

P. 30.215.-

CEE /GHE
"Ageing Stainless
Steel (A1)



317689

317689

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud

de

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

fomulada el 22 de Septiembre de 1965, con el nº 317.689

e n

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de INTERNATIONAL NICKEL LIMITED, entidad británica,
establecida en Thames House, Millbank, Londres, Inglaterra,
por:

"UN PROCEDIMIENTO DE FABRICACION DE ACERO AL CROMO-NIQUEL QUE
PUEDE TEMPLARSE POR PRECIPITACION"

=====

Este invento se refiere a aceros inoxidables, templados por precipitación, que poseen tal resistencia y tenacidad, que los hace muy apropiados para fines estructurales, por ejemplo, recipientes a presión, componentes de avión y semejantes.

5 Común al tratamiento de todos los tipos de aceros inoxidables de templado por precipitación, es un calentamiento en solución y un tratamiento subsiguiente de maduración. El presente invento, se refiere en primer lugar, a los aceros inoxidables que son substancialmente martensíticos, lo mismo por enfriamiento a la temperatura ambiente, después del calentamiento

10



en solución, que por enfriamiento después de la maduración. Sin embargo, el invento incluye ciertos aceros inoxidables que son substancialmente austeníticos por enfriamiento, a la temperatura ambiente, después del calentamiento en solución pero que pueden llevarse al estado martensítico por refrigera-
5 ción o trabajado en frío.

Es una desventaja de los conocidos aceros inoxidables, templados por precipitación, el que no se obtiene un límite elástico elevado, sin pérdida de tenacidad. Además, son neces-
10 sarios a menudo tratamientos térmicos, complejos y caros, durante el tratamiento y fabricación de estos aceros.

De los aceros inoxidables conocidos, templados por precipitación, hay sólo unos pocos que poseen un límite elástico de 105 kg/mm² a 140 kg/mm², una resistencia que es perfectamen-
15 te adecuada para muchas aplicaciones. Sin embargo, tales aceros no poseen propiedades de tenacidad, particularmente buenas, que incluye la resistencia al impacto, a estas resistencias.

Sólo unos pocos de los aceros inoxidables conocidos, templados por precipitación, poseen resistencias en el límite elás-
20 tico práctico de 140 kg/mm² o más, y éstos, tienen poca tenacidad. Verdaderamente, la falta de tenacidad en éstos últimos aceros, ha sido tan marcada, que se han aplicado técnicas de "sobremaduración" a los aceros, para alcanzar un mejor grado de tenacidad, pero esto por supuesto, sólo puede hacerse a ex-
25 pensas de la resistencia. Por el término "tenacidad" entendemos algo más que ductilidad a la tracción y la propiedad conocida por los valores de reducción de sección. La tenacidad incluye la posesión de elevadas resistencias a la tracción con muesca o entalla, junto con relaciones elevadas de resistencia
30 a la tracción con muescas, respecto a la resistencia límite a

317689



la tracción. Los valores de la ductilidad a tracción y reducción de sección, obtenidos por ensayos de muestras uniformes, no siempre dan una indicación real de la tenacidad. Esto es debido, a que durante el uso, los componentes estructurales
5 desarrollan grietas que pueden ser inducidas internamente o externamente, o los aceros del cual se formó el componente, pueden haber contenido grietas, muescas incipientes, u otras faltas.

La resistencia a la propagación de una grieta o tenacidad con muesca es la capacidad de un metal para deformarse plásticamente bajo una tensión elevada localizada. Es sabido, que
10 la grieta, hendidura u otra falta, actúa como un iniciador y centro para la propagación espontánea. Además, se ha establecido que las concentraciones de tensiones localizadas, tienden a producirse en tales puntos. Si un metal es resistente a la propagación de la falta, por deformación plástica, se dice que es
15 dúctil a la propagación de una grieta. Los metales que no son dúctiles a la propagación de una grieta, esto es, que son sensibles a la iniciación de grietas, están propensos a fallar por fragilidad. El fallo por fragilidad puede ocurrir en muchos
20 metales, pese al hecho de que el límite elástico, la ductilidad por tracción y la reducción de sección o estricción de las muestras uniformes del metal, sean por otra parte aceptables. La propagación de la falta, que conduce a la fractura por fragilidad, puede inducirse por una serie de factores que incluyen el tratamiento térmico aplicado al material. Otro factor de considerable importancia, es la resistencia del metal. Es sabido que el tamaño mínimo de una falta que puede dar lugar a la fractura por fragilidad, se hace más pequeño a medida que aumentan el límite elástico y la resistencia a la tracción
25 del metal. Así, el problema de evitar la fractura por fragili-
30



dad en metales con límites elásticos, de digamos 70 a 105
kg/mm², no es quizá tan severo, como en el caso de metales
que poseen resistencias en el límite elástico práctico de
140 kg/mm² y superiores. En el contexto de este invento, un
5 acero con una resistencia en el límite elástico práctico de
140 kg/mm² o superior, debe poseer una relación de resis-
tencia a la tracción con muesca a resistencia límite a la trac-
ción, de por lo menos la unidad (siendo 10 ó más el coeficien-
te de agudeza de la muesca, K_t), para considerársele dúctil a
10 la propagación de una grieta. Ventajosamente, esta relación es,
por lo menos, de 1,2:1.

Por tanto, los aceros con límites elásticos de 98 a 140
kg/mm², deben poseer un grado de tenacidad elevado, que inclu-
ye la resistencia al impacto, esto es, una ductilidad a trac-
15 ción de por lo menos 10%, y preferiblemente 12% (medidas ca-
libradas normalizadas), una reducción de sección de por lo
menos 40%, y preferiblemente, de por lo menos 50%, y una re-
sistencia al impacto con muesca, de por lo menos 7 kg-m. Por
otra parte, los aceros de resistencia más elevada, esto es,
20 de 140 kg/mm² y más deben caracterizarse por una buena tena-
cidad, que incluye la resistencia a la propagación de una grieta.
Deben poseer una ductilidad a tracción de por lo menos 10%
(medidas calibradas normalizadas), una reducción de sec-
ción, de por lo menos, 40%, una resistencia elevada a la
25 tracción con muesca, y una relación de resistencia a la trac-
ción con muesca a resistencia límite a la tracción, de por lo
menos la unidad, y preferiblemente de por lo menos 1,1. Los
aceros deben resistir también, la corrosión y fabricarse fácil-
mente.

30 Nuestro objeto es crear tales aceros.

317689

22



Una característica distintiva común del tratamiento de los aceros conocidos, es el uso de los tratamientos de acondicionamiento. Por ejemplo, después del calentamiento en solución, puede ser necesario tratar térmicamente los aceros a alguna temperatura inferior a la temperatura de calentamiento en solución para acondicionar previamente los aceros, de forma que la transformación a martensita, tendrá lugar eventualmente. Aun en este caso, la refrigeración o trabajo en frío, puede ser necesario para efectuar el grado máximo de transformación antes de la maduración.

Tales tratamientos térmicos adicionales, no sólo son costosos, sino que pueden promover también la formación de precipitados en los límites del grano austenítico, que comunican la ductilidad y resistencia a la corrosión de los aceros.

Es conveniente evitar tales tratamientos de refrigeración o acondicionamiento intermedio y desarrollar las propiedades deseadas por medio de un simple calentamiento en solución y maduración. Los aceros preferidos del invento, emplean este requisito.

Es también ventajoso evitar el uso de elementos caros, tal como el cobalto.

El acero, según el invento, contiene en peso de 11,5 a 15,5% de cromo, de 9 a 12% de níquel, siendo de 19,5 a 22% la suma de 0,8 veces el contenido de cromo y el contenido de níquel, por lo menos uno de los elementos titanio y niobio, siendo el contenido de titanio de 0,1 a 0,5%, y siendo el contenido de niobio, de 0,05 a 1%, de 0,5 a 1,6% de aluminio, no siendo mayor de 1,9% la suma de los contenidos de aluminio y titanio, y siendo por lo menos de 5:1 la relación del contenido de níquel a la suma de los contenidos de aluminio y titanio, el



contenido de carbón hasta 0,03%, de 0 a 0,2% de manganeso y de 0 a 0,2% de silicio, siendo el resto hierro excepto las impurezas y elementos incidentales.

5 El aluminio en estos aceros, es el elemento particularmente responsable del efecto de templado por precipitación. El contenido de aluminio empleado, depende de la resistencia y tenacidad requeridas para los usos a los cuales se destinan estos aceros. En general, aquellos aceros con los contenidos de aluminio más bajos, se puede considerar que tienen una tenacidad
10 excepcional, particularmente resistencia al impacto, mientras que aquellos, con los contenidos de aluminio más elevados, tienen límites elásticos muy elevados, acompañados por una ductilidad con muesca o ductilidad a la propagación de una grieta, relativamente buena.

15 En los aceros que se requiere un límite elástico de 140 kg/mm² y más, deben contener de 1 a 1,6% aproximadamente de aluminio y ventajosamente de 1,1 a 1,5% de aluminio. La suma de los contenidos de aluminio y titanio, no excede preferiblemente de 1,8%. Si están presentes cantidades de aluminio superiores al 1,6%, la resistencia a la propagación de una grieta,
20 en los aceros, se afecta de forma adversa, pudiendo ser perjudicadas también otras propiedades de tenacidad. Por otra parte, es necesario por lo menos 1% de aluminio, para alcanzar los más elevados límites elásticos.

25 Cuando son adecuados límites elásticos del orden de 105 a 140 kg/mm², pero se necesitan aceros que posean las tenacidades más elevadas, incluso un valor de impacto Charpy, con muesca en V, de por lo menos 7 kg.-m. el contenido de aluminio será de 0,5 a 1%. Si el contenido de aluminio des-
30 ciende por debajo de 0,5% en límite elástico es demasiado bajo

317689

22 NOV



y es ventajoso mantener un contenido de aluminio de por lo menos 0,6%. Para asegurar unas propiedades excelentes al impacto, el contenido de aluminio no debe exceder de 0,9%, y la suma de los contenidos de aluminio y titanio, no debe ex-

5 ceder de 1,3%.

El contenido de cromo de los aceros, no debe ser inferior a 11,5% y es preferible por lo menos 11,75%, para dar un grado satisfactorio de resistencia a la corrosión. Por otra parte, los contenidos de cromo superiores al 15,5% afectan ad-

10 versamente las propiedades de los aceros y pueden necesitar también el uso de tratamientos térmicos más complicados, por ejemplo, tratamientos intermedios de acondicionamiento.

Por lo menos debe estar presente 9% de níquel, para obtener una buena combinación de resistencia y tenacidad. Can-

15 tidades excesivas de níquel, promueven la retención de austenita durante la maduración y limitan también el intervalo de las temperaturas de maduración que pueden usarse sin peligro de retención de austenita y de la posibilidad de sobremadura-

20 ción. Por esta razón, el contenido de níquel no excede de 12%. Además, para asegurar una buena tenacidad, particularmente en los aceros de resistencia más elevada, la relación del contenido de níquel a la suma de los contenidos de aluminio y titanio, debe ser por lo menos de 5:1.

Si los aceros deben poseer las propiedades deseadas, sus

25 composiciones deben ser tales que la suma del contenido de níquel y 0,8 veces el contenido de cromo, sea por lo menos de 19,5%. Sin embargo, si esta suma fuera superior al 22%, los tratamientos de acondicionamiento (tratamientos térmicos en el estado austenítico), podrían ser necesarios entre el calenta-



317689

miento en solución y el tratamiento final de maduración para asegurar una transformación substancialmente completa a martensita.

5 Los aceros de resistencia más elevada, que tienen una combinación extremadamente buena de límite elástico (154 kg/mm² y superiores), resistencia a la tracción con muesca y una relación elevada de tracción a la propagación de una grieta a resistencia límite de tracción, contienen o de 13 a 15% de cromo y 9 a 9,75% de níquel, o de 11,75 a 13% de cromo y 10 a 11,5% de níquel, y la suma del contenido de níquel y 0,8 veces el contenido de cromo, es de 20 a 21,5%.

15 Es esencial que los aceros del invento contengan por lo menos, una de los elementos titanio y niobio. Estos elementos pueden combinarse preferiblemente con carbono y evitar la precipitación de carburos de cromo perjudiciales en los límites del grano, durante la maduración; para mantener así la excelente tenacidad y resistencia a la corrosión de los aceros. El uso de niobio es particularmente beneficioso cuando se desean resistencia y tenacidad óptimas. Mientras el contenido de niobio puede ser tan elevado como 1%, es preferible que no exceda de 0,5%. La cantidad de titanio no debe exceder de 0,5% y ventajosamente no debe exceder de 0,35%. Un contenido excesivo de titanio, conduce a segregación y otros problemas en el tratamiento de los aceros. Ambos elementos pueden estar presentes 20 ventajosamente en cantidades de 0,1 a 0,35% de titanio y de 0,2 a 0,5% de niobio.

30 El contenido de carbono debe mantenerse lo más bajo posible y no debe exceder en ningún caso de 0,03%. Cantidades mayores de carbono aparte de conducir a corrosión intergranular, reducen drásticamente el intervalo de temperatura de la

317689

22 NOV. 1960



transformación a martensita, y perjudican también la tenacidad. Es posible, que la formación de los carburos de cromo pueda aumentar la temperatura de comienzo de martensita, M_s , pero la indeseable precipitación de los carburos de cromo durante el tratamiento térmico, puede perjudicar la tenacidad. Igualmente, un contenido elevado de carbono, puede conducir a reacciones opuestas durante la maduración, es decir, el carbono puede actuar para templar y endurecer. Mientras los aceros se enfriaron desde la temperatura de calentamiento en solución, el carbono inestabilizalo ya en solución, actuará como un endurecedor disolviéndose en la martensita. Sin embargo, la martensita así endurecida, tendrá entonces que templarse durante el tratamiento de maduración, conduciendo a un material de resistencia y dureza más baja. El contenido de carbono debe ser por ello, lo más bajo posible, y preferiblemente no exceder de 0,02%.

Los contenidos de silicio y manganeso, deben mantenerse también lo más bajo posibles, ya que afectan adversamente la tenacidad. Los contenidos de silicio o manganeso, apreciablemente superiores al 0,2%, tienen un efecto perjudicial sobre la ductilidad con entalla y sobre la resistencia al impacto con entalla de los aceros, y es preferible que la cantidad total de estos elementos no exceda de 0,25%. Lo mejor es mantener estos elementos con un valor no superior al 0,1% cada uno, pero es difícil alcanzar valores tan bajos en la práctica.

Los aceros preferidos contienen de 11,75 a 15% de cromo, de 9 a 11% de níquel, siendo de 20 a 22% la suma de 0,8 veces el contenido de cromo y el contenido de níquel, por lo menos uno de los elementos titanio y niobio, siendo el contenido de titanio de 0,2 a 0,35% y siendo el contenido de niobio de 0,2 a 0,5%, el carbono hasta 0,03%, de 0 a 0,15% de manganeso y de



0 a 0,15% de silicio, no excediendo la suma de los contenidos de manganeso y silicio de 0,25%.

5 No se evita la presencia de elementos incidentales, tales como los empleados corrientemente como agentes desoxidantes y de limpieza y elementos tales como calcio y cerio, utilizados para comunicar maleabilidad y eliminar azufre. Otros elementos incidentales, que pueden estar presentes, incluyen vanadio hasta 0,5%, tántalo hasta 1%, cobre hasta 0,5%, berilio hasta 0,1%, boro hasta 0,01% y zirconio hasta 0,01%.

10 Las impurezas, tales como azufre, fósforo, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, deben mantenerse con valores lo más bajos posibles sin perjuicio de una producción económica.

Los aceros según el invento, están libres de cobalto, excepto el cobalto que pueda estar presente como una impureza.

15 Los aceros, según el invento, no contienen cantidades perjudiciales de ferrita delta.

Los aceros pueden ser fundidos al aire pero este proceso puede ser seguido ventajosamente por una fusión con electrodo consumible.

20 Al solidificar, los lingotes colados deben homogeneizarse perfectamente. Los aceros se someten a continuación, al trabajo en caliente (forja, estampación, laminación, etc.) y si se desea, al trabajo en frío hasta la forma requerida. Son ventajosas una pluralidad de operaciones de calentamiento y trabajo en
25 caliente, para alcanzar la perfecta homogeneización de la estructura colada por difusión. Un intervalo satisfactorio de temperatura para trabajar en caliente, es de 980 a 1.095°C., siendo las temperaturas apropiadas de acabado de 870 a 815°C. Después de trabajar los aceros, se calientan en solución a una temperatura en el intervalo de 870 a 980°C. durante un periodo de
30

317689

22



tiempo que va de un cuarto de hora a varias horas, según el tamaño de la sección. En la producción de chapa o tira, pueden emplearse períodos más cortos de calentamiento en solución de, por ejemplo, 10 minutos.

5 A continuación del calentamiento en solución, los aceros se enfrían, por ejemplo se enfrían al aire. No es necesario un temple en líquido, evitándose las dificultades que eso lleva consigo. Al enfriar después del calentamiento en solución, los aceros pasan a un estado substancialmente martensítico o pueden
10 llevarse a tal estado por refrigeración, por ejemplo a -75°C o trabajando en frío. Si se desea, puede emplearse lo mismo la refrigeración que el trabajo en frío. Sin embargo, es una ventaja de los aceros del invento, que tienen un contenido combinado de cromo y níquel no superior al 23%, el que es innecesaria la
15 refrigeración o el trabajo en frío.

En el estado de calentamiento en solución, los aceros son muy dúctiles y tienen unos valores característicos de dureza "C" Rockwell de 20 a 35. De esta forma, los aceros pueden fabricarse fácilmente antes de su maduración.

20 A continuación los aceros se maduran en el estado martensítico por calentamiento a una temperatura de 425 a 565°C . durante un cuarto de hora a cuatro horas, usándose los períodos de maduración más largos en combinación con las temperaturas de maduración más bajas. Los aceros con contenidos de aluminio de
25 1 a 1,6% no deben madurarse por encima 540°C y se maduran preferiblemente de 480 a 510°C durante una a cuatro horas. Si la temperatura de maduración es muy superior a 540°C , puede ocurrir la reversión austenita y sobremaduración, con el resultado entre otros de pérdida de resistencia. Es preferible que la dureza
30 "C" Rockwell de estos aceros no exceda de $R_{\text{C}}50$ para evitar

317689



perjudicar la tenacidad.

Los aceros con contenidos de aluminio no superiores a 1%,
pueden ser madurados a temperaturas tan elevadas como 565°C,
y se ha encontrado muy satisfactoria la maduración en el inter-
5 valo de temperaturas de 480 a 550°C durante una a cuatro horas.
La maduración a 540°C aproximadamente, ha dado por resultado
valores extraordinariamente elevados de energías de absorción
del impacto, esto es, sobre 14 kg-m. A temperaturas de madura-
ción superiores a 565°C y concretamente superiores a 590°C hay
10 una tendencia a la reversión a austenita y a provocar sobrema-
duración, con el resultado de efectos adversos que incluyen pér-
dida de resistencia.

Como ejemplo daremos ahora el tratamiento y propiedades
de 10 aceros, los números del 1 al 10, según el invento, y que
15 contienen de 1 a 1,6% de aluminio junto con los de algunos ace-
ros, a saber, los aceros A a I que no son del invento. Las com-
posiciones nominales de estos aceros, se dan en la Tabla I. Los
aceros contenían menos de 0,15% de manganeso y menos de 0,15
de sílice, mientras que se introdujo menos de 0,03% de carbón
20 en forma de materias primas. En cada acero el resto fué hierro
e impurezas.

317689



TABLA I

Acero Nº	Cr %	Ni %	Al %	Ti %	Nb %
	14	10	1,3	0,3	-
5	15	9	1,5	0,3	0,5
	14	10	1,3	0,3	0,5
	14	10	1,5	0,3	-
	12	11	1,3	-	0,5
	12	11	1,3	0,3	-
10	14	10	1,5	0,3	0,5
	15	9	1,3	0,3	-
	14	9	1,3	0,3	0,5
	14	9	1,5	0,3	0,5
	14	10	3	-	-
15	12	10	1	2,5	0,5
	12	12	-	3	-
	12	12	1	3	-
	12	13	1,3	0,3	-
	15	12	1,1	0,3	-
20	16	10	1,3	0,3	-
	16	10	1,3	0,3	0,5
	16	10	1,5	0,3	0,5

Las muestras para el ensayo a tracción, se prepararon a partir de los aceros mostrados en la Tabla I.

Los aceros se sometieron a continuación a uno de los tratamientos térmicos que se indican a continuación.

TRATAMIENTO TÉRMICO "A"

1. Calentamiento en solución a 870°C durante una hora y



enfriamiento al aire.

2. Refrigeración a -75°C (hielo seco) durante 16 horas.
3. Maduración a 480°C durante 1 hora.

TRATAMIENTO TERMICO "B"

5

1. Calentamiento en solución a 870°C durante 1 hora y enfriamiento al aire.
2. Refrigeración a -75°C (hielo seco) durante 16 horas.
3. Maduración a 540°C durante 1 hora..

10

TRATAMIENTO TERMICO "C"

1. Calentamiento en solución a 980°C durante 1 hora y enfriamiento al aire.
2. Maduración a 480°C durante 4 horas.

15

TRATAMIENTO TERMICO "D"

1. Calentamiento en solución a 980°C durante 1 hora y enfriamiento al aire.
2. Refrigeración a -75°C (hielo seco) durante 16 horas.
3. Maduración a 480°C durante 4 horas.

20

Se determinaron los valores de la dureza "C" Rockwell de las muestras en distintas fases de los tratamientos térmicos, esto es, después del enfriamiento del calentamiento en solución, después del tratamiento de refrigeración, cuando se aplicó, y después del enfriamiento del tratamiento de maduración, y se exponen en la Tabla II.

25

317689

22



TABLA II

Dureza C Rockwell, H_C

Acero N ^o	Tratamiento térnico	Calentamiento en solución		Refrigeración	Maduración	
		870°C	980°C		420°C	540°C
1	A	29	-	29	45	-
2	A	26	-	31	47	-
3	A	33	-	37	45	-
4	B	30	-	32	-	47
5	C	-	28	-	-	-
6	C	-	27	-	45	-
7	A	35	-	37	46	-
8	A	30	-	33	47	-
9	A	32	-	35	47	-
10	A	30	-	36	46	-
A	B	40	-	45	-	51
B	B	41	-	45	-	-
C	A	17	-	25	39	-
D	A	16	-	18	33	-
E	D	-	-10	-9	-8	-
F	A	-6	-	-	-8	-
	D	-	-23	-16	-	-
G	A	10	-	25	41	-
	D	-	23	26	46	-
H	A	14	-	13	20	-
	D	-	0	29	45	-
I	A	15	-	17	25	-
	D	-	0	25	41	-

317689

22



Después de completar el tratamiento térmico, los aceros se ensayaron y los resultados se dan en la Tabla III, a continuación. El límite elástico práctico, (L.E., con deformación permanece del 0,2%), la resistencia límite a la tracción

5 (R.L.T.) y la resistencia a la tracción con muesca (R.T.M.) se dan en miles de kilos por milímetro cuadrado (kg/mm^2). El alargamiento a tracción (A.T.), usando una longitud calibrada normalizada de cuatro veces el diámetro de la muestra, y la reducción de sección o estricción (R.S.) se dan como porcentajes.

10 La Tabla, también muestra la relación de la resistencia a la tracción con entalla, a la resistencia límite de tracción (R.T.M./R.L.T.). Se notará que ninguno de los aceros se trabajó en frío antes o después de la maduración.

317689

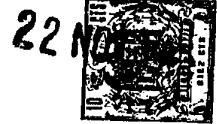


TABLA III

Acero Nº	Trata- miento térmico	L.E. kg/mm ²	R.L.T. kg/mm ²	A.T. %	R.S. %	R.T.M. kg/mm ²	R.T.M./R.L.T	
	1	A	149,7	154,7	10	48	229,9	1,53
5	2	A	151,2	158,2	14	57,5	220,0	1,39
	3	A	150,4	157,5	12	60	222,2	1,41
	4	B	152,5	158,2	12	52	219,4	1,38
	5	C	154,7	163,8	13	53,5	227,8	1,47
	6	C	156,1	163,1	13	49	230,6	1,48
10	7	A	158,9	165,2	12	51	182,8	1,105
	8	A	158,9	163,8	13	56	238,3	1,5
	9	A	163,1	165,9	11	57	232,6	1,43
	10	A	173,6	175,8	11	49	227,8	1,3
	A	B	163,8	177,2	3	6	-	-
15	B	B	169,4	177,9	6	17,5	-	-
	E	D	27,8	60,8	47	84	84,8	1,39
	G	D	84,4	123,0	22	61,5	180,0	1,46
	H	D	36,5	82,3	42	66,5	119,5	1,45
	I	D	53,4	103,3	27	62,5	145,5	1,4
20								

Los resultados de las Tablas II y III, ilustran la superioridad de los aceros, según el invento.

El acero A, que tenía un contenido de aluminio de 3% y no contenía titanio o niobio y en el cual la relación de los contenidos de níquel a aluminio más titanio, fué inferior a 5:1, mostró una tenacidad muy pobre. El acero tenía la elevada dureza de R_c 51 en el estado madurado después del tratamiento térmico "D": Con este tratamiento térmico, la resistencia en el límite elástico práctico del acero A, fué buena, pero el alarga-



miento a tracción fué muy bajo. Un resultado similar se obtuvo sometiendo el acero B que contenía 2,5% de titanio al tratamiento térmico "B".

5 Aunque los aceros C y D, como el acero B, contenían demasiado titanio, puede verse por sus valores bajos de dureza, en la Tabla II, que estuvo presente una gran cantidad de austenita al enfriar después del calentamiento en solución. Por ello, deben ser necesarios los tratamientos de acondicionamiento.

10 En los aceros E, F, G, H e I, aunque los contenidos de aluminio y titanio estaban dentro del invento, la suma del contenido de níquel y 0,8 veces el contenido de cromo, estuvo suficientemente por encima de 22%, resultan propiedades muy pobres. Puede verse en la Tabla II, que el acero F no mostró casi respuesta al endurecimiento o templado. Mientras cada uno de
15 los aceros E, G, H e I fué substancialmente austenítico por enfriamiento después del calentamiento en solución, puede verse que sus resistencias en el límite elástico práctico son no como muy bajas, sino considerablemente inferiores a las resistencias límites a la tracción. Esto indica que los aceros contenían una
20 gran cantidad de austenita retenida, después de la maduración, a pesar de su dureza relativamente elevada en el estado madurado. Por tanto, los valores de la dureza no son el único criterio.

25 Las Tablas II y III, muestran la combinación satisfactoria de propiedades que presentan los aceros 1 a 10 según el invento. Por ejemplo, los aceros G, H e I, deben compararse con los aceros 1, 3 y 7 respectivamente, los cuales son similares en la composición nominal, excepto que en estos aceros, el contenido de cromo y la suma de los contenidos del níquel y 0,8 veces el del cromo, son acordes con el invento.

30 Los aceros 1 y 10 que contienen por encima del 1% de alu-

3176892



minio, tenían límites elásticos superiores a 140 kg/mm^2 , pero como se explicó anteriormente, hay muchos usos comerciales para los cuales son completamente adecuados los aceros con resistencia en el límite elástico práctico de 105 a 140 kg/mm^2 . En tales casos, pueden emplearse aceros según el invento, y que contengan de $0,5$ a 1% de aluminio. Tales aceros, poseen una notable capacidad para absorber niveles extremadamente elevados de energía por impacto. Se dan ahora como ejemplos el tratamiento y propiedades de tres de tales acero, los números 11, 12 y 13.

Las composiciones de estos aceros, se muestran en la Tabla IV. Los aceros contenían menos de $0,03\%$ de carbono, menos de $0,15\%$ de silicio y menos de $0,15\%$ de manganeso. En cada acero el resto fué hierro e impurezas.

TABLA IV

15

Acero Nº	Cr %	Ni %	Al %	Ti %	Nb %
11	12	12	0,8	0,2	-
12	12	11	0,8	0,2	-
13	12	11	0,8	-	0,5

20

Los aceros 11, 12 y 13 se fundieron a vacío. Después de la solidificación, se prepararon las muestras de ensayo de los aceros. Los aceros 11, 12 y 13 no fueron ni refrigerados ni trabajados en frío, pero se sometieron o al tratamiento térmico "C", esto es, calentamiento en solución a 980°C . durante una hora, enfriamiento al aire y maduración a 480°C . durante 4 horas, o a un tratamiento térmico "E" similar, en el cual, la maduración se hizo a 540°C . durante 2 horas.

25

30



Después del tratamiento térmico, los aceros se ensayaron con los resultados mostrados en la Tabla V.

TABLA V

5	Acero Nº	Tratamiento térmico	L.E. kg/mm ²	R.L.T. kg/mm ²	A.T. %	R.S. %	M.V.C. ⁺ kg-m
	11	C	103,8	113,9	24	70	16,7
		E	68,9	104,7	29	71,5	24,5
	12	C	136,2	141,9	15	62	8,8
10		E	127,9	135,4	18	65,5	15,2
	13	C	132,5	137,5	15	65,5	10,3
		E	115,8	123,7	22	66,5	18,3

15 +
Resultados de los ensayos de resistencia al impacto Charpy con muesca en V.

De la Tabla V, puede apreciarse que los aceros 11, 12 y 13, poseen una resistencia al impacto excepcionalmente buena, esto es, pasan de 7 Kg - m. y con un tratamiento térmico apropiado llegan hasta 23 kg-m. Esta resistencia al impacto se combina con límites elásticos razonablemente elevados que son adecuados para muchos fines.

25 Los resultados para el acero 11, indican que el contenido combinado de cromo y níquel de este acero, esto es, 24%, es demasiado elevado para omitirse un tratamiento en frío. La baja resistencia en el límite elástico práctico del acero 11, cuando se somete al tratamiento térmico "E", se debe probablemente a la reversión a austenita. En otras palabras, con un contenido combinado de cromo y níquel de 24%, una temperatura de maduración de 540°C. fué efectivamente un tratamiento de sobremaduración

317689



5 ción, transformándose así la martensita en austenita. Este efecto podría haberse reducido por aplicación de un tratamiento frío antes de la maduración. Sin embargo, un tratamiento frío se hace innecesario para mantener el contenido combinado de cromo y níquel a no más de 23,5% y preferiblemente no más de 23%. Esto se aprecia por los resultados obtenidos de los aceros 5 y 6, así como también por los aceros 12 y 13.

10 Obtener una combinación satisfactoria de propiedades sin recurrir a la refrigeración o trabajo en frío, es una ventaja significativa cuando los aceros se usan para construir recipientes grandes. En la construcción de tales recipientes, es necesaria la soldadura requiriéndose entonces, un calentamiento en solución subsiguiente, y un tratamiento de maduración para restaurar las propiedades del metal de origen en la zona de soldadura. Sin embargo, es extremadamente difícil o impracticable, someter tales recipientes a un tratamiento de refrigeración antes de su maduración.

15 Esta solicitud que corresponde a la presentada en los Estados Unidos de América el 23 de Septiembre de 1964, bajo los números 398.761 y 398.770, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

- N O T A -

25 Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención por VEINTE años, son los siguientes:

1º.- Un procedimiento de fabricación de acero al cromo-níquel que puede templarse por precipitación, caracterizado



5 por formar una masa fundida que contiene 11,5 a 15,5% de cromo de 9 a 12% de níquel, siendo de 19,5 a 22% la suma del contenido de níquel y 0,8 veces el contenido de cromo, por lo menos uno de los elementos titanio y niobio, siendo el contenido de titanio de 0,1 a 0,5% y siendo el contenido de niobio de 0,05 a 1% de 0,5 a 1,6% de aluminio, no siendo mayor de 1,9% la suma de los contenidos de aluminio y de titanio y siendo la relación de contenido de níquel a la suma de los contenidos de aluminio y de titanio por lo menos 5:1, carbono en una cantidad de hasta 0,03% desde 0, a 0,2% de manganeso y desde 0 a 0,2% de silicio, siendo el resto de la masa, excepto las impurezas y elementos incidentales, hierro y permitir que la masa solidifique para formar acero

10

15 2º.- Un procedimiento según el punto 1, caracterizado porque la suma del contenido de cromo y níquel no excede del 23%.

20 3º.- Un procedimiento según los puntos 1 o 2, caracterizado porque el acero contiene de 11,75 a 15% de cromo, de 9 a 11% de níquel siendo de 20 a 22% la suma del contenido de níquel y 0,8 veces el contenido de cromo, por lo menos uno de los elementos titanio y niobio, siendo de 0,2 a 0,35% el contenido de titanio y siendo el contenido de niobio de 0,2 a 0,5% de 0 a 0,15% de manganeso y de 0 a 0,15% de silicio, no excediendo de 0,25% la suma de los contenidos de manganeso y silicio.

25

4º.- Un procedimiento según cualquiera de los puntos 1 a 3, caracterizado porque el contenido de aluminio es de 1,1 a 1,5% y la suma de los contenidos de aluminio y de titanio no excede del 1,8%

30 5º.- Un procedimiento según cualquiera de los puntos 1

317689

13



a 3, caracterizado porque el contenido de aluminio es de 0,6 a 0,8% y la suma de los contenidos de aluminio y de titanio no excede de 1,3%.

5 6º.- Un procedimiento según cualquiera de los puntos anteriores, caracterizado porque el contenido de carbono no rebasa el 0,02%, el contenido de manganeso no excede del 0,1% y el contenido de silicio no sobrepasa el 0,1%.

10 7º.- Un método de tratar térmicamente acero preparado según cualquiera de los puntos anteriores, caracterizado porque el acero se convierte a un estado sustancialmente martensítico y se mantiene en ese estado.

8º.- Un procedimiento de fabricación de acero al cromo-níquel que puede templarse por precipitación.

15 Tal y como se ha descrito en la memoria que antecede y con los fines que se han especificado.

Esta memoria consta de veintitres hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

13 MAY. 1960

P.A.

Alberto de Eizaburu
Formentor