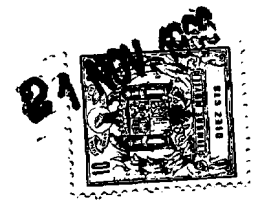


33764



PATENTE DE INVENCION

Case No.M-54142.

Memoria Descriptiva

sobre

"Procedimiento para ablandar aceros
de alta aleación"

==.==.==.==.==.==.==

Solicitante: UNITED STATES STEEL CORPORATION, entidad norteamericana,
residente en 525 William Penn Place, Pittsburgh, Estado
de Pensilvania, EE.UU. de A.

==.==.==.==.==.==.==

5. Esta invención se relaciona con un método de
reblandecimiento de aceros de alta aleación que contie-
nen carbono. Más particularmente, la invención se rela-
ciona con un método de reblandecimiento de aceros de al
ta aleación que tienen carbono, níquel y otros elementos



aleadores.

5. Un sistema de aleación que ha recibido recientemente una gran atención debido a su elevada resistencia elástica, de 12546 a 14637 Kg/cm², es un grupo de aceros que consiguen su resistencia mediante una combinación de precipitación de carburos y endurecimiento por envejecimiento. Tales aceros contienen una gran proporción de níquel, por lo menos el 4%, y otros elementos aleadores tales como cromo, molibdeno, cobalto y vanadio, así como una notable cantidad de carbono, aproximadamente el 0,06% ó más. Debido al contenido relativamente elevado en carbono y aleación, estos aceros son muy duros en la condición laminada, haciendo muy difícil su reducción en frío. Además, los aceros no responden a tratamientos de reblandecimiento convencionales, es decir recocido, debido a su capacidad de endurecimiento, que impide la formación de productos de transformación a elevadas temperaturas y debido también a su temperatura crítica inferior está rebajada lo que impide un eficaz recocido subcrítico.

10.

15.

20.

25. Las propiedades mecánicas de los aceros de este tipo hacen muy interesante su empleo como metales de relleno en soldaduras de elevadas resistencias 12546 a 14637 Kg/cm². Sin embargo, si estos aceros han de emplearse como metal de relleno para soldaduras, han de reblandecerse lo suficiente para poderse estirar en forma de alambre para su depósito mediante procedimientos convencionales de soldadura. Las operaciones de estirado de alambre pueden efectuarse mejor cuando la dureza del material en barras es del orden de 10 a 20 R_C; sin

30.



embargo, el alambre puede estirarse en frío a partir de barras de una dureza de hasta 29 R_C. La dureza inicial de los aceros de alta aleación que contienen carbono, anteriormente descritos, es tan elevada que sería muy deseable un reblandecimiento de tales composiciones de acero entre 20 y 25 R_C para su estirado en forma de alambre e incluso sería satisfactorio reducir la dureza a menos de 30 R_C.

La presente invención proporciona un método de reblandecimiento de aceros de aleación que contienen carbono, de elevada resistencia elástica, del tipo descrito, que comprende una serie de excursiones térmicas dentro de la región intercrítica, seguido de un recocido subcrítico. Esto se consigue sometiendo tales aceros por lo menos a dos ciclos de calentamiento y enfriamiento, en los que el acero es calentado a los niveles de temperaturas intercríticas de 621 a 760°C aproximadamente y luego se enfría al nivel de transformación martensítica, después de lo cual se recuece el acero al nivel subcrítico de 566 a 634°C aproximadamente, durante un tiempo suficiente para reducir más aún su dureza. Después de recocido, el acero es enfriado respecto a la temperatura de recocido para permitir su manipulación. Este método es particularmente beneficioso para reblandecer aceros de alta aleación que contienen carbono por lo menos en un 0,06%, un 4% por lo menos de níquel, y otros elementos aleadores (ordinariamente dos por lo menos) del grupo consistente en cromo, molibdeno, vanadio y cobalto.

La invención se explicará más detalladamente



con la siguiente descripción y ejemplos, que muestran las condiciones críticas de tratamiento y los resultados beneficiosos obtenidos de las mismas.

- Como se indica anteriormente, los aceros de aleación de elevada resistencia elástica con los que se relaciona la invención no son susceptibles de reblandecimiento por las prácticas de recocido convencionales. Para demostrar esto, se aplicaron cinco tratamientos diferentes de reblandecimiento convencionales a una serie de composiciones descritas en la tabla I, cuyos resultados se indican en la tabla II. Debe destacarse que entre las composiciones hay tres que no contienen cromo ni molibdeno, y una que no contiene a uno de ellos. Los aceros carantes de cromo o molibdeno o de ambos pueden reblandecerse mediante tratamiento convencionales. Sin embargo, los otros aceros de este tipo, que contiene cromo y molibdeno, no son reblandecidos materialmente por las prácticas de recocido convencionales.
- 5.
- 10.
- 15.



TABLA I*

Designación	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Co	No	Al
A	0.12	0.002	0.001	0.005	0.10	10.1	---	7.26	---	0.008
B	0.12	0.007	0.001	0.005	0.094	10.2	1.01	6.11	0.98	0.005
C	0.12	0.011	0.002	0.006	0.082	10.2	1.04	8.12	0.97	0.006
D	0.12	0.007	0.002	0.007	0.11	10.2	1.06	8.11	1.90	0.005
E	0.11	0.004	0.001	0.006	0.105	10.1	1.91	6.14	0.92	0.007
F	0.12	0.006	0.001	0.006	0.10	10.1	2.10	8.15	1.01	0.007
G	0.15	0.004	0.002	0.006	0.094	10.1	1.02	6.19	1.00	0.008
H	0.15	0.005	0.001	0.005	0.098	10.1	---	8.08	1.00	0.008
I	0.13	0.002	0.001	0.007	0.10	10.0	1.02	8.05	---	0.003
J	0.15	0.005	0.002	0.006	0.17	10.2	1.05	8.21	1.02	0.007
K	0.17	0.008	0.002	0.006	0.089	10.1	1.03	10.5	1.00	0.009
L	0.16	0.005	0.002	0.005	0.10	10.1	1.98	6.08	1.05	0.006
M	0.16	0.006	0.001	0.006	0.095	10.2	2.08	8.14	1.02	0.008
N	0.23	0.019	0.002	0.008	0.093	10.1	1.02	6.06	0.98	0.004
O	0.21	0.006	0.001	0.005	0.099	10.1	1.03	8.04	1.01	0.009
P	0.20	0.002	0.001	0.006	0.077	10.0	1.97	6.20	1.00	0.005
Q	0.18	0.003	0.001	0.006	0.087	10.0	2.05	8.14	---	0.008
R	0.20	0.005	0.001	0.006	0.084	7.05	3.13	6.33	1.02	0.006

* Análisis de cucharas.

TABLA II

Dureza Rockwell C

Tratamientos convencionales

Designación	Recocido subcrítico		Recocido cíclico austenítico		Recocido cíclico intercrítico
	Sobre barra recibida después de calentamiento a 621°C/24 horas	Sobre barra templada a partir de 927°C, 621°C/48 horas	760°C, cuatro ciclos entre 621°C y 677°C, enfriamiento en horno	Igual, más recocción a 621°C/48 horas	
A	22.0	21.2	20.6	18.5	20.4
B	36.8	28.6	41.4	32.5	25.5
C	35.1	29.1	40.5	32.9	25.2
D	36.6	28.5	44.1	30.8	23.6
E	34.7	27.8	42.3	29.8	22.9
F	33.7	28.6	44.2	33.1	24.9
G	38.2	30.0	41.2	33.1	24.7
H	36.2	29.8	34.6	31.9	25.9
I	29.6	24.5	37.1	28.8	22.2
J	36.8	29.7	42.4	34.2	20.0
K	38.1	30.7	42.8	33.0	25.0
L	36.0	29.6	45.1	32.2	23.1
M	35.6	28.6	46.7	32.6	26.8
N	37.0	33.4	44.2	34.4	30.4
O	38.2	31.9	43.9	34.0	28.4
P*	35.5	30.9	48.2	33.6	23.3
Q	33.4	26.9	43.9	30.1	20.2
R	33.5	28.8	44.9	29.0	22.6

NOTA: *Dureza para la composición P, tal como se recibe (laminada en caliente) - 48,0 R_C
Dureza después de normalizar (1038°C, horno frío) la composición P - 42,0 R_C.





- Las prácticas de reblandecimiento indicadas en la tabla II incluyen tres recocidos subcríticos y dos recocidos cíclicos austeníticos y un tratamiento de normalización. El primer recocido subcrítico implicó el calentamiento de barras laminadas en caliente, tal como se recibieron, a 621°C durante 24 horas. El segundo recocido subcrítico implicó el calentamiento de barra templada a partir de una temperatura de laminación en caliente típica 927°C a 621°C durante 48 horas. El tercer recocido subcrítico implicó el calentamiento de barra templada a partir de 927°C a 593°C durante 24 horas. El primer recocido cíclico austenítico implicó el calentamiento de barra, tal como fué recibida a 760°C y luego, después de enfriarse a 621°C , la sujeción de la barra a cuatro ciclos de calentamiento y enfriamiento en los que se calienta el acero entre 621°C y 677°C y se enfría en el horno después de cada ciclo. El segundo recocido cíclico austenítico implicó las mismas condiciones que el primer recocido cíclico austenítico; sin embargo, la barra recibió además un recocido final a 621°C durante 48 horas. La dureza típica del acero tal como se recibe y después de su normalización se indica en la nota colocada al pie de la tabla II.
- Para comparar el efecto de los tratamientos de reblandecimiento convencionales con el método de reblandecimiento de aceros de aleación de elevada resistencia elástica de acuerdo con la invención, se aplicaron tratamientos a aceros de la misma composición de acuerdo con la invención y se indicaron los resul-



- tados sobre la dureza en la última columna de la tabla II. En el último tratamiento, los aceros fueron sometidos a cuatro ciclos calentándolos a 704°C y templándolos en agua, después de lo cual recibieron un recocido
5. final a 593°C durante 16 horas. Como puede verse, las composiciones de acero son en general considerablemente más blandas después de tratarse de acuerdo con la invención que cuando se tratan mediante prácticas de recocido convencionales. Los datos de la tabla II indican también que las barras laminadas en caliente son muy duras en la condición en que se reciben, como se muestra mediante una dureza de $48 R_C$ de acero típico P (véase nota al pie). Un recocido subcrítico (calentamiento a una temperatura menor que la temperatura de transformación inferior de 621°C sobre las barras tal como se recibieron no consiguió reblandecer los aceros por debajo de $29 R_C$, con la excepción, anteriormente indicada, del acero A, que no contenía ni cromo ni molibdeno. Se ve igualmente que duplicando el tiempo de recocido a 48 horas no se reduce notablemente la dureza. Se obtuvo cierta reducción de dureza duplicando el tiempo de recocción sobre piezas de barras que habían sido templadas en agua a partir de 1038°C pero, como se muestra en la tabla, muchos aceros eran todavía demasiado duros para un estirado efectivo en forma de alambre. Como se expondrá más adelante, temperaturas de recocido inferiores a 593°C han resultado endurecer los aceros debido al efecto de endurecimiento por envejecimiento del cromo y el molibdeno. El esfuerzo para producir una morfología favorable de carburo mediante ciclo austenif-
- 10.
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

21 NOV 1954

vtico, como se muestra en la tabla II, resultó también insatisfactorio, puesto que las durezas obtenidas eran superiores a las de las barras tal como se recibieron.

- Se supone que el nuevo tratamiento de reblandecimiento hace uso del efecto reblandecedor de grandes cantidades de austenita revertida estable. Esta estructura se presenta en aceros de elevado contenido en níquel, que son sometidos a ciclos térmicos dentro de la gama de temperaturas intercríticas que producen parches de austenita enriquecida en aleación, que son estables después de enfriarse a temperatura ambiente. Así, la serie de excursiones térmicas dentro de la zona intercrítica de acuerdo con el procedimiento produce una notable cantidad de austenita revertida y enriquecida en aleación. El recocido subcrítico final sobreenvejece a la martensita transformada y toda martensita nueva formada por el temple de la austenita revertida inestable. Como se describirá más adelante, se obtienen resultados óptimos realizando ciclos entre la gama de temperaturas de 621 a 760°C y la de transformación martensítica y recociendo a una temperatura del orden de 566 a 634°C. Aunque puede conseguirse algún reblandecimiento, satisfactorio para muchos fines, recociendo durante dos horas tan sólo, es preferible realizar el recocido final durante 10 horas por lo menos, aproximadamente, y durante 16 horas por lo menos, preferiblemente. Por lo general, cuanto mayor sea el tiempo de recocido, menor será la dureza.

- El efecto de la variación en la temperatura del ciclo intercrítico se demuestra por los resultados in-



dicados en la tabla IV sobre composiciones descritas en la tabla III. Como puede verse, se produce una mayor reducción de dureza dentro de la gama de temperaturas de 649 a 732°C aproximadamente, aumentando algo la dureza por encima de 732°C.

5.



TABLA III*

Designación	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Co	V	Al
S	0.11	0.010	0.0016	0.006	0.090	10.1	1.02	0.99	7.57	---	0.006
T	0.105	0.78	0.007	0.004	0.23	5.01	0.55	0.55	---	0.092	0.014

*Análisis de verificación

TABLA IV

Dureza Rockwell C

Designación	Ciclo interior tico, tempera- tura °C	Después de enfriarse en el horno desde 1038°C	Dureza Rockwell C	
			Después de 1 ciclo *	Después de 4 ciclos
S	621	37.0	---	32.0
S	649	37.0	35.5	30.5
S	677	37.0	38.0	33.5
S	704	37.0	40.0	38.5
S	732	37.0	43.0	43.0
S	760	37.0	44.0	42.5
T	621	27.5	---	28.5
T	649	27.5	30.0	27.0
T	677	27.5	31.0	29.5
T	704	27.5	38.0	36.5
T	732	27.5	42.0	37.5
T	760	27.5	43.0	42.0
				Después de 4 ciclos y recocción
				29.0
				31.0
				23.0
				28.0
				29.5
				33.5
				27.5
				26.0
				26.5
				25.5
				28.5
				32.0

*Ciclo - 1 hora a temperatura y templado en agua a temperatura ambiente.
Recocción - 16 horas a 593°C y templado en agua a temperatura ambiente.



- En la tabla V se muestran resultados adicionales para demostrar que la condición inicial del acero no afecta materialmente a la dureza final. En esos ejemplos, se realizaron varios tratamientos iniciales sobre muestras de composición S; debe indicarse también que no se produjo ninguna reducción satisfactoria en la dureza des de los tratamientos iniciales y sólo después de someter el acero a ciclo y recocido de acuerdo con la invención (última columna de la tabla V), se redujo materialmente la dureza.
- 5.
- 10.

TABLA V
Dureza Rockwell C

<u>Designación</u>	<u>Tratamiento térmico inicial*</u>	<u>Después del tratamiento inicial</u>	<u>Después de 1 ciclo**</u>	<u>Después de 4 ciclos</u>	<u>Después de 4 ciclos y recocción</u>
S	1	43.5	43.0	34.0	28.5
S	2	37.5	45.5	35.0	29.5
S	3	40.5	42.5	34.0	28.5
S	4	37.0	42.5	28.5	27.5
S	5	38.5	40.0	33.0	27.5
T	En estado de laminación	---	39.5	34.0	24.0

*1 - Templado con agua a partir de 816°C

2 - Enfriado en el horno a partir de 816°C

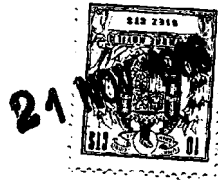
3 - Templado en agua a partir de 1038°C

4 - Enfriado en el horno a partir de 1038°C

5 - Enfriado en el horno desde 1038°C hasta temperatura ambiente y templado con nitrógeno líquido.

**Ciclo - 1 hora a 704°C y templado en agua a temperatura ambiente

Recocción - 16 horas a 593°C y templado en agua a temperatura ambiente.



El efecto de la variación en la temperatura de recocción final se muestra en la tabla VI. En estos ejemplos, se sometieron a ciclo muestras de composiciones S y T cuatro veces a 677°C (calentadas a 677°C y luego enfriadas por debajo del nivel de transformación martensítica) y luego se recoció a diversas temperaturas comprendidas entre 566 y 649°C. Como puede verse, se obtienen unos resultados óptimos en la gama de temperaturas comprendida entre 566 y 634°C aproximadamente. A 649°C empieza a aumentar la dureza.

TABLA VI

	<u>Designación</u>	<u>Temperatura de recocido, °C</u>	<u>Dureza Rockwell C después de 16 horas de recocición</u>	<u>Dureza Rockwell C después de 48 horas de recocición</u>
15.	S	566	27.5	26.0
	S	593	26.5	25.5
	S	621	26.5	27.5
	S	649	28.5	32.5
20.	T	566	25.0	22.5
	T	593	24.0	21.5
	T	621	24.0	22.0
	T	649	25.5	28.5

25. Tratamiento inicial - Enfriado en el horno a partir de 1038°C y sometido a 4 ciclos a 677°C.

Si el acero no es sometido a ciclo sino simplemente enfriado en el horno y recocido, se obtienen resultados insatisfactorios. Esto se muestra en la tabla VII, que indica los resultados de tratamientos sobre muestras

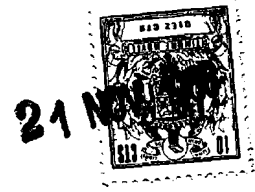


5. de composiciones S y T. Se ve que la dureza no es reducida materialmente después de recocer durante 16 horas o incluso 48 horas después de enfriarse en el horno a partir de 1038^oC. Sin embargo, cuando las muestras se someten a ciclos antes de recocerse, la resultante dureza es muy inferior.

TABLA VII

Designación	Dureza Rockwell C después de enfriar se en el horno des- de 1038°C	Dureza Rockwell C después de recocer se durante 16 ho- ras a 593°C	Dureza Rockwell C después de 4 ci- clos a 677°C, se- guido de 16 horas a 593°C	Dureza Rockwell C después de 4 ciclos a 677°C, seguido de 48 horas a 593°C
S	37.0	32.0	26.5	25.5
T	27.5	30.5	24.0	21.5





La importancia del tratamiento de recocido final en el reblandecimiento de estos aceros se demuestra por los datos indicados en la tabla VIII. En estos ejemplos, se calentaron muestras de las composiciones de acero hasta la zona intercrítica, se mantuvieron durante una hora y se templaron en agua. Una sujeción adicional a ciclo (2 veces más, columna tercera) disminuyó generalmente la dureza. En casi cada caso, la dureza del acero se redujo sin embargo en el mayor grado después de la recocción final a 593°C durante 16 horas.

TABLA VIII

	<u>Designación</u>	<u>Calentamiento a 704°C/1 hora, temple en agua (2 veces)</u>	<u>Lo mismo, mas 704°C/1 hora, temple en agua (2 veces adicionales)</u>	<u>Lo mismo, mas 593°C/16 horas, temple en agua</u>
15.	A	30.9	34.1	20.4
	B	31.3	29.4	25.5
	C	32.0	30.9	25.2
	D	25.3	25.5	23.6
20.	E	31.9	29.2	22.9
	F	33.8	31.6	24.9
	G	34.0	32.6	24.7
	H	21.3	19.2	25.9
	I	32.1	31.2	22.2
25.	J	33.7	33.3	20.0
	K	33.2	34.6	25.0
	L	33.3	33.1	23.1
	M	31.1	30.6	26.8
	N	36.5	38.7	30.4
30.	O	37.2	34.4	28.4
	P	36.9	33.0	23.3
	Q	31.7	30.0	20.2
	R	25.2	25.4	22.6



En temple después de cada excursión térmica al nivel intercrítico causa la formación de martensita nueva a partir de austenita revertida inestable, convirtiéndose luego la martensita en martensita sobreenvejecida y en austenita revertida en el subsiguiente ciclo intercrítico. La recocición de 566 a 634°C reblandece más los aceros debido al sobreenvejecimiento de la martensita nueva formada a partir del ciclo intercrítico final. El tiempo a temperatura intercrítica durante el recocido no es crítico y pueden obtenerse resultados satisfactorios con sólo una exposición de unos segundos. Tiempos superiores a 1 hora por ciclo pueden no ser necesarios. Virtualmente todos los aceros de los sistemas de aleaciones implicados serán reblandecidos empleando las condiciones de recocido anteriormente descritas.

Por la anterior descripción es evidente que la condición inicial del acero no afecta apreciablemente a su dureza final. Aunque puede producirse algún reblandecimiento en estos aceros mediante fusión de carburos, la mayor contribución al reblandecimiento se considera es la formación de austenita revertida estable. Se supone que la presencia de notables cantidades, es decir del 10% aproximadamente, por lo menos, de austenita revertida estable, tiene por resultado un acero más blando porque es de menor dureza que la ferrita y porque absorbe a los elementos endurecedores secundarios, manteniéndolos así en solución. Hemos observado que una cantidad máxima de austenita revertida estable producirá la estructura más blanda y que la sujeción a ciclo refina el tamaño granular e incrementa el área superficial granular. Es posible que



- Los granos más pequeños proporcionen más imperfecciones e incrementen los lugares de nucleación para la austenita. Esto acelera el ritmo de nucleación de la austenita y el tiempo para que se forme la cantidad en equilibrio termodinámico de la austenita, puesto que se forma y nuclea más austenita con cada ciclo hasta que existe una cantidad en equilibrio. Parece ser que la lentitud de la reacción a las temperaturas implicadas causa menos formación de austenita después de un ciclo relativamente largo respecto a la que se forma después de muchos ciclos más cortos. Durante el recocido, la martensita es templada a ferrita y carburo y forma una austenita de contenido superior en aleación. Recocidos relativamente más largos permiten que ocurra la transformación lenta y se forme suficiente difusión de parte de la austenita de elevada aleación. Esta austenita forma muy poca o ninguna martensita al templarse. La microestructura final consta de ferrita, austenita revertida estable y carburos.
- 5.
- 10.
- 15.

- A la vista de lo que antecede, es evidente que pueden introducirse varios cambios y modificaciones dentro del ámbito de la invención y en consecuencia aquél sólo deberá limitarse por las adjuntas reivindicaciones.
- 20.

N O T A

- Descrita suficientemente la naturaleza del invento así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental. También se hace constar que el invento corresponde a una solicitud de patente presentada en Norteamérica con el nº Ser. No.
- 25.
- 30.



- 510.356 de 29 de Noviembre de 1965, acogiendo por lo tanto a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor, siendo lo que constituye la esencia del referido invento y por lo que se solicita Patente de Invención por 20 años en España sobre: "PROCEDIMIENTO PARA ABLANDAR ACEROS DE ALTA ALEACION", caracterizándose por lo siguiente:
- 1.- Procedimiento para ablandar aceros de alta aleación que tienen por lo menos un 0,06% de carbono, por lo menos un 4% de níquel y otros elementos aleadores del grupo consistente en cromo, molibdeno, vanadio y cobalto, caracterizado porque comprende someter dicho acero por lo menos a dos ciclos de calentamiento y enfriamiento, en los que el acero es calentado al nivel de temperaturas intercríticas de 621 a 760°C aproximadamente, enfriándose luego al nivel de transformación martensítica, el recocido de dicho acero a un nivel de temperaturas subcríticas de 566 a 634°C aproximadamente, y el enfriamiento del mismo para permitir su manipulación.
 - 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha temperatura intercrítica es del orden de 649 a 732°C aproximadamente.
 - 3.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho acero se somete a cuatro ciclos de calentamiento y enfriamiento antes de su recocido.
 - 4.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho recocido se efectúa durante 10 horas por lo menos.
 - 5.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho recocido se efectúa durante 16



horas por lo menos.

6.- "Procedimiento para ablandar aceros de alta aleación", tal y como queda substancialmente descrito en la presente memoria.

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

Madrid,

UNITED STATES STEEL CORPORATION.

J. GOMEZ ACEBO Y MODEY

En Madrid, E. ...