

303696

P.- 27.522

"Nickel-Aluminium Steel"

15 OCT. 1964

15 OCT. 1964



303696

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

formulada el 2 de septiembre de 1964, con el nº 303.696

en

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de THE INTERNATIONAL NICKEL COMPANY (MOND) LIMITED,
entidad británica, establecida en Thames House, Millbank,
Londres, Inglaterra, por:

" MEJORAS INTRODUCIDAS EN LA FABRICACION DE ACEROS ALEADOS "

Esta invención se refiere a acero de baja aleación
que contiene níquel y aluminio, y que es susceptible de en-
durecimiento o temple por precipitación.

En los últimos años, los aceros al níquel-aluminio a
5 los que se hace referencia como aceros de 5% de níquel y 2%
de aluminio han resultado particularmente atractivos para la
producción de engranajes y troqueles debido a su aptitud pa-
ra ser producidos dentro de una tolerancia dimensional es-
trecha después del temple, es decir, que se templean con muy



escasa deformación o alabeo. Los mejores de estos aceros se describen en la memoria de la patente nº 2.708.159 de los Estados Unidos y contienen de 3,5% a 6% de níquel, de 1,5% a 2,5% de aluminio, de 0,4% a 1,25% de cromo, de 0,2% a 0,3% de molibdeno y de 0,18% a 0,3% de carbono, siendo el resto de la composición esencialmente hierro, y estando relacionada la cantidad de carbono con los contenidos de níquel y aluminio expresados por la relación estequiométrica níquel-aluminio. Estos aceros tienen una excelente dureza, es decir Rc 40 ó más, con una buena resistencia a la deformación permanente, pero carecen de tenacidad, teniendo un valor medio de resiliencia Charpy con entalla en V de sólo aproximadamente 1,25 ó 1,4 kg-m sobre probetas en barra. Esta falta de tenacidad ha limitado el uso de estos aceros y, en particular, ha impedido su empleo como acero para estructuras en forma de plancha.

El problema de obtener una elevada tenacidad junto con otras propiedades deseadas en los aceros al níquel-aluminio es particularmente difícil. En los aceros en cuestión hay un proceso de temple básico que resulta de la formación de una fase de precipitación a la temperatura de envejecimiento. Concurrentemente y en competición con éste, tiene lugar el revenido, es decir, un ablandamiento. Además, debe tenerse en cuenta la naturaleza del producto de transformación inicial formado durante el enfriamiento desde la temperatura de revenido austenítico y los efectos de las reacciones de temple sobre las propiedades de la matriz transformadas y, también de la formación de carburos complejos y las influencias combinadas de los diversos elementos en solución sólida.

303696

De acuerdo con la invención, el acero contiene de 0,04% a 0,25% de carbono, de 4,5% a 10% de níquel, de 0,6% a 1,2% de aluminio, siendo la proporción de níquel a aluminio de al menos 5 a 1, 0,5% a 2% en total de molibdeno o tungsteno o ambos, manganeso que no exceda de 0,5%, de 0 a 5% de cobalto, de 0 a 1,5% de cromo y de 0 a 2% de cobre. El resto, a excepción de las impurezas y elementos incidentales presentes por lo común en el acero al níquel-aluminio, es hierro.

El silicio es uno de estos elementos incidentales y tiene un ligero efecto contrario sobre la tenacidad. Además a medida que aumenta el contenido de silicio, existe cierta tendencia a que se formen en el acero inclusiones indeseables. Por estas razones, es conveniente que el contenido de silicio no exceda de 0,5% y, preferiblemente, que no sea mayor del 0,3%.

El acero contiene, preferiblemente, de 0,04% a 0,16% de carbono, de 5% a 10% de níquel, de 0,7% a 1,2% de aluminio, de 0,75% a 1,5% de molibdeno, manganeso que no exceda de 0,3% y silicio que no exceda del 0,3%. Este acero preferido puede contener, también, hasta un 1% de cromo, pero está exento de cobalto o de cobre a excepción de las cantidades que pueden estar presentes como elementos incidentales introducidos con la chatarra utilizada para la fabricación del acero.

El acero de acuerdo con la invención reúne una buena tenacidad con otras propiedades convenientes y, en particular, con una buena dureza en estado envejecido y una elevada resistencia a la deformación permanente. Debido a la tenacidad, el acero puede ser utilizado en forma de plancha,

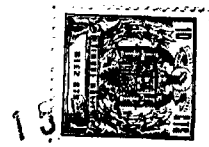
303696



15 OCT. 1954

así como en forma de objetos, tales como engranajes y troqueles.

Para obtener la combinación óptima de propiedades, el acero debe ser tratado térmicamente. Es conveniente que el
5 acero sea primeramente convertido en austenítico por calentamiento dentro del margen de temperatura de 845 a 925° C y, seguidamente, enfriado bruscamente en un líquido. Si la temperatura utilizada está muy por encima de los 925 ° C, tiene lugar un excesivo crecimiento de grano de austenita con la
10 consiguiente pérdida de tenacidad. Por otra parte, las temperaturas de austenitización de, por ejemplo, 830° C, pueden dar como resultado una transformación incompleta en austenita. Lo más ventajoso es trabajar en un margen de temperatura de revenido austenítico de 830 a 900° C. Después de ser enfria-
15 dos bruscamente, los aceros se calientan en el margen de temperatura de 510 a 565° C con el fin de darles un temple por precipitación y un revenido y, aunque el periodo de calentamiento puede ser de 30 horas o más, resulta ventajoso evitar periodos de calentamiento prolongados, siendo muy satisfacto-
20 rio un periodo de 2 a 10 horas. Si la temperatura de este calentamiento es de 480° C o inferior, tiene lugar un ligero efecto de revenido, pero hay una insuficiente respuesta al envejecimiento. A temperaturas de 565° C y superiores, por ejemplo de 595° C, tiene lugar un mayor grado de revenido
25 unido a un sobreenviejamiento, y esto origina cierto ablandamiento. Sin embargo, se pueden emplear temperaturas de 565° C y superiores ventajosamente, si el contenido de níquel es de 6,5 % o más, puesto que el níquel es un potente endurecedor y comunica un alto grado de templabilidad. Este elevado gra-
30 do de templabilidad es particularmente beneficioso para produ-



5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150
155
160
165
170
175
180
185
190
195
200

oir plancha de acero de un espesor substancial. Por sobre-
vejecimiento, es decir por calentamiento a una temperatura
en el margen de 565° C a 607° C, se reduce la dureza (y re-
sistencia mecánica) de los aceros (a 565° C la pérdida de re-
sistencia mecánica es muy ligera), pero se aumenta apreciable-
mente la tenacidad. Por consiguiente, si no son necesarias
una dureza y resistencia mecánica máximas, sino una templa-
bilidad y tenacidad óptimas, el sobrevejecimiento propor-
ciona un método sencillo de conseguir el objetivo. Sin embar-
go, la temperatura de sobrevejecimiento no debe exceder de
los 607° C, debido al peligro de que se pueda conservar un
excesivo contenido de austenita y, preferiblemente, la tempe-
ratura de sobrevejecimiento no debe exceder de los 595° C.

Las propiedades de los aceros de acuerdo con la inven-
ción y el efecto de la variación de las proporciones de los
diversos elementos, se indican mediante ensayos sobre probe-
tas de diversos aceros, las composiciones de algunos de los
cuales se exponen en la Tabla I.

303696



TABLA I

Acero Nº	C %	Ni %	Al %	Mo %	Cr %	Mn %	Si %	
5	1	0,13	10,0	0,95	0,98	0,11	0,24	0,17
	2	0,13	7,3	0,91	0,95	0,12	0,24	0,17
	3	0,12	5,3	0,92	0,95	0,11	0,24	0,21
	4	0,11	5,4	1,06	0,99	0,11	0,10	0,10
	5	0,15	7,0	1,0	1,1	0,10	0,17	0,14
10	6	0,07	7,2	0,99	1,1	0,10	0,09	0,14
	7	0,08	5,0	0,83	1,0	0,10	0,18	0,13
	8	0,06	6,03	0,77	0,92	0,11	0,21	0,18
	9	0,06	7,05	0,81	0,93	0,10	0,19	0,17
	10	0,05	9,8	0,97	1,0	0,12	0,18	0,12
15	11	0,04	7,2	0,9	1,0	0,11	0,21	0,18
	12	0,1	7,52	1,10	1,10	0,12	0,21	0,30
	13	0,06	7,20	0,94	0,93	0,11	0,17	0,12

Se prepararon barras de 1,9 cm de diámetro a partir
20 de lingotes de los aceros números 1 a 7, por forjado a 1175° C
y subsiguiente laminado a la misma temperatura, y se formaron
planchas de 1,9 cm de espesor a partir de lingotes de los ace-
ros números 1 a 3 y 8 a 13, forjandolas por laminación en ca-
liente a 1175° C. Las probetas fueron mecanizadas a partir de
25 las barras y planchas y fueron tratadas térmicamente por ca-
lentamiento hasta 870° C durante 1 hora, enfriamiento brusco
en agua, recalentamiento hasta 540° C durante 2 horas, y en-
friamiento en aire. Estas probetas fueron ensayadas con los
resultados indicados en la Tabla II, en la cual el límite apa-
30 rente de elasticidad con deformación permanente de 0,2 % (Y.S)



y la resistencia a la rotura por tracción (U.T.S.) se indican en kilogramos por milimetro cuadrado (kg/mm^2) los valores medios de ensayo de Charpy con entalla en V (C.V.N.) obtenidos se indican en kilogramos-metros (kg-m), los valores de alargamiento sobre una longitud útil de 2,5 cm. se indican en porcentajes (% de alargamiento) y la reducción de superficie se indica en porcentajes. La dureza Rockwell C (Rc) fué medida sobre las probetas templadas por enfriamiento brusco en agua, así como en las probetas completamente tratadas, indicandose los resultados como "Rc con temple por enfriamiento brusco" y "Rc con envejecimiento", respectivamente.

TABLA II

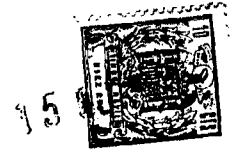
	Acero Nº	Y.S. kg/mm^2	U.T.S. kg/mm^2	C.V.N. kg/m	% de Alar- gamiento	Reduc- ción de superfi- cie.	"Rc con temple por en- friamien- to brus- co"	"Rc oc enve- jeoi- mien- to"	
15	Ba- rras	1	137	143	6,91	16	65	39	43
		2	130	134	7,47	17	66	39	41
		3	117	121	13,5	21	71	38	38
		4	125	130	4,42	18	69	39	41
		5	135	140	3,73	17	67	42	44
		6	131	136	3,46	16	70	36	44
		7	112	118	9,54	18	67	35	38
25	Pla- cas.	8	107	112	9,82	19	68	--	37
		9	122	131	6,50	17	64	--	41
		10	138	144	4,15	14	59	34	45
		11	136	142	3,73	15	62	33	45
		12	141	149	3,87	16	60	--	45
30		13	125	129	4,84	15	63	--	42
		1	137	143	4,63	16	65	39	43
		2	130	134	4,84	17	66	39	41
		3	117	121	8,57	21	71	38	38



Se observará que la resistencia al impacto de las barras es verdaderamente muy buena y que la resistencia al impacto de las planchas, aunque menor que la de las barras del mismo acero, también es buena.

5 Es algo difícil determinar la contribución de los elementos individuales a las propiedades. Sin embargo, debe haber por lo menos un 4,5 % de níquel para obtener una buena templabilidad y una buena resistencia mecánica, y el contenido de níquel debe ser por lo menos cinco veces el contenido
10 de aluminio, si ha de obtenerse una buena tenacidad. Si es necesaria la dureza de Rc 40 ó superior, lo más ventajoso es un contenido de níquel de más del 5 %, por ejemplo del 6 % o superior, en particular si se emplean cantidades de los otros
15 elementos, especialmente de aluminio y molibdeno, en los límites inferiores de sus márgenes.

El carbono no se comporta de la misma manera que, por ejemplo, en los aceros al carbono templados por enfriamiento brusco y revenidos. Es decir, no se sigue necesariamente que con contenidos de carbono bajos, por ejemplo de 0,04 % a, por
20 ejemplo, 0,08 %, se obtenga un aumento de tenacidad. De hecho, para contenidos de níquel por encima del 7 %, la resistencia mecánica y la tenacidad permanecen virtualmente inafectadas por el contenido de carbono a lo largo de todo el margen de
25 0,04 a 0,16 % de carbono, como se muestra en los resultados obtenidos con los aceros números 1, 5, 6 y 10. Por consiguiente, resulta ventajoso que el contenido de carbono sea bajo a fin de mejorar la aptitud para la soldadura. Si el contenido de carbono excede del 0,25 %, se influye de manera adversa sobre la tenacidad y para obtener una aptitud óptima para el mecani-
30 zado y para la fabricación, el contenido de carbono no debe



exceder del 0,2 % y, más ventajosamente, no debe exceder de 0,16 %.

El contenido de aluminio debe ser de al menos 0,6 % puesto que, de otro modo, el ablandamiento originado por el
5 revenido anula el temple de precipitación, dando como resultado una considerable pérdida de resistencia mecánica. Si el contenido de aluminio excede del 1,2 %, se pierde tenacidad.

Si el contenido de molibdeno es inferior al 0,5 %, se pierde resistencia mecánica y existe una tendencia a la fragilidad por revenido. Si el contenido de molibdeno excede del
10 1,5 %, se reduce la tenacidad. Se prefiere mantener el contenido de molibdeno a un nivel inferior al 1,5 % con el fin de obtener una combinación óptima de propiedades. El wolframio puede reemplazar al molibdeno por completo o en parte, pero
15 el molibdeno es mucho más eficaz que el wolframio y, por lo tanto, preferido.

Las cantidades de manganeso por encima del 0,5 % tienen un efecto contrario sobre la tenacidad y, el contenido de manganeso no debe exceder, preferiblemente, del 0,3 %.

El cromo resulta ventajoso cuando se desea una elevada
20 templabilidad y, en general, presta resistencia mecánica al acero pero reduce la tenacidad. De las impurezas comunes, el estaño es indeseable puesto que hace que el acero sea quebradizo. El estaño se introduce comunmente en el acero con la
25 chatarra utilizada para la fabricación del acero, y debe tenerse la precaución de que el contenido de estaño no sea nunca mayor del 0,01 % y, si es posible, inferior al 0,005 %.

Una característica ventajosa del acero de acuerdo con la invención es que no es necesario un control especial de
30 los contenidos de azufre y fósforo. Así, puede haber presen-

303696



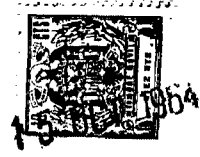
tes hasta 0,03 % de azufre y hasta 0,03 % de fósforo, respectivamente.

Los efectos generales del aluminio, molibdeno, manganeso y cromo sobre la resistencia a la deformación permanente ó límite de elasticidad y sobre la tenacidad, se indican en la Tabla III, cuyos aceros fueron tratados térmicamente de la misma manera que los indicados en la Tabla I.

TABLA III

Acero Nº	C %	Ni %	Al %	Mo %	Cr %	Mn %	Si %	Y.S kg/mm ²	C.V.N. kg-m
<u>Efecto del aluminio</u>									
14	0,05	9,8	0,97	0,95	-	0,18	0,12	137	4,15
15	0,04	9,95	1,9	0,95	-	0,19	0,11	162	0,97
<u>Efecto del molibdeno</u>									
16	0,06	5,7	0,99	-	-	0,14	0,13	91	23,8
17	0,07	5,4	0,93	0,99	0,11	0,10	0,03	111	17,8
18	0,05	5,9	0,9	1,50	0,11	0,20	0,17	121	9,12
19	0,08	5,5	1,01	1,97	0,11	0,16	0,11	124	3,59
<u>Efecto del cromo</u>									
20	0,04	5,22	0,87	0,91	0,50	0,21	0,14	115	4,84
21	0,06	5,17	0,90	0,92	1,48	0,21	0,14	120	3,59
22	0,10	5,22	0,88	0,95	0,45	0,17	0,10	119	5,53
23	0,10	4,85	0,89	0,89	1,40	0,21	0,14	127	3,87
<u>Efecto del manganeso</u>									
24	0,05	5,23	0,96	0,93	0,06	0,30	0,22	106	4,15
25	0,08	5,18	0,82	0,92	0,08	0,62	0,22	119	3,04
26	0,06	5,25	0,92	0,94	0,13	0,99	0,27	127	1,94

303696



El efecto de un contenido de aluminio demasiado elevado es indicado claramente por el acero N° 15, el cual no es un acero de acuerdo con la invención.

5 El acero n° 16, que no contiene nada de molibdeno y que, por lo tanto, no es un acero de acuerdo con la invención, tiene una resistencia a la deformación permanente o límite de elasticidad de 91 kg/mm² solamente.

10 Los aceros números 25 y 26 contienen tanto manganeso que no son aceros de acuerdo con la invención, y se observa que ambos tienen valores de impacto inferiores a 3,5 kg-m.

15 Los aceros números 24, 25 y 26 respectivamente, contienen 0,012 %, 0,012 % y 0,011 % de estaño y aún estas cantidades pequeñas hicieron los aceros quebradizos como se indica por las cifras de la resistencia al impacto. Si el estaño de estos aceros hubiera sido inferior al 0,003 %, las cifras del impacto habrían sido mucho más elevadas.

20 No es siempre necesario enfriar bruscamente el acero en un líquido desde la temperatura de revenido austenítico, puesto que por enfriamiento al aire se pueden obtener resistencias a la deformación permanente de aproximadamente 105 kg/mm² y esto es, por lo común, más que suficiente. El enfriamiento al aire tiene la ventaja adicional de que elimina substancialmente cualquier tendencia a la deformación y alabeo, y es ventajoso cuando la forma del producto es tal que no resulta conveniente el enfriamiento brusco en un líquido. Este enfriamiento al aire es particularmente útil cuando el acero
25 contiene de 7 a 10 % de níquel, puesto que se pueden obtener todavía elevadas resistencias a la deformación permanente, como se indican en la Tabla IV. Las probetas de los aceros
30 indicados en esta Tabla fueron enfriadas al aire desde una tempera-

303696



tura de revenido austenítico de 870° C y, seguidamente, fueron envejecidos a 540° C durante dos horas.

TABLA IV

5	Acero Nº	C %	Ni %	Al %	Mo %	Cr %	Mn %	Si %	Y.S. (kg/mm ²)
	27	0,13	10,0	0,95	0,98	0,11	0,24	0,17	122
	28	0,06	9,8	1,05	1,48	0,12	0,19	0,11	126
	12	0,10	7,52	1,10	1,10	0,11	0,21	0,3	120
10	2	0,13	7,3	0,91	0,95	0,12	0,24	0,17	115

El efecto del sobre-envejecimiento mencionado arriba, el cual es particularmente útil con aceros que contienen de 7 a 10 % de níquel, se indica en la Tabla V. Las probetas mecanizadas a partir de plancha de aceros que tienen las composiciones indicadas en esta tabla, fueron sometidas a revenido austenítico durante una hora, templadas por enfriamiento brusco en un líquido y envejecidas a 540° C durante dos horas (tratamiento térmico A) o envejecidas a 565° C durante dos horas (tratamiento térmico B) o envejecidas a 595° C durante dos horas (tratamiento térmico C). Los aceros números 9 y 12 fueron templados por enfriamiento brusco en agua y los aceros números 29 y 30 fueron templados por enfriamiento brusco en aceite.



TABLA V

Acero Nº	C %	Ni %	Al %	Mo %	Cr %	Mn %	Si %	T.T.	Y.S kg/mm ²	C.V.N. kg-m	
5	9	0,06	7,05	0,81	0,93	0,10	0,19	0,17	A	122	6,50
									B	116	7,19
	29	0,04	7,3	0,97	1,0	-	0,2	0,1	A	135	3,73
									C	111	9,12
	12	0,10	7,52	1,10	1,10	0,12	0,12	0,3	A	141	3,87
									B	138	4,01
10	30	0,04	9,8	0,91	0,75	-	0,2	0,1	A	132	4,29
									C	104	10,4

Como es natural, se entiende que la temperatura de sobre-envejecimiento debe ser elegida cuidadosamente como lo indica una comparación de los aceros numeros 12 y 29, que tienen composiciones similares. El acero nº 12 envejecido a 565º C no exhibió un aumento muy grande de tenacidad y la resistencia mecánica permaneció aproximadamente la misma, es decir que a 565º C el acero nº 12 estaba aproximadamente a su temperatura de envejecimiento máxima. El acero nº 29 resultó mucho más tenaz al envejecimiento a 595º C y la resistencia a la deformación permanente o limite de elasticidad era todavía de más de 105 kg/mm². Naturalmente, se puede obtener un mejor equilibrio de resistencia mecánica y tenacidad con una temperatura de sobre-envejecimiento intermedia de 580º C.

La presente solicitud que corresponde a la presentada en E. U. A. el 3 de septiembre de 1.963 con el número 306.340 se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.



N O T A

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

1.^a.- Mejoras introducidas en la fabricación de aceros aleados que contienen de 0,04 % a 0,25 % de carbono, de 4,5 %
10 a 10 % de níquel, de 0,6 % a 1,2 % de aluminio, siendo la relación de níquel a aluminio de 5 a 1 como mínimo, de 0,5 % a 2 % en total de molibdeno o tungsteno o de ambos, manganeso que no excede de 0,5 %, de 0 a 5 % de cobalto, de 0 a 1,5 % de cromo y de 0 a 2 % de cobre, siendo el resto hierro, a excepción de las impurezas y elementos incidentales comunmente
15 presentes en los aceros al níquel aluminio.

2.^a.- Mejoras introducidas en la fabricación de aceros de acuerdo con el punto 1 que contienen de 0,04 % a 0,16 % de carbono, de 5 % a 10 % de níquel, de 0,7 % a 1,2 % de aluminio, de 0,75 % a 1,5 % de molibdeno, manganeso que no excede de 0,3 % y silicio que no excede de 0,3 %, con o sin cromo que no excede del 1 %.
20

3.^a.- Mejoras introducidas en la fabricación de aceros de acuerdo con el punto 2 en los que el contenido de níquel es como mínimo del 5 % y el contenido de aluminio no excede de 1,1 %.
25

4.^a.- Mejoras introducidas en la fabricación de aceros de acuerdo con los puntos 2 ó 3 en los que el contenido de carbono no excede de 0,1 %.
30

5.^a.- Un procedimiento en el que el acero de acuerdo



con cualquiera de los puntos precedentes es hecho austenítico calentando dentro del margen de temperaturas de 845 a 925° C, es enfriado y es recalentado en el margen de temperaturas de 510 a 607° C hasta el endurecimiento por precipitación, y es
5 revenido.

6º.- Mejoras introducidas en la fabricación de aceros aleados.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede y para los fines que se han especificado.

10 Esta Memoria consta de quince hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 15 OCT. 1954

P. A.

Alberto de Elzeaso
Por Poder.
[Handwritten signature]

3° 36 96

mtr/.

M. Cay