	2053.9 (297.9)	10.4	44.8	22.6 (16.7)	83.5 (76.0)		
	2	1647.8 (239.0)	2072.6 (300.6)	12.5	47.6	21.6 (15.9)	84.8 (77.2)		
	Prom.	1639.6 (237.8)	2063.6 (299.3)	11.5	46.2	22.1 (16.3)	84.2 (76.6)	55.0	5

Ejemplo 3

5 Con el fin de demostrar la combinación novedosa de resistencia y dureza proporcionada por la aleación de acuerdo con esta invención, se fusionaron por inducción en vacío seis hornadas adicionales de 15.9-kg (35-lb.) que tienen las composiciones en porcentaje en peso establecidas en la Tabla 5 abajo y moldeadas en lingotes cuadrados de 4-pulgadas. Se procesaron las hornadas similar a las Hornadas 1-4, A, y B durante la fusión.

Tabla 5

	Hornada 9	Hornada 10	Hornada 11	Hornada 12	Hornada 13	Hornada C
C	0.41	0.41	0.41	0.42	0.41	0.40
Mn	1.17	1.18	1.18	1.18	1.2	1.18
Si	2.07	2.08	2.04	2.11	2.05	2.04
P	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
S	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Cr	1.75	1.74	1.75	1.74	1.74	1.74
Ni	4.68	4.70	4.69	4.71	4.70	4.71
Mo	0.76	0.77	0.77	0.77	0.76	0.77
Cu	0.79	0.79	0.79	0.79	0.81	0.79
V	0.19	0.19	0.19	0.19	0.17	0.19
Mg	0.0001	0.0007	0.0020	0.0050	0.0080	---
Ca	0.0011	0.0012	0.0014	0.0009	0.0008	0.0018

10 El balance de cada hornada fue hierro e impurezas usuales. Las hornadas 9 a 13 son realizaciones de la aleación de acuerdo con la presente invención. La Hornada C es una hornada comparativa. Las Hornadas 9-13 difieren de la Hornada C con respecto a las cantidades de magnesio retenidas.

15 Se procesaron y probaron las Hornadas 9-13 y C similarmente a las hornadas en el ejemplo 1. Se establecieron los resultados en las Tablas 6A y 6B de la prueba mecánica de temperatura ambiente de las muestras duplicadas de cada hornada que incluye el 0.2% de resistencia de rendimiento de compensación (Y.S.) y la resistencia a la tensión final (U.T.S.) en MPa (ksi), la elongación porcentual (%El.), la reducción porcentual en área (%R.A.), el impacto de energía en muesca Charpy V (CVN) en Julios (J) (pie-libras (ft.-lbs.)), la tenacidad a la fractura de carga de paso ascendente (K_{IC}) en MPa√m (ksi√in), y la escala de dureza Rockwell C (HRC). Las muestras evaluadas metalográficamente también se examinaron por tamaño de grano y número de tamaño de grano de ASTM para cada hornada, también se muestran en las Tablas 6A y 6B. La Tabla 6A contiene los resultados de las muestras de un Tratamiento con Calor A y la Tabla 6B contiene los resultados de las muestras de un Tratamiento con Calor B.

20

ES 2 595 484 T3

Tabla 6A

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 9	1	1767.8 (256.4)	2200.1 (319.1)	10.8	45.4	26.7 (19.7)	56.9 (51.8)		
	2	1791.9 (259.9)	2209.1 (320.4)	9.4	45.4	22.6 (16.7)	61.2 (55.7)		
	Prom.	1779.5 (258.1)	2204.3 (319.7)	10.1	45.4	24.7 (18.2)	59.1 (53.8)	56.1	9
Hor. 10	1	1767.8 (256.4)	2191.2 (317.8)	9.8	37.0	27.3 (20.1)	57.5 (52.3)		
	2	1772 (257.0)	2178.7 (316.0)	10.0	41.8	26.0 (19.2)	59.8 (54.4)		
	Prom.	1769.9 (256.7)	2184.9 (316.9)	9.9	39.4	26.7 (19.7)	58.7 (53.4)	56.0	9
Hor. 11	1	1725.8 (250.3)	2162.2 (313.6)	10.3	42.5	27.1 (20.0)	59.1 (53.8)		
	2	1766.4 (256.2)	2175.3 (315.5)	10.3	46.1	27.8 (20.5)	57.6 (52.4)		
	Prom.	1745.8 (253.2)	2168.4 (314.5)	10.3	44.3	27.5 (20.3)	58.3 (53.1)	55.7	9
Hor. 12	1	1767.8 (256.4)	2199.4 (319.0)	10.5	44.4	27.3 (20.1)	54.1 (49.2)		
	2	1741.6 (252.6)	2177.4 (315.8)	10.2	41.4	26.3 (19.4)	56.7 (51.6)		
	Prom.	1754.7 (254.5)	2188.4 (317.4)	10.4	42.9	26.8 (19.8)	55.4 (50.4)	55.7	9
Hor. 13	1	1748.5 (253.6)	2173.9 (315.3)	10.8	47.6	23.1 (17.3)	51.6 (47.0)		
	2	1764.4 (255.9)	2184.9 (316.9)	9.5	40.4	20.5 (15.10)	51.2 (46.6)		

ES 2 595 484 T3

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 13	Prom.	1756.1 (254.7)	2179.4 (316.1)	10.2	44.0	22 (16.2)	51.4 (46.8)	55.7	9.5
Hor. C	1	1749.2 (253.7)	2169.1 (314.6)	10.3	42.6	17.5 (12.9)	57.5 (52.3)		
	2	1768.5 (256.5)	2184.9 (316.9)	10.2	44.4	18.0 (13.3)	56.7 (51.6)		
	Prom.	1758.9 (255.1)	2176.7 (315.7)	10.3	43.5	17.8 (13.1)	57.1 (52.0)	56.8	8

Tabla 6B

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 9	1	1724.4 (250.1)	2144.3 (311.0)	10.3	44.2	23.5 (17.3)	64.9 (59.1)		
	2	1713.3 (248.5)	2162.2 (313.6)	11.1	45.4	26.3 (19.4)	59.7 (54.3)		
	Prom.	1718.9 (249.3)	2153.2 (312.3)	10.7	44.8	24.9 (18.4)	62.3 (56.7)	56.0	9
Hor. 10	1	1736.1 (251.80)	2171.8 (315.0)	11.4	47.8	29.6 (21.8)	66.8 (60.8)		
	2	1734.7 (251.6)	2166.3 (314.2)	10.7	47.2	26.7 (19.7)	62.4 (56.8)		
	Prom.	1735.4 (251.70)	2169.1 (314.6)	11.1	47.5	28.2 (20.8)	64.6 (58.8)	56.2	8
Hor. 11	1	1732.7 (251.3)	2169.1 (314.6)	10.9	47.2	28.2 (20.8)	66.5 (60.5)		
	2	---	---	---	---	29.3 (21.6)	64.3 (58.5)		
	Prom.	1732.7 (251.3)	2169.1 (314.6)	10.9	47.2	28.7 (21.2)	65.4 (59.5)	55.7	8
Hor. 12	1	1740.9 (252.5)	2187.7 (317.3)	11.5	47.0	22.9 (16.9)	63.1 (57.4)		
	2	1747.8 (253.5)	2185.6 (317.0)	9.6	42.6	28.6 (21.1)	64.8 (59.0)		
	Prom.	1744.4 (253.0)	2187.0 (317.2)	10.5	44.8	25.8 (19.0)	64 (58.2)	56.1	9
Hor. 13	1	1739.5 (252.3)	2171.8 (315.0)	12.0	50.2	26.3 (19.4)	54.9 (50.0)		

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 13	2	1721.6 (249.7)	2167.7 (314.4)	11.3	47.7	26.2 (19.3)	56.6 (51.5)		
	Prom.	1730.6 (251.0)	2169.8 (314.7)	11.7	48.9	26.3 (19.4)	55.8 (50.8)	56.4	9
Hor. C	1	1736.1 (250.8)	2162.2 (313.6)	9.5	37.8	19.3 (14.2)	64.2 (58.4)		
	2	1738.2 (252.1)	2169.8 (314.7)	11.3	47.3	19.9 (14.7)	62.2 (56.6)		
	Prom.	1734.0 (251.5)	2166.3 (314.2)	10.4	42.6	19.7 (14.5)	63.2 (57.5)	55.8	6

¹ Prueba de tensión realizada en únicamente un espécimen para esta hornada y tratamiento con calor.

Ejemplo 4

Se establecen en la Tabla 7 las composiciones en porcentaje en peso de cuatro hornadas adicionales de 15.9-kg (35-lb.) que fueron fusionadas por inducción en vacío y moldeadas de la misma forma como las hornadas descritas en el ejemplo 1 anteriormente.

5

Tabla 7

	Hornada 14	Hornada 15	Hornada 16	Hornada 17	Hornada C
C	0.41	0.41	0.42	0.40	0.40
Mn	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
Si	2.08	2.08	1.98	2.06	2.04
P	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
S	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Cr	1.74	1.73	1.74	1.74	1.74
Ni	4.68	4.72	4.67	4.70	4.71
Mo	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
Cu	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
V	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Y	0.0030	0.0080	0.0130	0.0200	---
Ca	0.0012	0.0006	0.0008	0.0006	0.0018

El balance de cada hornada fue hierro e impurezas usuales. Las Hornadas 14 a 17 son realizaciones de la aleación de acuerdo con la presente invención. La Hornada C es la hornada comparativa. Las Hornadas 14-17 difieren de la Hornada C con respecto a las cantidades de itrio retenidas.

10

Se procesaron y probaron las Hornadas 14-17 y C similarmente a las hornadas en el ejemplo 1. Se establecieron los resultados en las Tablas 8A y de la prueba mecánica de temperatura ambiente de las muestras duplicadas de cada hornada que incluye el 0.2% de resistencia de rendimiento de compensación (Y.S.) y la resistencia a la tensión final (U.T.S.) en MPa (ksi), la elongación porcentual (%El.), la reducción porcentual en área (%R.A.), el impacto de energía en muesca Charpy V (CVN) en Julios (J) (pie-libras (ft.-lbs.)), la tenacidad a la fractura de carga de paso ascendente (K_{IC}) en MPa√m (ksi√in), y la escala de dureza Rockwell C (HRC). Las muestras evaluadas metalográficamente también se examinaron por tamaño de grano y número de tamaño de grano de ASTM para cada hornada, también se muestran en las Tablas 8A y 8B. La Tabla 8A contiene los resultados de las muestras de un Tratamiento con Calor A y la Tabla 8B contiene los resultados de las muestras de un Tratamiento con Calor B.

15

20

ES 2 595 484 T3

Tabla 8A

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 14	1	1754.0 (254.4)	2171.8 (315.0)	9.7	40.4	24.8 (18.3)	71.6 (65.2)		
	2	1760.9 (255.4)	2167.0 (314.3)	10.0	43.7	22.4 (16.5)	64 (58.2)		
	Prom.	1757.5 (254.9)	2169.1 (314.6)	9.9	42.0	23.6 (17.4)	67.8 (61.7)	56.1	9
Hor. 15	1	1761.6 (255.5)	2171.2 (314.9)	10.6	45.6	20.6 (15.2)	63.8 (58.1)		
	2	1748.5 (253.6)	2160.1 (313.3)	9.8	43.2	22.2 (16.4)	60.5 (55.1)		
	Prom.	1755.4 (254.6)	2165.6 (314.1)	10.2	44.4	21.4 (15.8)	62.2 (56.6)	55.9	10
Hor. 16	1	1785.1 (258.9)	2193.9 (318.2)	10.8	42.7	19.1 (14.1)	62.4 (56.8)		
	2	1766.2 (256.2)	2178.1 (315.9)	10.8	42.7	18.8 (13.9)	58.5 (53.2)		
	Prom.	1776.1 (257.6)	2186.3 (317.1)	10.8	42.7	19 (14.0)	60.4 (55.0)	56.2	10
Hor. 17	1	1749.2 (253.7)	2151.2 (312.0)	10.0	42.9	26.7 (19.7)	69.7 (63.4)		
	2	1758.9 (255.1)	2159.4 (313.2)	10.3	48.5	27 (19.9)	62.2 (56.6)		
	Prom.	1754.0 (254.4)	2155.3 (312.6)	10.2	45.7	26.8 (19.8)	65.9 (60.0)	55.7	9
Hor. C	1	1749.2 (253.7)	2169.1 (314.6)	10.3	42.6	17.5 (12.9)	57.5 (52.3)		
	2	1758.5 (256.5)	2184.9 (316.9)	10.2	44.4	18.0 (13.3)	56.7 (51.6)		
	Prom.	1758.9 (255.1)	2176.7 (315.7)	10.3	43.5	17.8 (13.1)	57.1 (52.0)	55.8	8

Tabla 8B

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	K _{IC}	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 14	1	1743 (252.8)	2169.8 (314.7)	11.6	47.8	26.8 (19.8)	64.3 (58.5)		
	2	1743 (252.8)	2167.0 (314.3)	10.3	45.1	24.5 (18.1)	64.2 (58.4)		
	Prom.	1743 (252.8)	2168.4 (314.5)	10.9	46.4	25.8 (19.0)	64.3 (58.5)	55.3	7
Hor. 15	1	1743.7 (252.9)	2169.8 (314.7)	10.3	43.0	29.2 (21.5)	60.1 (54.7)		

ES 2 595 484 T3

Hornada ID	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% El.	%R.A.	CVN	KIc	HRC	Tamaño de Grano
Hor. 15	2	1754.0 (254.4)	2169.8 (314.7)	10.9	43.8	29.0 (21.4)	65.8 (59.9)		
	Prom.	1748.5 (253.6)	2169.8 (314.7)	10.6	43.4	29.2 (21.5)	63 (57.3)	53.7	7
Hor. 16	1	1756.1 (254.7)	2184.3 (316.8)	10.6	45.1	19.5 (14.4)	60.5 (55.1)		
	2	1762.3 (255.6)	2180.1 (316.2)	10.6	48.0	24 (17.7)	60.8 (55.3)		
	Prom.	1758.9 (255.1)	2182.2 (316.5)	10.6	46.5	21.8 (16.1)	60.7 (55.2)	55.9	7
Hor. 17	1	1749.2 (253.7)	2165.6 (314.1)	10.8	47.4	27.8 (20.5)	67.5 (61.4)		
	2	1746.4 (253.3)	2162.9 (313.7)	10.9	46.2	26.7 (19.7)	68.8 (62.6)		
	Prom.	1747.8 (253.5)	2164.3 (313.9)	10.9	46.8	27.3 (20.1)	68.1 (62.0)	55.9	9
Hor. C	1	1729.2 (250.8)	2162.2 (313.6)	9.5	37.8	19.3 (14.2)	64.2 (58.4)		
	2	1738.2 (252.1)	2169.8 (314.7)	11.3	47.3	19.9 (14.7)	62.2 (56.60)		
	Prom.	1734.0 (251.5)	2166.3 (314.2)	10.4	42.6	19.7 (14.5)	63.2 (57.5)	55.8	6

Los datos presentados en los ejemplos 1 a 4 muestran que las hornadas de la aleación de acuerdo con la presente invención proporcionar combinaciones significativamente mejores de resistencia y dureza que las hornadas comparativas que representan las aleaciones conocidas.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación de acero que consiste en, en porcentaje en peso:

	C	0.33-0.50
	Mn	0.8-1.3
5	Si	1.5-2.7
	Cr	1.5-1.8
	Ni	3.0-5.0
	Mo + ½ W	0.40-0.90
	Cu	0.35-1.2
10	Co	0.01 máx.
	V + (5/9) x Nb	0.10-0.40
	Ti	0.01 máx.
	Al	0.015 máx.
	Ca	0.005 máx.

15 un elemento de grano de refinación seleccionado del grupo que consiste en 0.0001-0.008% de Mg, 0.001-0.025% de Y, y

una combinación de los mismos; y el balance que es hierro e impurezas usuales en el que fósforo está restringido a 0.01% máx. Y el azufre está restringido a no más de 0.001% máx., y en el que

$$14.5 \leq (\%Si + \%Cu) / (\%V + (5/9) \times \%Nb) \leq 34.$$

20 2. La aleación establecida en la reivindicación 1 en la que la aleación contiene al menos 0.002% de itrio.

3. La aleación establecida en la reivindicación 2 en la que la aleación contiene no más de 0.020% de itrio.

4. La aleación establecida en la reivindicación 1 en la que la aleación contiene no más de 0.006% de magnesio.

5. La aleación establecida en la reivindicación 1 en la que la aleación contiene no más de 0.002% de calcio

6. La aleación establecida en la reivindicación 1 en la que V + (5/9) x Nb es al menos 0.25%.

25 7. La aleación de acero como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones que contiene 0.33-0.45% de C, 3.0-4.5% de Ni, 0.5-0.90% de Mo+ ½ W, 0.35-1.2% de Cu, 0.005% máx. De Ti, y un elemento de grano de refinación seleccionado del grupo que consiste en 0.0001-0.006% de Mg, 0.002-0.025% de Y, y una combinación de los mismos.

30 8. La aleación de acero como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones que contiene 0.40-0.50% de C, 4.0-5.0% de Ni, 0.005% máx. De Ti, y un elemento de grano de refinación seleccionado del grupo que consiste en 0.0001-0.008% de Mg, 0.002-0.020% de Y, y una combinación de los mismos.

35 9. un artículo de acero endurecido y revenido hecho de la aleación de acero como se estableció en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en la que el artículo tiene una resistencia a la tensión de al menos 2.034 GPa (295 ksi) y un impacto de energía en muesca Charpy V de al menos 20 J (15 ft-lbs) después del temple desde una temperatura de 863°C a 946°C (1585°F a 1735°F) y después revenido a una temperatura de 260°C a 316°C (500°F a 600°F).

10. Un artículo de acero endurecido y revenido como se estableció la reivindicación 9 que tiene una tenacidad a la fractura K_{IC} de al menos 76.9 MPa√m (70 ksi√in).

40 11. El artículo de acero endurecido y revenido como se reivindicó en la reivindicación 9 en el que el artículo tiene una resistencia a la tensión de al menos 2.137 GPa (310 ksi) y una tenacidad a la fractura K_{IC} de al menos 54.9 MPa√m (50 ksi√in).