

PATENTE DE INVENCION

Case 1141AB.

SECCION TECNICA
CLASIFICACION I. P. C.
CLASE <u>e 21</u>
SUBCLASE <u>b</u>

23



Memoria Descriptiva

sobre:

"Procedimiento para el tratamiento térmico de acero al níquel".

=====
38 29 62

Solicitante: ARMCO STEEL CORPORATION, entidad norteamericana,
residente en 703 Curtis Street, Middletown, Ohio,
EE.UU. de A.

=====

Esta invención se relaciona con un acero tratado térmicamente perfeccionado que contiene del 0,25 al 10,0% aproximadamente de níquel y preferiblemente el 0,45% por lo menos, y con el método para la producción de dicho material, en el que se consiguen incrementos en la tenacidad

5.



sustanciales. En servicio, el acero tratado térmicamente es ideal para su uso a temperaturas bajas y criógenas. Aunque la temperatura de servicio criógeno puede variar con las aplicaciones, para los efectos de la siguiente exposición se considerarán las temperaturas criógenas como las inferiores a -100°C aproximadamente.

Generalmente, los productos ferrosos, tales como los usados en la construcción de equipo y sus estructuras de soporte, se consideran materiales dúctiles. Es decir, cuando se someten a tensiones o fuerzas excesivas, los productos cederán normalmente con lentitud antes de que se produzcan el fallo final. Sin embargo, bajo condiciones severas, la mayoría de los productos ferrosos falla por fragilidad.

La tendencia del material ferroso a fallar por fragilidad aumenta con el descenso de las temperaturas. Por consiguiente, se han creados ensayos para medir la susceptibilidad de los materiales ferrosos a la fractura por fragilidad. Uno de tales ensayos para determinar la tenacidad de los materiales ferrosos es uno de impacto en barra pre-enmescada. El objetivo de este ensayo es medir la energía absorbida por la barra tras la aplicación por impacto de una carga medida. Midiendo las energías absorbidas de una barra enmescada normal a varias temperaturas, es posible clasificar materiales de acuerdo con su tenacidad. El descenso de la temperatura de ensayo tiene por resultado menores proporciones de energía absorbida medida, debido al cambio en el modo de fractura desde dúctil a frágil.

La temperatura a la que se produce esta transi-



5 ción ha sido definida como temperatura de transición. Se han establecido especificaciones basadas en esta característica, en virtud de las cuales se cualifica un determinado material ferroso para su servicio hasta una temperatura baja o criógena especificada. La experiencia ha demostrado que a temperaturas criógenas muy bajas se requieren materiales ferrosos ricos en aleación. El níquel, que es un elemento aleador relativamente costoso, es un aditivo destacado para los materiales ferrosos usados bajo condiciones criógenas.

10 En un esfuerzo para mejorar el comportamiento en servicio a bajas temperaturas de los productos ferrosos, se han investigado varios factores metalúrgicos. Uno de los factores que se sabe afectan a la temperatura de transición, por lo menos en lo que respecta a los aceros que contienen níquel, es el estado del acero tratado térmicamente. Hasta ahora, el tratamiento térmico comercialmente más efectivo para mejorar la tenacidad de los aceros que contienen níquel ha sido el que incluye secuencialmente: austenización, temple y revenido. Sin embargo, uno de los perfeccionamientos más recientes destinados a mejorar la resistencia a los impactos de aceros que contienen del 4,5 al 7,5% aproximadamente de níquel, se indica en la patente estadounidense nº 3.333.011, concedida el 13 de mayo de 1969 a Nagashima y colaboradores. Básicamente, dicha patente impone un tratamiento térmico que comprende la austenización seguida de temple o enfriamiento al aire y de revenido a 525-650°C. El titular de la patente indica que la austenita precipita con el revenido. Se muestran diversas variaciones que incluyen tratamientos de doble austenización a diferentes

15

20

25

30



temperaturas.

5 La presente invención representa una mejora adicional sobre los tratamientos convencionales y modificados, en virtud de la cual los aceros de contenido en níquel así tratados exhiben un incremento en su tenacidad sustancial. Para los ingenieros diseñadores y constructores esto significa que las estructuras fabricadas con esta aleación tratada térmicamente pueden utilizarse y mantenerse en condiciones de seguridad a temperaturas inferiores a las experimentadas anteriormente.

10

De acuerdo con la invención, se proporciona un procedimiento para el tratamiento térmico de acero que contiene del 0,24 al 10,0% en peso de níquel aproximadamente y que es capaz de transformarse en una estructura cristalina sustancialmente martensítica para mejorar su tenacidad a temperaturas criógenas, caracterizado por las operaciones de austenizar dicho acero a una temperatura superior al A_{C3} crítico, enfriar a una velocidad suficiente para formar martensita, calentar tal acero a una temperatura comprendida entre los A_{C3} y A_{C1} críticos, enfriar a una velocidad suficiente para transformar sustancialmente toda la austenita en martensita y finalmente someter dicho acero por lo menos a una operación de calentamiento adicional a una temperatura inferior al A_{C3} crítico.

15

20

25 En la práctica preferida de esta invención, se consigue la tenacidad perfeccionada en el acero que contiene aproximadamente del 0,25 al 10,0% en peso de níquel, siendo tal el resto de su composición química que pueda transformarse en martensita, mediante un tratamiento térmico que implica las siguientes operaciones:

30



1. Austenización seguida de temple.

2. Calentamiento a una temperatura comprendida entre los A_{C1} y A_{C3} críticos, seguido de temple, con una operación de calentamiento adicional por lo menos, concretamente:

5

3a. Calentamiento justamente por encima de la temperatura A_{C1} crítica, seguido de enfriamiento a temperatura ambiente y/o:

10

3b. Calentamiento por debajo de la temperatura A_{C1} crítica, seguido de enfriamiento a temperatura ambiente.

15

En la versión preferida, el acero contiene níquel en proporciones comprendidas entre el 0,25 y el 10,0% aproximadamente, carbono hasta un 0,25% aproximadamente, manganeso hasta un 1,5% aproximadamente, todo ello en peso, siendo el resto esencialmente hierro con pequeñas proporciones de otros elementos.

Seguidamente se hará referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

20

La figura 1 ilustre esquemáticamente el ciclo de elaboración de esta invención preferido para los aceros de elevado contenido en níquel; a los efectos de esta invención, las cuatro operaciones en orden secuencial se definen como austenización, temperización, recocido de revenido y revenido; y

25

La figura 2 ilustra esquemáticamente el ciclo de elaboración preferido de esta invención para los aceros de pequeño contenido en níquel; para los fines de la invención, las tres operaciones en orden secuencial se definen como austenización, temperización y revenido.

30

El tratamiento térmico único de esta invención



5 representa una desviación de la práctica convencional; por consiguiente, la terminología habitual no es aplicable a los tratamientos aquí considerados. Por lo tanto, se han creado dos nuevos términos, temperización y reco-

5 cido de revenido para describir más adecuadamente el tratamiento térmico. Los tratamientos que usan dichos términos se ilustran esquemáticamente en las figuras.

10 Para facilitar la comprensión de la invención, se describirán seguidamente las operaciones separadas del proceso preferido. Deberá entenderse que dichos términos, así como los cambios microestructurales que acompañan a las operaciones individuales, se aplican solamente a los aceros de contenido en níquel considerados por esta invención. Más adelante se definirá con mayor detalle la composición química de dichos aceros.

15

A. Austenización.-Es un tratamiento convencional que implica el calentamiento del acero por encima del A_{C3} crítico, seguido de enfriamiento a una velocidad suficiente para producir una estructura martensítica.

20 B. Temperización.- Se define como el recalentamiento de una estructura que ha sido austenizada y transformada en martensita, a una temperatura comprendida entre el A_{C1} crítico inferior y el A_{C3} crítico superior, seguido de enfriamiento a una velocidad tal que sustancialmente toda la austenida formada al calentarse se transforme en martensita.

25

C. Recocido de revenido.- Este se define como el recalentamiento de la estructura, producida por temperización, a una temperatura inmediatamente superior al A_{C1} crítico inferior, y enfriamiento a temperatura ambiente.

30



D. Revenido.- Tratamiento convencional que implica el calentamiento del acero a una temperatura inmediatamente inferior al A_{C1} crítico inferior y el enfriamiento a temperatura ambiente.

5 Aunque parece que las operaciones 2 y 3a anteriormente descritas, que son preferibles para los aceros de elevado contenido en níquel, son sustancialmente idénticas, puesto que cada una de ellas considera el calentamiento del acero que contiene martensita a una temperatura comprendida entre los valores críticos anteriormente citados, existen varias distinciones que deberán anotarse. Tales diferencias se enumeran seguidamente:

10

1. La morfología de las martensitas antes de cada tratamiento es diferente.

15

2. Las respectivas temperaturas no coinciden.

3. Con el recocido de revenido se forma una mayor cantidad de austenita estable; y

20

4. La temperización requiere un enfriamiento desde determinada temperatura, mientras que el recocido de revenido no lo requiere.

25

Aunque se considera que la invención reside en las citadas operaciones de elaboración, ello es así sólo en ciertos tipos de acero. El material ferroso ha de contener níquel, pero en una pequeña proporción, de manera que sea transformable en martensita, lo cual elimina muchos de los materiales de elevado contenido en níquel. El procedimiento preferido aquí ilustrado ofrece el máximo beneficio a aceros que contienen aproximadamente del 4,0 al 10,0% en peso de níquel. El procedimiento modificado que se ilustra en la

30

figura 2 es aplicable a los aceros que contienen del 0,25



al 4,0% en peso aproximadamente de níquel.

5 El acero ha de contener manganeso en una proporción suficiente para evitar la escasez del mismo en caliente. Aunque no parece ser crítico en este sistema de aleación, el manganeso puede incrementarse al 1,5% si fuese necesario para aumentar la capacidad de endurecimiento en placas gruesas. Con relación a otros elementos aleadores, el molibdeno se incluye discrecionalmente hasta un 0,5% aproximadamente por su propio efecto sobre la capacidad de endurecimiento y solidez. Aunque discrecional, se han observado propiedades óptimas cuando se han efectuado adiciones deliberadas de molibdeno, del orden del 0,10% por lo menos. El carbono deberá mantenerse por debajo de un 0,10% aproximadamente, al objeto de obtener características óptimas de soldabilidad y tenacidad a bajas temperaturas. Sin embargo, se consideran contenidos en carbono de hasta el 0,25% aproximadamente, sobre todo cuando las consideraciones de solidez son de primordial importancia. Finalmente, de ordinario se añade aluminio en una proporción suficiente para desarrollar un tamaño granular fino, cuya proporción varía entre el 0,04 y el 0,12%. Se comprenderá que pueden emplearse en lugar del aluminio vanadio u otros elementos afinadores de grano.

10

15

20

25 Puede ser útil ilustrar ahora a modo de ejemplo y comparación las mejoras desusadas en las propiedades conseguidas mediante el procedimiento de esta invención.

EJEMPLO I

30 Se austenizó a 885°C durante una hora, un acero de un 5% de níquel, cuyo análisis en porcentaje en peso era como sigue:



5	Níquel	5,10%
	Carbono	0,065%
	Manganeso	0,48%
	Fósforo	0,008%
	Azufre	0,008%
	Silicio	0,35%
	Cobre	0,16%
	Cromo	0,14%
	Molibdeno	0,25%
	Nitrógeno	0,015%
	Aluminio	0,081%
	Hierro	Resto

Y se templó en agua; se temperizó a 740°C durante una hora
 Y se templó en agua; se efectuó un recocido de revenido a
 650°C durante una hora y se templó en agua; se revino a
 10 595°C y se templó en agua. Una vez tratado, se obtuvieron
 los siguientes resultados:

	Resistencia elástica	53 Kg/mm ²
	Resistencia a la tracción	73 Kg/mm ²
	Estricción	75%
15	Alargamiento en 50,8 mm	34%
	Impacto (Pleno tamaño C _v)	
	a -170°C	15 Kgm/cm ²
	a -196°C	10,25 Kgm/cm ²

20 Para apreciar la importancia de estos resultados,
 se trató el mismo acero de manera convencional, y también
 con modificaciones de la misma, ensayándose bajo condicio-
 nes idénticas. La descripción de los tratamientos y tempe-
 raturas secuenciales, junto con los resultados, se indican
 en la tabla I.

382962

28



TABLA I

<u>MUESTRA</u>	<u>AUSTENITIZADA</u>	<u>TEMPERIZADA</u>	<u>RECOCIDO DE REVENIDO</u>	<u>REVENIDO</u>	<u>IMPACTO⁺</u>
A	885°C 1 hora.-Temple en agua	--	--		2.5
B	885°C 1 hora.-Temple en agua	--	--	595°C 1 hora Temple al aire o en agua	2.5-3.75
C	885°C 1 hora.-Temple en agua	740°C 1 hora.- Temple en agua	--	--	6.0-6.75
D	885°C 1 hora.Temple en agua	740°C 1 hora.- Temple en agua	--	595°C 1 hora Temple al aire o en agua	9.0-10.0
E	885°C 1 hora.-Temple en agua	740°C 1 hora.- Temple en agua	650°C 1 hora. Temple al aire o en agua	--	11.25-12.0
F	885°C 1 hora.-Temple en agua	740°C 1 hora.- Temple em agua	650°C 1 hora Temple al aire o en agua	595°C 1 hora Temple al aire o en agua	13.75-15.0

+Energía absorbida en el ensayo Charpy de muesca en V a -170°C, en Kgm/cm².

La tabla anterior indica una mejora en cada una de las muestras C a F (aceros de la invención) en comparación con la muestra B, que ha sido convencionalmente elaborada. Aunque la mayoría de las aplicaciones de los aceros con elevados contenidos en níquel, tales como del 4,0 al 10,0% en peso de níquel, serán satisfechas mediante



5 un proceso de tres operaciones como se ilustra en las
muestras D y E, los otros son útiles también. Por ejemplo,
el material de la muestra C podría suministrarse y trans-
formarse en piezas soldadas. Después de la soldadura, el
fabricante podría eliminar tensiones a la temperatura del
recocido de revenido o revenido para incrementar más aun
la tenacidad. Sin embargo, como se indica anteriormente,
cuando la solidez es una consideración primordial y la
soldadura sólo es secundaria, el contenido en carbono
10 puede incrementarse hasta el 0,25%.

Debe reconocerse ahora que las temperaturas espe-
cíficas aplicadas en los diversos ejemplos son significati-
vas solamente con relación al acero particular tratado.
Para los aceros de un 5% nominal de níquel anteriormente
15 usados, las temperaturas críticas A_{C1} y A_{C3} son aproxima-
damente de 635 y 800°C. Por conveniencia, y sin desear una
limitación por la definición precisa, el A_{C1} puede desig-
narse como la temperatura a la que la austenita empieza a
formarse tras el calentamiento. La temperatura A_{C3} signifi-
ca aquélla a la que se completa la transformación. Por con-
20 siguiente, como empieza o termina una transformación de fases
al pasar a través de dichas temperaturas, las temperaturas
específicas a las que esto tiene lugar depende en parte
de la fase o estado anterior del acero. Así, entre varios
factores cuyo grado de contribución no es plenamente cono-
25 cido, la microestructura y composición química del acero
son factores principales para establecer la temperatura
exacta o gama de ellas para las respectivas temperaturas
críticas. Las temperaturas pueden determinarse fácilmente
30 mediante los ciclos de calentamiento y enfriamiento aquí



descritos. En líneas generales, las temperaturas críticas respectivas disminuyen con las proporciones crecientes de níquel.

5. Pasando ahora a una consideración ulterior de los resultados mostrados en la tabla I, y sin desear una limitación por ninguna teoría en cuanto a las razones metalúrgicas de la tenacidad perfeccionada, se efectuaron las siguientes observaciones después de una investigación metalográfica:

10 1. La austenización y el temple tuvieron por resultado una estructura martensítica de grano fino con una distribución irregular de carburos finos. Esta martensita era maciza y no presentaba ningún efecto de relieve evidente. La estructura templada, tuvo por resultado una fractura
15 transcristalina, transgranular y frágil después del ensayo de impacto a -170°C .

20 2 (a). La temperización incluye el recalentamiento de una estructura martensítica a una temperatura inferior al A_{C3} crítico. Tras calentar por encima del A_{C1} crítico, una porción de la martensita se transforma en austenita y la martensita restante se reviene a ferrita y carburo. La velocidad de enfriamiento subsiguiente, a partir de este
25 tratamiento, ha de ser tal que sustancialmente la totalidad de la austenita recién formada se transforma en martensita y la microestructura resultante sea una estructura laminar de granos alternos de ferrita y martensita. También se hallan presentes pequeñas proporciones de austenita retenida. Sin embargo, la correlación del contenido austenítico retenido con las propiedades de resistencia a los impactos
30 mostró que no había ningún efecto directo del primero sobre



la tenacidad perfeccionada resultante. Por el contrario, se sugirió que la tenacidad estaba relacionada con la microestructura y/o la composición de fases y que la formación, composición y retenido de la austenita contribuía a esta reacción compleja en una relación básica de causa y efecto.

2 (b). La martensita producida por temperización era maciza con pronunciados efectos de relieve y se formó templando austenita que se había desarrollado a partir de los límites granulares de la matriz para formar una estructura laminar. La microscopía electrónica por transmisión mostró que la martensita temperizada difería grandemente de la martensita templada. Las agujas de martensita temperizada observadas no eran delgadas ni equiaxiales, como en el caso de la estructura templada. Por el contrario, eran de naturaleza más ancha y agrupada. Las dislocaciones en la martensita temperizada estaban más claramente delineadas que las presentes en el interior denso e irresuelto de la martensita templada. Se observó la aparición de una subestructura que pudo influir en la formación de nuevos granos de ferrita durante el recocido de revenido. La presencia de esta subestructura junto con la ausencia de duplicidad interna, contribuyó a la tenacidad perfeccionada de la martensita temperizada.

2 (c). La fractografía electrónica mostró que el ensayo de impacto de la martensita temperizada a -170°C tuvo por resultado una fractura dúctil, transgranular y plástica y que el modo de fractura estaba regido por la fundición de los microvacíos.

2(d). La temperización a una temperatura inferior

382962

23



5 al nivel óptimo tuvo por resultado una transformación incompleta en microestructura temperizada. La temperización a una temperatura superior al nivel óptimo tuvo por resultado una estructura característica de una austenitización doble y un tratamiento de temple.

10 3 (a). El recocido de revenido acentuó la tenacidad a bajas temperaturas, proporcionando un revenido a elevadas temperaturas para la martensita temperizada e incrementando la proporción de austenita retenida. El revenido a elevada temperatura tuvo por resultado la disminución de las tensiones causada durante la transformación de la martensita temperizada y la precipitación de carburos. La proporción de austenita retenida incrementada (8-12%) mejoró la tenacidad, agotando más aun elementos tales como C y N de la matriz y contribuyendo simplemente a una microestructura total con una mayor proporción de una fase cúbica centrada en las caras, que presentaba una elevada resistencia a la fractura transcristalina.

15 20 25 30 3 (b). El recocido de revenido produce un sistema granular de ferrita refinado cuya formación fué influida por la configuración celular de la subestructura temperizada. Las dislocaciones quedaron claramente delineadas y en muchas áreas se observó un alineamiento uniforme. El ensayo de impacto de la microestructura con recocido de revenido, a -170°C tuvo por resultado una fractura plástica, transgranular y dúctil. La propagación de grietas a través de esta matriz se controló mediante el desarrollo y fundición de microvacíos situados por delante de la grieta. Las partículas precipitadas durante el recocido de revenido actuaron como puntos de nucleación para deformación plástica.



3 (c). El recocido de revenido a una temperatura inferior al nivel óptimo no permitió la formación de mayores proporciones de austenita retenida. Sin embargo, la tenacidad producida bajo estas condiciones es todavía adecuada para muchas aplicaciones. El recocido de revenido por encima del nivel óptimo disminuía la estabilidad de la austenita y permitía la formación de martensita nueva sin revenir tras el subsiguiente enfriamiento. Lo mismo es aplicable a mayores tiempos de recocido de revenido sin el nivel de temperatura óptimo.

4. El revenido después del recocido de revenido no causó ningún cambio importante en la microestructura y no afectó al contenido en austenita retenida. Las mejores en la tenacidad se consideraron como resultado de una eliminación adicional de las tensiones de transformación y fundición de los precipitados.

En el caso del acero con un 5% nominal de níquel, la austenización puede variar desde 815 hasta 980°C aproximadamente. La gama de temperaturas para la operación de temperización debe consistir en los dos tercios superiores de la zona $A_{C3} - A_{C1}$, preferiblemente a una temperatura de unos 750°C por debajo del A_{C3} hasta éste último. En términos generales, la temperatura de temperización preferida aumenta dentro de la zona $A_{C1} - A_{C3}$ con contenidos crecientes en níquel, comprendidos entre el 4,0 y el 10,0% en peso aproximadamente.

EJEMPLO II

Para determinar la adaptabilidad del presente procedimiento a aceros de contenido aun mayor de níquel, se prepararon dos cargas de Ni al 9% nominal, una de ellas

382962 1970

modificada con molibdeno. Los análisis en % en peso de dichos aceros fueron como sigue:

	<u>Carga A</u>	<u>Carga B</u>
Níquel	8.95%	9.34%
Carbono	0.07%	0.092%
Manganeso	0.68%	0.23%
Silicio	0.29%	0.10%
Molibdeno	---	0.19%
Hierro	Resto	Resto

Cada carga fué sometida a un tratamiento térmico de tres operaciones, que incluía secuencialmente: austenización, temperización y recocido de revenido. En cada caso, se observaron mejoras notables sobre los procedimientos normales y modificados. Esto puede verse por la siguiente tabla II.

TABLA II

<u>MUESTRA</u>	<u>AUSTENIZADA</u>	<u>TEMPERIZADA</u>	<u>RECOCIDO DE REVENIDO</u>	<u>REVENIDO</u>	<u>IMPACTO⁺</u>
A1	800°C	--	--	580°C 1 hora Templada en agua	6.5
A2	800°C 1 hora.- Templada en agua	700°C 1 hora.- Templada en agua	--		3.2
A3	800°C 1 hora.- Templada en agua	700°C 1 hora.- Templada en agua	--	580°C 1 hora Templada en agua	10.3
A4	800°C 1 hora.- Templada en agua	700°C 1 hora Templada en agua	610°C 1 hora.- Templada en agua	--	11.2
B1	800°C 1 hora.- Templada en agua	--	--	595°C 1 hora Templada en agua	10.5
B2	800°C 1 hora.- Templada en agua	700°C 1 hora Templada en agua	610°C 1 hora.- Templada en agua	--	13.5



† Energía absorbida en el ensayo Charpy de muesca en V, a -196°C , en Kgm/cm^2 .

5 Se verá que en cada caso en que se aplicó el procedimiento aquí descrito a dichos aceros, se obtuvieron incrementos en la tenacidad. Traducido esto a aplicaciones estructurales, ello significa que la estructura puede resistir mayores impactos bajo severas condiciones de temperatura o que podrían alcanzarse inferiores temperaturas sin miedo a fracturas por fragilidad.

10 Otra observación que puede hacerse acerca de los datos anteriores, incluso en el caso del tratamiento normal, es la mejora en tenacidad como resultado de la adición de molibdeno. Pueden verse incrementos en la tenacidad notables con tan sólo un 0,10% de molibdeno. Por
15 consiguiente, en la versión preferida, se considera un contenido en molibdeno del 0,10 al 0,50%.

20 La investigación se extendió también a los aceros de bajo contenido en níquel, por ejemplo del 0,25 al 4,0% en peso aproximadamente, para determinar la aplicabilidad del procedimiento a los mismos. Los procedimientos y resultados se indican en los siguientes ejemplos y tablas.

EJEMPLO III

25 Se austenizó a 900°C durante 1 hora, un acero con el 3,5% de níquel, cuyo análisis en porcentaje en peso era el siguiente:



Níquel	3,30%
Carbono	0,15%
Manganeso	0,56%
Fósforo	0,010%
Azufre	0,017%
Silicio	0,16%
Hierro	Resto

y se templó en agua, se temperizó a 705°C durante 1 hora y se templó en agua y finalmente se revino a 595°C y se enfrió a temperatura ambiente. Una vez tratado, se obtuvieron los siguientes resultados:

Resistencia elástica	50 Kg/mm ²
Resistencia a la tracción	61 Kg/mm ²
Estricción	75%
Alargamiento en 50.8 mm	35%
Impacto (tamaño pleno C _V) a -115°C.	12.2 Kg/cm ²

Para apreciar la importancia de estos resultados, se trató el mismo acero de manera convencional, así como con modificaciones de la misma, y se ensayó bajo condiciones idénticas. La descripción de los tratamientos y temperaturas secuenciales, junto con los resultados, se indican en la Tabla III.

TABLA III

<u>MUESTRA</u>	<u>AUSTENIZADA</u>	<u>TEMPERIZADA</u>	<u>RECOCIDO DE REVENIDO</u>	<u>REVENIDO</u>	<u>IMPACTO⁺</u>
A	900°C 1 hora Templada en agua	--	--	620°C 1 hora Templada en agua	6.1
B	900°C 1 hora Templada en agua	705°C 1 hora Templada en agua	--		1.4
C	900°C 1 hora Templada en agua	705°C 1 hora Templada en agua	--	595°C 1 hora Templada al aire o en agua	12.2



+ Energía absorbida en el ensayo Charpy de muesca en V, a -115°C , en Kgm/cm^2 .

5. La tabla anterior indica una mejora del 100% en la muestra C sobre la muestra A, que recibió el tratamiento convencional.

10 Resultará evidente por lo que antecede que no pueden conseguirse propiedades óptimas simplemente determinando los valores de tenacidad en etapas intermedias del proceso y ajustando las temperaturas para incrementar dichos valores. Sin embargo, con relación a las propiedades óptimas, puede hacerse una observación general.

15 Aunque el tratamiento secuencial de los aceros aquí considerados es necesario para la consecución de propiedades deseables, y cada operación contribuye notablemente a tal fin, es de particular importancia un control de la temperatura de temperización. Se comprenderá que es difícil seleccionar una temperatura exacta, puesto que la composición y el tratamiento anterior pueden ejercer efecto sobre ella. Sin embargo, puede generalizarse que, en lo
20 que respecta a aceros con un 3,5% de níquel, la temperatura óptima de temperización es aquella que produce una microestructura laminar consistente en martensita revenida. Como se muestra en la Tabla III, la tenacidad de esta estructura no puede utilizarse como criterio.

25

EJEMPLO IV

Se sometió a varios tratamientos térmicos similares a los de la Tabla III un segundo acero con un 3,5% nominal de níquel, que poseía un bajo contenido en carbono y estaba modificado con molibdeno, y cuyo análisis específico en % en peso era como sigue:
30



5

Níquel	3,5%
Carbono	0,07%
Manganeso	0,30%
Silicio	0,20%
Molibdeno	0,25%
Hierro	Resto,

La secuencia y resultados de dichos tratamientos térmicos se indican en la Tabla IV.

TABLA IV

<u>MUESTRA</u>	<u>AUSTENIZADA</u>	<u>TEMPERIZADA</u>	<u>RECOCIDO DE REVENIDO</u>	<u>REVENIDO</u>	<u>IMPACTO⁺</u>
A	900°C 1 hora Templada en agua	--	--	620°C 1 hora Templada en agua	1.4
B	900°C 1 hora Templada en agua	720°C 1 hora Templada en agua	--	635°C 1 hora Templada en agua	18.5

+ Energía absorbida en el ensayo Charpy de muesca en V, a -155°C, en Kgm/cm².

10

Aun cuando el molibdeno es un elemento discrecional, como se ha indicado anteriormente, su presencia en la aleación contribuyó notablemente a la mejora de la tenacidad del acero.

15

Teniendo en cuenta lo que antecede, en el caso del acero con un contenido nominal del 3,5% de níquel, la temperatura óptima de austenización es de unos 900°C. La temperatura óptima para la operación de temperización deberá estar aproximadamente en el punto medio de la zona A_{C3} - A_{C1}, preferiblemente a un nivel comprendido entre 705 y 750°C aproximadamente. Aunque la temperatura de temperización preferida para los aceros aquí considerados se encuentra en la gama comprendida entre el A_{C1} crítico

20



y 100°C aproximadamente por debajo de este último, una gama preferida y más específica para los aceros del 3,5% de níquel se encuentra entre 565 y 645°C aproximadamente.

EJEMPLOS V - VI

5 Para determinar la adaptabilidad de este proceso a los aceros de bajo contenido en níquel, se prepararon dos cargas adicionales. Los análisis en % en peso de dichos aceros fueron como sigue:

	<u>Carga A</u>	<u>Carga B</u>
10 Níquel	0,5%	1,5%
Carbono	0,068%	0,070%
Manganeso	0,4%	0,4%
Fósforo	0,003%	0,003%
Azufre	0,012%	0,011%
Silicio	0,1%	0,1%
15 Molibdeno	0,3%	0,3%
Nitrógeno	0,014%	0,013%
Aluminio	0,036%	0,066%
Hierro	Resto	Resto

20 El tratamiento térmico de tres operaciones resultó también aplicable a los aceros que contienen un 0,5% de níquel. Los resultados, expresados en tenacidad, se indican en la siguiente Tabla V.

TABLA V

<u>MUESTRA</u>	<u>AUSTENIZADA</u>	<u>TEMPERIZADA</u>	<u>REVENIDO</u>	<u>IMPACTO</u> ⁺
25 A1	885°C 1 hora Templada en agua	--	665°C 1 hora Templada en agua	1,75
A2	885°C 1 hora templada en agua	760°C 1 hora Templada en agua	665°C 1 hora Templada en agua	12,6
B1	885°C 1 hora Templada en agua	--	665°C 1 hora Templada en agua	14,4



28 SEP 1951

TABLA V (continuación)

<u>MUESTRA</u>	<u>AUSTENIZADA</u>	<u>TEMPERIZADA</u>	<u>REVENIDO</u>	<u>IMPACTO⁺</u>
B2	885°C 1 hora Templada en agua	815°C 1 hora Templada en agua	665°C 1 hora Templada al aire	21,0

+ Energía absorbida en el ensayo Charpy de muesca en V, a -115°C, en Kgm/cm².

5 Resultará por lo tanto evidente que pueden obtenerse notables mejoras en la tenacidad, particularmente a bajas temperaturas a las que la tenacidad es una importante consideración de diseño, en aceros que contienen desde el 0,25% aproximadamente de níquel y preferiblemente un 0,45% por lo menos, hasta el 10,0% en peso.

10 Por los datos anteriores, explicación y observaciones metalográficas, pueden deducirse determinadas conclusiones. Por ejemplo, la operación de temperización depende del ritmo de enfriamiento desde la gama óptima de temperaturas de recalentamiento, en el sentido de que es preferible un temple en agua desde la temperatura de temperización a un enfriamiento al aire desde la misma temperatura. La mejora de tenacidad después de la temperización no depende del espacio de tiempo de mantenimiento a la temperatura óptima de temperización. Sólo es necesario que el tiempo sea suficiente para poner adecuadamente la totalidad del acero a la temperatura seleccionada.

15

20

La operación de recocido de revenido, cuando es aplicable, depende de la estructura temperizada anterior para una eficacia óptima. La gama de temperaturas ha de



5 estar comprendida entre el A_{C3} crítico superior y el A_{C1} crítico inferior. Específicamente, la gama de temperaturas de recocido de revenido puede definirse como incluida entre el punto medio de la zona $A_{C3} - A_{C1}$ y el A_{C1} crítico. Para la obtención de resultados óptimos, la gama preferida se encontrará aproximadamente entre el A_{C1} y 350°C por encima del mismo.

10 Finalmente, las investigaciones han demostrado que el recocido de revenido es independiente de la velocidad de enfriamiento desde la gama de temperaturas óptima. Contrariamente a la operación de temperización, la magnitud de la mejora en la tenacidad depende del tiempo de permanencia a tal temperatura. La tenacidad disminuye al aumentar el tiempo de permanencia a dicha temperatura, desde 1 a 4 horas aproximadamente. Así, es crítica una detenida atención a los controles del proceso para la producción de propiedades óptimas. Sin embargo, incluso sin tales controles, se consiguen no obstante notables mejoras mediante el procedimiento de esta invención. Pero para la obtención de propiedades óptimas en los aceros de elevado contenido en níquel, aquéllos pueden recibir un revenido subcrítico convencional a una temperatura comprendida entre el A_{C1} crítico y unos 500°C por debajo del mismo, después de que aquéllos han sufrido un temperizado y un recocido de revenido.

25 Se recordará por los datos indicados en las tablas 1 y 2 que se observó una notable mejora con la secuencia del proceso que incluía austenización, temperización, recocido de revenido y/o revenido. En consecuencia, esta invención considera el procedimiento que incluye una operación

30



de austenización, seguida de temperización y por lo menos una operación de calentamiento adicional. Esta operación de calentamiento adicional puede ser un recocido de revenido, tal como se usa en los aceros de elevado contenido en níquel, o un tratamiento de temple adecuado para todos los aceros níquelados de esta invención.

Además, se prevé la posibilidad de que un experto en la materia pueda encontrar modificaciones a aplicar en la presente invención. Por ejemplo, al aproximarse el contenido en níquel al nivel del 4,0%, que es esencialmente la aleación de transición entre los dos procedimientos preferidos ilustrados en las figuras, pueden conseguirse mejoras en la tenacidad con temperaturas de calentamiento final al nivel del valor A_{C1} crítico o próximo a él. En consecuencia, no se pretende imponer ninguna limitación a la presente invención, salvo en el sentido expuesto en las reivindicaciones adjuntas.

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, en cuanto no alteren su principio fundamental. También se hace constar que el invento corresponde a las solicitudes de patentes norteamericanas núms. Ser. 851.885 de 21 de agosto de 1969, y de 20 de julio del 1970, acogiéndose 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 el

Handwritten signature or initials.



tratamiento térmico de acero al níquel", caracterizándose por lo siguiente:

5 1º.- Procedimiento para el tratamiento térmico de
acero al níquel, que contiene aproximadamente del 0,25 al
10,0% en peso de níquel, y que puede transformarse en una
estructura cristalina sustancialmente martensítica para
mejorar su tenacidad a temperaturas criógenas, caracteriza-
do porque comprende las operaciones de austenizar dicho
acero a una temperatura superior al A_{C3} crítico, enfriar
10 a una velocidad suficiente para formar martensita, calentar
dicho acero a una temperatura comprendida entre los A_{C3} y
 A_{C1} críticos, enfriar a una velocidad suficiente para
transformar sustancialmente toda la austenita en marten-
sita y finalmente someter dicho acero por lo menos a una
15 operación de calentamiento adicional a una temperatura
inferior al A_{C3} crítico.

20 2º.- Procedimiento según la reivindicación 1,
en el que dicho acero contiene aproximadamente del 4,0 al
10,0% en peso de níquel, caracterizado porque dicha opera-
ción de calentamiento final incluye el calentamiento del
referido acero a una temperatura superior al A_{C1} crítico.

25 3º.- Procedimiento según la reivindicación 1, en
el que dicho acero contiene aproximadamente del 0,25 a
menos del 4,0% en peso de níquel, caracterizado porque
dicha operación de calentamiento final es una operación de
revenido a una temperatura inferior al A_{C1} crítico.

30 4º.- Procedimiento según la reivindicación 2,
caracterizado porque dicha operación de calentamiento
final incluye el calentamiento de dicho acero a una tempe-
ratura inferior al A_{C1} crítico.

hoy



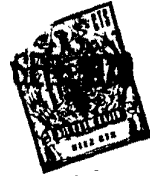
5 5^a.- Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque dicha operación de calentamiento final incluye el calentamiento del referido acero a una temperatura superior al A_{C1} crítico, el enfriamiento a temperatura ambiente y el revenido a una temperatura inferior al A_{C1} crítico.

10 6^a.- Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque dicho acero contiene hasta un 1,5% aproximadamente en peso de manganeso, hasta un 0,25% en peso aproximadamente de carbono, hasta un 0,50% en peso aproximadamente de molibdeno, siendo el resto hierro, y porque dichas operaciones comprenden la austenización de dicho producto ferroso, el enfriamiento a una velocidad suficiente para formar martensita, el temperizado mediante
15 calentamiento a una temperatura situada en los dos tercios superiores de la zona $A_{C3} - A_{C1}$, el enfriamiento a una velocidad suficiente para transformar sustancialmente toda la austenita en martensita y el sometimiento de dicho producto ferroso transformado por lo menos a una operación de
20 calentamiento adicional a una temperatura inferior al A_{C3} crítico.

25 7^a.- Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque dicho tratamiento de temperizado comprende el calentamiento del producto ferroso a una temperatura comprendida entre el A_{C3} y 75°C aproximadamente por debajo del A_{C3} .

30 8^a.- Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque dicha operación de calentamiento final incluye un recocido de revenido mediante calentamiento a una temperatura situada en el tercio inferior de la zona

reg.



A_{C3} y A_{C1} .

5 9º.- Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque dicho recocido de revenido comprende el calentamiento del producto ferroso a una temperatura comprendida entre el A_{C1} y aproximadamente 350°C por encima de éste.

10 10º.- Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque dicha operación de calentamiento final incluye un tratamiento de revenido mediante calentamiento a una temperatura inferior al A_{C1} crítico.

15 11º.- Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado porque dicho tratamiento de revenido comprende el calentamiento del producto ferroso a una temperatura comprendida entre el A_{C1} y aproximadamente 500°C por debajo del mismo.

20 12º.- Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque la operación de calentamiento intermedio se produce aproximadamente en el punto medio comprendido entre dichas temperaturas A_{C3} y A_{C1} críticas.

25 13º.- Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque dicho acero contiene hasta un 1,5% aproximadamente en peso de manganeso, menos del 0,25% en peso aproximadamente de carbono, hasta el 0,5% aproximadamente de molibdeno, siendo el resto hierro, y porque dichas operaciones comprenden la austenización del citado producto ferroso, el enfriamiento a una velocidad suficiente para formar martensita, el temperizado mediante calentamiento a una temperatura comprendida entre los valores A_{C3} y A_{C1} críticos, el enfriamiento a una velocidad suficiente para
30 transformar sustancialmente toda la austenita en martensita

roj.



y el sometimiento de dicho producto ferroso transformado a una operación de calentamiento adicional a una temperatura comprendida alrededor del A_{C1} crítico o por debajo de él.

5

14º.- Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado porque dicha operación de calentamiento final comprende un tratamiento de revenido mediante calentamiento a una temperatura inferior al A_{C1} crítico.

10

15º.- Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado porque el citado tratamiento de revenido comprende el calentamiento del producto ferroso a una temperatura comprendida entre el A_{C1} y aproximadamente 100ºC por debajo del mismo.

15

16º.- Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado porque que el carbono se halla presente en una proporción inferior al 0,16% aproximadamente.

17º.- Procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 6, caracterizado porque el molibdeno se halla presente en una proporción del 0,10% en peso por lo menos.

20

18º.- Procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 13, caracterizado porque el níquel se halla presente en una proporción del 0,45% por lo menos.

25

19º.- "Procedimiento para el tratamiento térmico de acero al níquel", tal y como queda substancialmente descrito en la presente memoria y en los dibujos adjuntos.

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

Madrid,

23 SEP. 1970

ARMCO STEEL CORPORATION.

A. GOMEZ ACEBO Y MODEI
w.p. Firmado: F. Hernández Ruiz

382962

ESCALA
VARIABLE

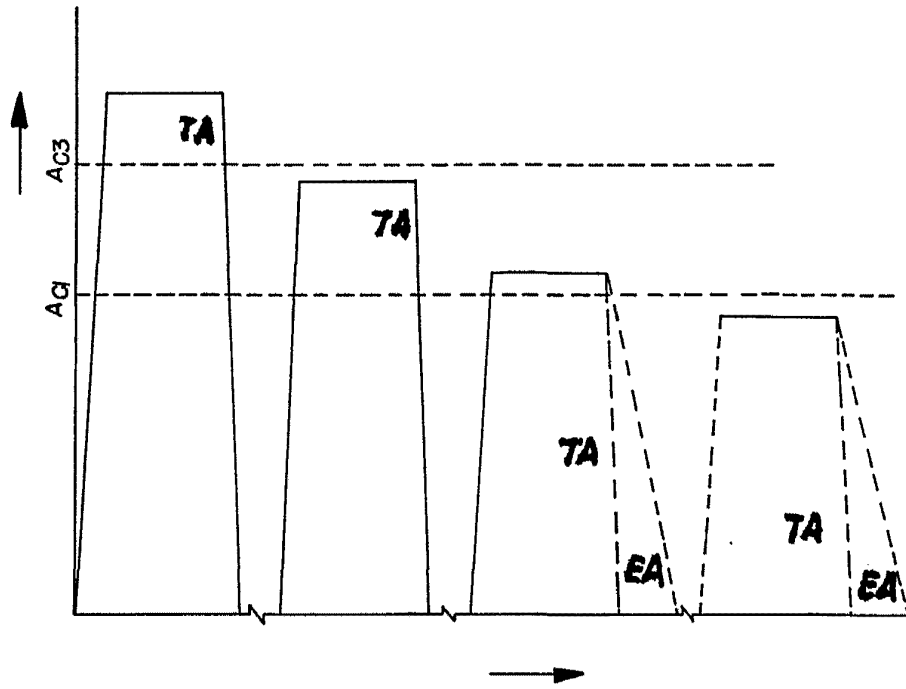


FIG. I

[Handwritten Signature]
23 SEP. 1970
Madrid
I. GOMEZ ACEBO Y MODLI
e. n. Firmador F. Hernández Rola

382962

ESCALA
VARIABLE

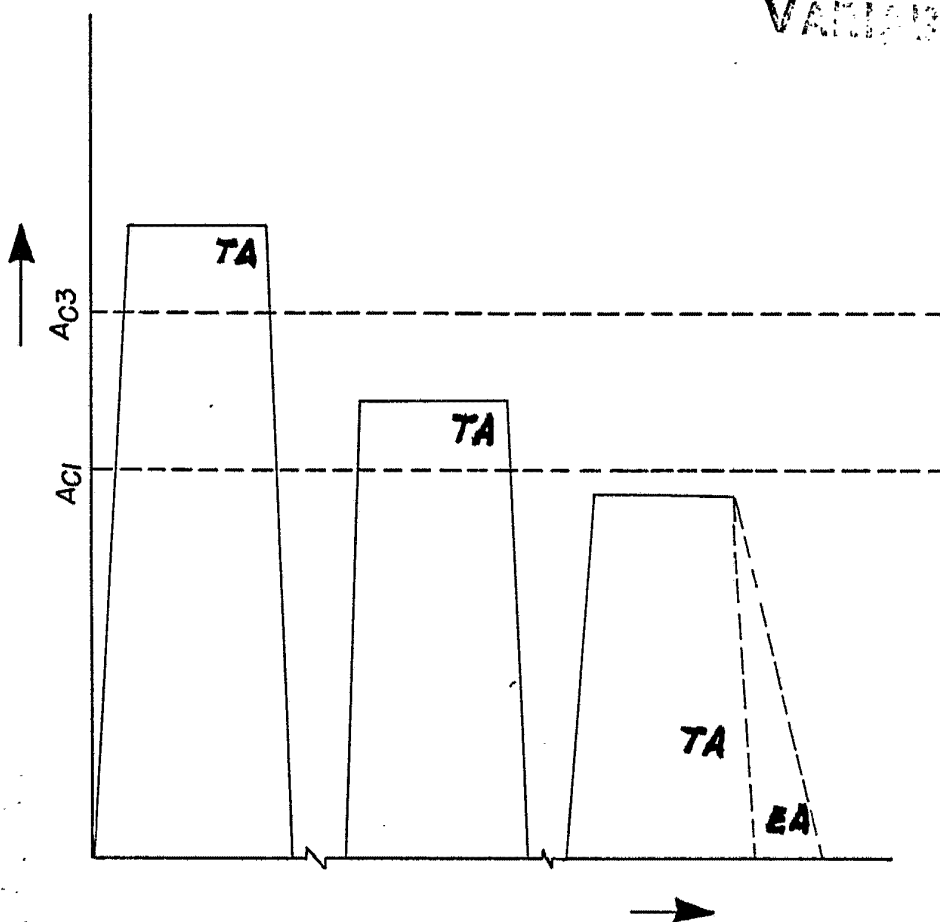


FIG. 2

23 SEP. 1970

Madrid

I. GÓMEZ ACEBO Y MODEY
c. d. Firmado: F. Hernández Rob.