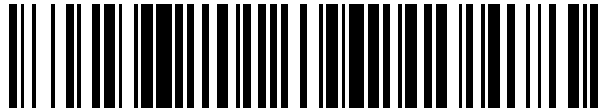


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 530 503**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/42** (2006.01)

**C22C 38/44** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2012 E 12703212 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.12.2014 EP 2668306**

54 Título: **Aleación de acero de tenacidad elevada y de resistencia elevada**

30 Prioridad:

**28.01.2011 US 201113016606**

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

**03.03.2015**

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 2 530 503 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 tenacidad elevada y de resistencia elevada

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a aleaciones de acero de tenacidad elevada, de resistencia elevada, y en particular, a una aleación tal que se puede templar a una temperatura equitativamente más elevada sin pérdida significativa de resistencia a la tracción. La invención también se refiere a un artículo de acero templado, de tenacidad elevada, de resistencia elevada.

Descripción de la técnica relacionada

10 Se conocen aceros martensíticos endurecibles con el tiempo que proporcionan una combinación de resistencia y tenacidad a la fractura muy elevada. Entre los aceros conocidos se encuentran los que se describen en la Patente de Estados Unidos Nº 4.076.525 y en la Patente de Estados Unidos Nº 5.087.415. El primero se conoce como aleación AF1410 y el último se comercializa con la marca comercial registrada AERMET. La combinación de resistencia y tenacidad muy elevada proporcionada por esas alteraciones es el resultado de sus composiciones e incluyen cantidades significativas de níquel, cobalto, y molibdeno, elementos que por lo general se encuentran entre los elementos para aleación más caros disponibles. En consecuencia, esos aceros se comercializan con un recargo significativo en comparación con otras aleaciones que no contienen tales elementos.

Más recientemente, se ha desarrollado una aleación de acero que proporciona una combinación de resistencia elevada y tenacidad elevada sin la necesidad de adiciones de aleación tales como cobalto y molibdeno. Uno de tales aceros se describe en la Patente de Estados Unidos Nº 7.067.019. El acero que se describe en esa patente es un acero de CuNiCr que se endurece al aire que no presenta cobalto ni molibdeno. En el ensayo, se ha mostrado que la aleación que se describe en la patente '019 proporciona una resistencia a la tracción de aproximadamente 1930 MPa (280 ksi) junto con una tenacidad a la fractura de aproximadamente 99 MPa√m (90 ksi√in). La aleación se endurece y se temple para conseguir esa combinación de resistencia y tenacidad. La temperatura de templado está limitada a una temperatura no superior a aproximadamente 204 °C (400 °F) para evitar el ablandamiento de la aleación y una correspondiente pérdida de resistencia.

La aleación que se describe en la patente '019 no es un acero inoxidable y por lo tanto, se debe revestir para resistir la corrosión. Las especificaciones del material para aplicaciones aeroespaciales de la aviación requieren que la aleación se caliente a 191 °C (375 °F) durante al menos 23 horas después de su revestimiento con el fin de eliminar el hidrógeno adsorbido durante el proceso de revestimiento. El hidrógeno se debe eliminar porque conduce a la fragilidad de la aleación y afecta de forma adversa a la tenacidad proporcionada por la aleación. Dado que esta aleación se temple a 204 °C (400 °F), el tratamiento térmico de 23 horas a 191 °C (375 °F) después del revestimiento da como resultado un sobretemplado de las partes hechas con la aleación de modo que no se puede proporcionar una resistencia a la tracción de al menos 1930 MPa (280 ksi). Sería deseable tener una aleación de CuNiCr que se pudiera endurecer y templar para proporcionar una resistencia a la tracción de al menos 1930 MPa (280 ksi) y una tenacidad a la fractura de aproximadamente 99 MPa√m (90 ksi√in), y que mantuviera la combinación de resistencia y tenacidad cuando se calienta aproximadamente 191 °C (375 °F) durante al menos 23 horas, después de su endurecimiento y templado.

El documento de patente US 20100018613 propone una aleación de acero de tenacidad elevada y de resistencia elevada, que tiene la siguiente composición general de porcentaje en peso: C 0,35-0,55, Mn 0,6-1,2, Si 0,9-2,5, P 0,01 máx., S 0,001 máx., Cr 0,75-2,0, Ni 3,5-7,0, Mo + 1/2 W 0,4-1,3, Cu 0,5-0,6, Co 0,01 máx., V + (5/9) x Nb 0,2-1,0, resto Fe.

Sumario de la invención

45 Las desventajas de las aleaciones conocidas tal como se ha descrito anteriormente se resuelven en una gran medida mediante una aleación de acuerdo con la presente invención. De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona una aleación de acero de tenacidad elevada y de resistencia elevada, que tiene las siguientes composiciones generales y preferentes de porcentaje en peso.

Elemento	General	B Preferente	C Preferente
C	0,30 - 0,47	0,30-0,40	0,40-0,47
Mn	0,8 - 1,3	0,8-1,3	0,8-1,3

## ES 2 530 503 T3

Elemento	General	B Preferente	C Preferente
Si	1,5 - 2,5	1,5-2,5	1,5-2,5
Cr	1,5 - 2,5	1,5-2,5	1,5-2,5
Ni	3,0 - 5,0	3,0-4,5	4,0-5,0
Mo + ½ W	0,7 - 0,9	0,7-0,9	0,7-0,9
Cu	0,70 - 0,90	0,70-0,90	0,70-0,90
Co	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.
V + (5/9) x Nb	0,10 - 1,0	0,10-0,25	0,10-0,25
Ti	0,01 máx.	0,005 máx.	0,005 máx.
Al	0,015 máx.	0,015 máx.	0,015 máx.
Fe	Resto	Resto	Resto

5 En el resto se incluyen las impurezas habituales encontradas en calidades comerciales de aleaciones de acero producidas para uso y propiedades similares. Entre dichas impurezas, el fósforo se limita preferentemente hasta un contenido no superior a un 0,01 % y el azufre se limita preferentemente hasta un contenido no superior a un 0,001 %. Dentro de los intervalos de porcentaje de peso mencionados anteriormente, silicio, cobre, y vanadio se equilibran de modo que

$$14,5 \leq (\% \text{ de Si} + \% \text{ de Cu}) / (\% \text{ de V} + (5/9) \times \% \text{ de Nb}) \leq 34.$$

10 En la tabulación anterior, se puede usar uno o más de los intervalos con uno o más de los otros intervalos para los elementos restantes. Además, se puede usar un mínimo o un máximo para un elemento de una composición general o preferente con el mínimo o el máximo para el mismo elemento en otra composición preferente o intermedia. Aquí y a través de toda la presente memoria descriptiva el término "porcentaje" o el símbolo "%" se refiere a porcentaje en peso o porcentaje en masa, a menos que se especifique de otro modo.

15 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un artículo de aleación de acero endurecido y templado que tiene resistencia y tenacidad a la fractura muy elevadas. El artículo se forma a partir de una aleación que tiene la composición de porcentaje de peso general o preferente que se ha expuesto anteriormente. El artículo de aleación de acuerdo con este aspecto de la invención se caracteriza adicionalmente porque se temple a una temperatura de 260 °C (500 °F) a 316 °C (600 °F).

### Descripción detallada

20 La aleación de acuerdo con la presente invención contiene al menos un 0,30 % y preferentemente al menos un 0,32 % de carbono. El carbono contribuye a la capacidad de resistencia elevada y dureza proporcionada por la aleación. Cuando se desean resistencia y dureza más elevadas, la aleación contiene preferentemente al menos un 0,40 % de carbono (por ejemplo, C Preferente). El carbono también es beneficioso para la resistencia al templado de esta aleación. Demasiado carbono afecta de forma adversa a la tenacidad proporcionada por la aleación. Por lo tanto, carbono se limita a una cantidad no superior a un 0,47 %. El inventor ha encontrado que cuando la aleación contiene una cantidad tan pequeña como un 0,30 % de carbono, el límite superior para el carbono se puede limitar hasta una cantidad no superior a un 0,40 % y la aleación se puede equilibrar con respecto a sus componentes (por ejemplo, B Preferente) para proporcionar una resistencia a la tracción de al menos 2000 MPa (290 ksi).

30 Al menos está presente un 0,8 % de en esta aleación, principalmente para desoxidar la aleación. Se ha encontrado que el manganeso también beneficia la resistencia elevada proporcionada por la aleación. Por lo tanto, cuando se desea una resistencia más elevada, la aleación contiene al menos un 1,0 % de manganeso. Si está presente demasiado manganeso, entonces puede aparecer una cantidad indeseable de austenita retenida durante el endurecimiento y la inactivación de modo que la resistencia elevada proporcionada por la aleación se vea afectada de forma adversa. Por lo tanto, la aleación contiene hasta un 1,3 % de manganeso. Por otro lado, la aleación contiene una cantidad no superior a un 1,2 % o no superior a un 0,9 % de manganeso.

35 El silicio beneficia la capacidad de endurecimiento y la resistencia al templado de esta aleación. Al menos un 1,5 % y preferentemente al menos un 1,9 % de silicio está presente en la aleación para proporcionar una dureza y resistencia más elevadas. Demasiado silicio afecta de forma adversa a la dureza, resistencia, y ductilidad de la aleación. Con el fin de evitar tales efectos adversos, el silicio se limita a una cantidad no superior a un 2,5 % y

## ES 2 530 503 T3

preferentemente a una cantidad no superior a un 2,2 % o un 2,1 % en esta aleación.

El cromo contribuye a la buena capacidad de endurecimiento, resistencia elevada, y resistencia al temple proporcionadas por la aleación. Se puede proporcionar una resistencia elevada cuando la aleación contiene al menos un 1,5 % y preferentemente al menos un 1,7 % de cromo. Más de un 2,5 % de cromo en la aleación afecta de forma adversa a la resistencia al impacto y ductilidad proporcionadas por la aleación. En las realizaciones de resistencia elevada de esta aleación, el cromo se limita preferentemente a una cantidad no superior a un 1,9 %.

El níquel es beneficioso para la buena tenacidad proporcionada por la aleación de acuerdo con la presente invención. Por lo tanto, la aleación contiene al menos un 3,0 % de níquel y preferentemente al menos un 3,1 % de níquel. Una realización preferente de la aleación contiene al menos un 3,7 % de níquel. Cuando la aleación se equilibra para proporcionar una resistencia más elevada, ésta contiene preferentemente al menos un 4,0 % y mejor incluso ha menos un 4,6 % de níquel. El beneficio proporcionado por cantidades más elevadas de níquel afecta de forma adversa al coste de la aleación sin proporcionar una ventaja significativa. Para la realización de resistencia más elevada de la aleación (por ejemplo, C Preferente), está presente hasta un 5,0 % de níquel, preferentemente hasta un 4,9 % de níquel. En realizaciones de resistencia menor (por ejemplo, B Preferente) la aleación no contiene más de un 4,5 % de níquel.

El molibdeno es un formador de carburo que es beneficioso para la resistencia al temple proporcionada por esta aleación. La presencia de molibdeno aumenta la temperatura de temple de la aleación de modo que se consigue un efecto de endurecimiento secundario a 260 °C (500 °F). El molibdeno también contribuye a la resistencia y tenacidad a la fractura proporcionadas por la aleación. Para resistencia elevada, la aleación contiene al menos un 0,7 % de molibdeno. Al igual que el níquel, el molibdeno no proporciona una ventaja creciente en las propiedades con respecto al aumento significativo del coste de añadir cantidades más elevadas de molibdeno. Por esta razón, la aleación contiene hasta un 0,9 % de molibdeno en las formas de resistencia más elevada de la aleación (B Preferente y C Preferente). El tungsteno se puede sustituir por una parte o todo el molibdeno en esta aleación. Cuando está presente, el tungsteno se sustituye por molibdeno en una base de 2:1.

El cobre contribuye a la capacidad de endurecimiento y resistencia al impacto de la aleación. Para la resistencia elevada, la aleación contiene al menos un 0,7 % de cobre. Demasiado cobre puede dar como resultado la precipitación de una cantidad indeseada de cobre libre en la matriz de la aleación y afectar de forma adversa a la tenacidad a la fractura de la aleación. Por lo tanto, en esta aleación está presente una cantidad no superior a un 0,9 % y preferentemente no superior a un 0,85 % de cobre.

El vanadio contribuye a la resistencia elevada y buena capacidad de endurecimiento de esta aleación. El vanadio también es un formador de carburo y estimula la formación de carburos que ayudan a proporcionar refinamiento de grano en la aleación y que benefician la resistencia al temple y endurecimiento secundario de la aleación. Por estas razones, la aleación contiene preferentemente al menos un 0,10 % y preferentemente al menos un 0,14 % de vanadio. Demasiado vanadio afecta de forma adversa a la resistencia de la aleación debido a la formación de cantidades más elevadas de carburos en la aleación lo que disminuye el carbono del material de la matriz de la aleación. En consecuencia, la aleación puede contener hasta un 1,0 % de vanadio, pero contiene preferentemente una cantidad no superior a un 0,35 % de vanadio. En las realizaciones de resistencia más elevada de la aleación (B Preferente y C Preferente), el vanadio se limita a una cantidad no superior a un 0,25 % y preferentemente no superior a un 0,22 %. El niobio se puede sustituir por una parte o todo el vanadio en esta aleación debido a que al igual que el vanadio, el niobio se combina con el carbono para formar carburos de tipo  $M_4C_3$  que benefician la resistencia al temple y la capacidad de endurecimiento de la aleación. Cuando está presente, el niobio se sustituye por vanadio en una base de 1,8:1.

Esta aleación también prevé contener una pequeña cantidad de calcio hasta un 0,005 % retenido a partir de adiciones durante la fusión de la aleación para ayudar a eliminar el azufre y por lo tanto beneficia la tenacidad a la fractura proporcionada por la aleación.

Silicio, cobre, vanadio, y cuando está presente, niobio se equilibran preferentemente dentro de sus intervalos de porcentaje en peso que se han descrito anteriormente para beneficiar la nueva combinación de resistencia y tenacidad que caracteriza a esta aleación. De forma más específica, la relación (% de Si + % de Cu)/(% de V + (5/9) x % de Nb) es de 14,5 a 34 para niveles de resistencia de 2000 MPa (290 ksi) y superiores. Se cree que cuando las cantidades de silicio, cobre, y vanadio presentes en la aleación se equilibran de acuerdo con la relación, los límites del grano de la aleación se fortalecen mediante la prevención de formación de fases frágiles y elementos residuales en los límites del grano.

El resto de la aleación es básicamente hierro y las impurezas habituales encontradas en calidades comerciales de aleaciones y aceros similares. A este respecto, la aleación contiene preferentemente una cantidad no superior a un 0,01 %, incluso mejor, no superior a un 0,005 % de fósforo y no superior a un 0,001 %, incluso mejor no superior a un 0,0005 % de azufre. La aleación contiene preferentemente una cantidad no superior a un 0,01 % de cobalto. El

## ES 2 530 503 T3

titanio puede estar presente a un nivel residual de hasta un 0,01 % a partir de adiciones de desoxidación durante la fusión y se limita preferentemente a una cantidad no superior a un 0,005 %. En la aleación puede estar presente hasta un 0,015 % de aluminio a partir de adiciones de desoxidación durante la fusión.

5 Las aleaciones de acuerdo con las composiciones B y C preferentes se equilibran para proporcionar resistencia y tenacidad muy elevadas en la condición endurecida y templada. A este respecto, la composición B Preferente se equilibra para proporcionar una resistencia a la tracción de al menos 2000 MPa (290 ksi) en combinación con buena tenacidad tal como se indica mediante una tenacidad a la fractura  $K_{Ic}$  de al menos 77 MPa $\sqrt{m}$  (70 ksi $\sqrt{in}$ ). Además, la composición C Preferente se equilibra para proporcionar una resistencia a la tracción de al menos 2140 MPa (310 ksi) en combinación con una tenacidad a la fractura  $K_{Ic}$  de al menos 55 MPa $\sqrt{m}$  (50 ksi $\sqrt{in}$ ) para aplicaciones  
10 que requieren resistencia más elevada y buena tenacidad.

No se necesitan técnicas de fusión especiales para preparar la aleación de acuerdo con la presente invención. La aleación se funde preferentemente por inducción al vacío (VIM) y, cuando se desea para aplicaciones críticas, se refina usando refusión por arco en vacío (VAR). La aleación también se puede fundir por arco en aire (ARC) si se desea. Después de la fusión ARC, la aleación se puede refinar mediante refusión por electroescoria (ESR) o VAR.

15 La aleación de la presente invención se trabaja preferentemente en caliente a partir de la temperatura de hasta 1149 °C (2100 °F), preferentemente a 982 °C (1800 °F), para formar diversas formas de producto intermedio tales como lingotes y barras. La aleación recibe preferentemente un tratamiento térmico mediante austenitización de 863 °C (1585 °F) a 946 °C (1735 °F) durante 1-2 horas. A continuación, la aleación se enfría al aire o se inactiva con aceite a partir de la temperatura de austenitización. Cuando se desea, la aleación puede experimentar un  
20 tratamiento térmico al vacío y se puede inactivar con gas. La aleación se ultracongela preferentemente a -73 °C (-100 °F) o -196 °C (-320 °F) durante 1-8 horas y a continuación se calienta en aire. La aleación se temple preferentemente a 260 °C (500 °F) durante 2-3 horas y a continuación se enfría al aire. La aleación se puede templar hasta 316 °C (600 °F) cuando no se requiere de una combinación óptima de resistencia y tenacidad.

25 La aleación de la presente invención es útil en una amplia gama de aplicaciones. La resistencia muy elevada y la buena tenacidad a la fractura de la aleación la convierten en útil para componentes de herramientas para máquinas y también en componentes estructurales para aviones, incluyendo tren de aterrizaje. La aleación de la presente invención también es útil para componentes de automoción que incluyen, pero no se limitan a, miembros estructurales, ejes de transmisión, muelles, y cigüeñales. Se cree que la aleación también tiene utilidad en lacas, láminas, y barras de blindaje.

### 30 Ejemplos de trabajo

Se prepararon dos series de 181 kg (400 lb.) que tienen las composiciones de porcentaje en peso que se muestran en la Tabla 1 que sigue a continuación para evaluación tal como sigue a continuación. Ambas series se fundieron por inducción al vacío y a continuación y a continuación se moldean como

TABLA 1

Elemento	Serie 1	Serie 2
C	0,35	0,41
Mn	1,17	1,18
Si	2,00	2,02
P	0,008	0,007
S	< 0,0005	0,0006
Cr	1,74	1,74
Ni	3,24	4,75
Mo	0,77	0,76
Cu	0,79	0,79
Co	< 0,01	
Ti	0,006	0,006
Al	0,007	0,008
N	0,0032	0,0036

## ES 2 530 503 T3

Elemento	Serie 1	Serie 2
O	0,0010	<0,0010
V	0,19	0,19
Fe	Bal.	Bal.

5 Lingotes cuadrados de 192 mm (7,5 pulgadas). Los lingotes se calentaron a 1260 °C (2300 °F) durante un período de tiempo suficiente para homogeneizar las aleaciones. A continuación, los lingotes se trabajaron en caliente a partir de una temperatura de 982 °C (1800 °F) para obtener barras de 89 mm x 127 mm (3-1/2 pulgadas x 5 pulgadas). A continuación, las barras se volvieron a calentar a 982 °C (1800 °F) y una porción de cada barra se trabajó en caliente adicionalmente para obtener una sección transversal de 38 mm x 117 mm (1-1/2 pulgadas x 4-5/8 pulgadas). El trabajo en caliente se realizó en etapas con recalentamiento de las formas intermedias si fuera necesario. Después de la forja, se permitió que las barras se enfriaran a temperatura ambiente al aire. A continuación, cada una de las barras enfriadas se cortó en dos piezas en la intersección entre los dos tamaños de sección. Las piezas de barra se atemperaron a 677 °C (1250 °F) durante 8 horas y a continuación se enfriaron al aire.

15 Se prepararon muestras de ensayo para tracción estándar, corte en V de Charpy, y tenacidad a la fractura, y dureza a partir de las piezas de barra con orientaciones tanto longitudinal como transversal. Las muestras de ensayo se sometieron a tratamiento térmico tal como sigue a continuación para el ensayo. Las muestras de ensayo de la Serie 1 se austenitizaron en un horno de vacío a 918 °C (1685 °F) durante 1,5 horas y a continuación se inactivaron con gas. Las muestras de ensayo inactivadas como tal se ultracongelaron a -73 °C (-100 °F) durante 8 horas y a continuación se calentaron a temperatura ambiente al aire. Por último, las muestras de ensayo se templaron a 260 °C (500 °F) durante 2 horas y a continuación se enfriaron al aire a partir de la temperatura de templado. Las muestras de ensayo de la Serie 2 se austenitizaron en un horno de vacío a 946 °C (1735 °F) durante 2 horas y que a continuación se inactivaron con gas. Las muestras de ensayo inactivadas como tal se ultracongelaron a -73 °C (-100 °F) durante 8 horas y a continuación se calentaron a temperatura ambiente al aire. Por último, las muestras de ensayo se templaron a 260 °C (500 °F) durante 2 horas y a continuación se enfriaron al aire a partir de la temperatura de templado.

25 Los resultados del ensayo de tracción, corte en V de Charpy, y tenacidad a la fractura  $K_{Ic}$  a temperatura ambiente se muestran en las Tablas 2A y 2B que siguen a continuación incluyendo resistencia de rendimiento (Y.S) de compensación de un 0,2 % y resistencia a la tracción (U.T.S.) máxima en ksi, el porcentaje de elongación (% de El.) y el porcentaje de reducción en área (% de R.A.), la resistencia al impacto de corte en V de Charpy (CVN) en ft-lbs, la tenacidad a la fractura  $K_{Ic}$  creciente en la etapa de carga en  $\text{ksi}\sqrt{\text{in}}$ , y dureza en la escala C de Rockwell (HRC). El ensayo de tenacidad a la fractura creciente en la etapa de carga se realizó de acuerdo con los Procedimientos de Ensayo Convencionales de ASTM E399, E812, y E1290. La Tabla 2A muestra los resultados para la Serie 1 y la Tabla 2B muestran los resultados para la Serie 2.

TABLA 2A

Orientación	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% de El.	%de R.A.	CVN	$K_{Ic}$	HRC
Longitudinal	1	235,8	297.2	11,0	44,9	23,1	73,6	
	2	<u>235.7</u>	<u>296.8</u>	<u>12.7</u>	<u>50.7</u>	<u>22.0</u>	<u>74.8</u>	
	Promedio	235,7	297,0	11,9	47.8	22,6	74,2	55,1
Transversal	1	*	*	*	*	22,3	75,0	
	2	<u>233.8</u>	<u>296.5</u>	<u>11.1</u>	<u>40.8</u>	<u>21.6</u>	<u>73.3</u>	
	Promedio	233,8	296,5	11,1	40,8	22,0	74,2	55,2

\* = No Incluido en los Promedios - No se conocen las causas de propiedades bajas.

TABLA 2B

Orientación	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% de El.	%de R.A.	CVN	$K_{Ic}$	HRC
Longitudinal	1A	244,2	312,7	10,9	44,1	19,2	56,8	
	2A	244,5	312,6	11,9	48,8	16,8	55,7	56,3
Longitudinal	1B	246,9	313,1	10,7	44,1	16,8	57,5	

ES 2 530 503 T3

Orientación	Muestra	Y.S.	U.T.S.	% de El.	%de R.A.	CVN	K <sub>ic</sub>	HRC
	<u>2B</u>	<u>245,0</u>	<u>312,1</u>	<u>11,6</u>	<u>50,4</u>	<u>17,9</u>	<u>59,3</u>	<u>56,2</u>
	Promedio	245,1	312,6	11,3	46,9	17,7	57,3	56,3
Transversal	1A	243,9	311,7	10,8	42,2	14,1	55,2	
	2A	**	**	**	**	14,3	57,6	56,0
Transversal	1B	246,7	312,2	10,6	41,9	15,4	56,4	
	<u>2B</u>	<u>246,5</u>	<u>312,2</u>	<u>10,9</u>	<u>43,4</u>	<u>15,0</u>	<u>56,9</u>	<u>56,2</u>
	Promedio	245,7	312,1	10,8	42,5	14,7	56,5	56,1
** = La muestra de ensayo de tracción se agrietó								

## REIVINDICACIONES

1. Una aleación de acero de tenacidad elevada, de resistencia elevada que tiene buena resistencia al templeado, aleación que comprende, en porcentaje de peso:

C	0,30-0,47
Mn	0,8-1,3
Si	1,5-2,5
Cr	1,5-2,5
Ni	3,0-5,0
Mo + ½ W	0,7-0,9
Cu	0,70-0,90
Co	0,01 máx.
V + (5/9) x Nb	0,10-0,25
Ti	0,01 máx.
Al	0,015 máx.

5 siendo el resto hierro e impurezas habituales en la que el fósforo se limita a un 0,01 % como máx. y el azufre se limita a una cantidad no superior a un 0,001 % como máx., y en la que

$$14,5 \leq (\% \text{ de Si} + \% \text{ de Cu}) / (\% \text{ de V} + (5/9) \times \% \text{ de Nb}) \leq 34.$$

2. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende una cantidad no superior a un 0,40 % de carbono o al menos un 0,40 % de carbono.

10 3. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 que comprende una cantidad no superior a un 4,5 % de níquel o al menos un 4,0 % de níquel.

4. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende una cantidad no superior a un 1,2 % de manganeso o al menos un 1,0 % de manganeso.

15 5. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende al menos un 1,7 % de cromo.

6. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1 en la que el carbono se limita a un 0,30-0,40 %, y el níquel se limita a un 3,0-4,5 %.

7. La aleación de acuerdo con la reivindicación 6 que comprende al menos un 3,7 % de níquel.

8. La aleación de acuerdo con la reivindicación 6 o 7 que comprende una cantidad no superior a un 2,2 % de silicio.

20 9. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8 que comprende al menos un 0,32 % de carbono.

10. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9 que comprende una cantidad no superior a un 1,2 % de manganeso.

25 11. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10 que comprende una cantidad no superior a un 0,85 % de cobre.

12. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11 en la que el % de V + (5/9) x % de Nb es al menos un 0,14 % o el % de V + (5/9) x % de Nb no es superior a un 0,22 %.

13. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1 en la que el carbono se limita a un 0,40-0,47 %, y el níquel se limita a un 4,0-5,0 %.

30 14. La aleación de acuerdo con la reivindicación 13 que comprende al menos un 4,6 % de níquel.



## ES 2 530 503 T3

15. La aleación de acuerdo con la reivindicación 13 o 14 que comprende una cantidad no superior a un 2,2 % de silicio o al menos un 1,9 % de silicio.
16. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15 que comprende al menos un 1,0 % de manganeso.
- 5 17. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16 que comprende al menos un 1,7 % de cromo o una cantidad superior a un 1,9 % de cromo.
18. La aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17 que comprende una cantidad no superior a un 0,85 % de cobre.
- 10 19. Un artículo de aleación endurecido y templado que presenta resistencia y tenacidad a la fractura muy elevadas formado a partir de una aleación tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, **caracterizándose** dicho artículo **por** una resistencia a la tracción de al menos 2000 MPa (290 ksi) y una tenacidad a la fractura  $K_{Ic}$  de al menos 55 MPa $\sqrt{m}$  (50 ksi $\sqrt{in}$ ) después de haberse templado a una temperatura de 260 °C (500 °F).