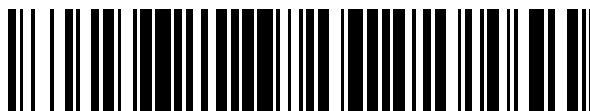


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 425**

51 Int. Cl.:

C21D 7/04 (2006.01)

C21D 8/00 (2006.01)

C21D 8/02 (2006.01)

C21D 8/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03783653 .3**

96 Fecha de presentación: **18.11.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1563106**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.08.2005**

54 Título: **Aceros trabajados en frío con red de empaquetamiento con microestructura martensita/austenita**

30 Prioridad:
19.11.2002 US 427830 P
20.08.2003 US 645833

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.08.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.08.2012

73 Titular/es:
MMFX TECHNOLOGIES CORPORATION
2 CORPORATE PARK, SUITE 102
IRVINE, CA 92606, US

72 Inventor/es:
KUSINSKI, Grzegorz J. y
THOMAS, Gareth

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

ES 2 386 425 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aceros trabajados en frío con red de empaquetamiento con microestructura martensita/austenita.

Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a la tecnología de las aleaciones de acero de bajo y medio carbono, particularmente aquellas de alta resistencia y tenacidad, y formabilidad en frío de dichas aleaciones.

2. Descripción de la técnica anterior

Una etapa importante en el procesamiento de aceros de alto rendimiento es el trabajado en frío, que típicamente
 10 consiste en una serie de compresiones y/o expansiones conseguidas mediante procesos tales como estirado, extrusión, recalado en frío o laminado. El trabajado en frío provoca la deformación plástica del acero que produce el endurecimiento de tensiones mientras se forma el acero en la forma en la que finalmente se usará. El trabajado en frío, que en el caso del cable de acero se analiza por trefilado, típicamente se realiza en una sucesión de fases con tratamientos térmicos intermedios, que en el caso del cable de acero se denominan "patentado".

El cable de acero de alta resistencia es un ejemplo de un acero de alto rendimiento, y es útil en una diversidad de
 15 aplicaciones ingenieriles incluyendo cordón de neumático, cable de alambre y hebras para refuerzos de hormigón pretensado. El acero usado más habitualmente en cable de acero de alta resistencia es acero de medio o alto carbono. En el procedimiento típico para formar el cable, barras laminadas en caliente con microestructuras perlíticas se estiran en frío en varias fases, con los tratamientos de patentado intermedios para ablandar la perlita para continuar el estirado en frío. Por ejemplo, las barras laminadas en caliente de aproximadamente 5,5 mm de
 20 diámetro podrían reducirse en varias fases a un diámetro de aproximadamente 3 mm. El patentado podría realizarse entonces a 800-900 °C provocando la austenización del acero, seguido de transformación del acero a 500-550 °C en lamelas perlíticas finas. El acero podría entonces decaparse, en ácido clorhídrico por ejemplo, para retirar las incrustaciones formadas durante el patentado. El decapado podría ir seguido de diversas fases de estirado adicionales para reducir el diámetro hasta aproximadamente 1 mm, después patentado y decapado adicionales. El
 25 estirado final entonces se realizaría en varias fases hasta el diámetro deseado final, que por ejemplo puede ser de aproximadamente 0,4 mm, para conseguir las propiedades deseadas, en concreto resistencia. Esto puede ir seguido de procesamiento adicional, tal como trenzado, dependiendo del uso final.

El fin del tratamiento de patentado inicial es producir un alambro con una estructura perlítica lamelar fina, que
 30 requiera una baja temperatura de transformación. Para conseguir el control de temperatura deseado, el proceso se realiza típicamente en un baño de plomo fundido. En las fases de estirado sucesivas, el cable se estira a tensiones verdaderas (definidas más adelante) de 6-7 para obtener niveles de alta resistencia de aproximadamente 3.000 MPa. Para cables perlíticos convencionales, estas altas tensiones y resistencias pueden conseguirse simplemente aplicando una serie de tratamientos de patentado. Sin estos tratamientos de patentado, el estirado en frío provocaría agrietamiento por cizalla de las lamelas perlíticas. Debido a la necesidad de un baño de plomo fundido el proceso
 35 completo es costoso y tiende a crear preocupaciones medioambientales.

El trabajado en frío se usa también en la producción de tubos de acero expansibles, es decir, tubos que se expanden en el sitio y, en algunos casos, por debajo del suelo.

Un desarrollo reciente en las aleaciones de acero es la formación de microestructuras que contienen ambas fases
 40 martensita y austenita en una configuración alterna, en la que la martensita está presente como redes que están separadas por películas finas de austenita. Las microestructuras son granos condensados en las que los granos individuales contiene varias redes de martensita separadas por películas de austenita finas con, en algunos casos, un revestimiento de austenita rodeando cada grano. Estas estructuras se denominan estructuras de "martensita dislocada" o estructuras de "red de empaquetamiento de martensita/austenita". Las patentes que describen estas microestructuras son las siguientes:

- 45 4.170.497 (Gareth Thomas and Bangaru V.N. Rao), expedida el 9 de octubre de 1979 sobre una solicitud presentada el 24 de agosto de 1977
- 4.170.499 (Gareth Thomas and Bangaru V.N. Rao), expedida el 9 de octubre de 1979 sobre una solicitud presentada 14 de septiembre de 1978 y como una continuación parcial de la solicitud anterior presentada el 24 de agosto de 1977
- 50 4.671.827 (Gareth Thomas, Nack J. Kim, and Ramamoorthy Ramesh), expedida el 9 de junio de 1987 sobre una solicitud presentada 11 de octubre de 1985
- 6.273.968 B1 (Gareth Thomas), expedida el 14 de agosto de 2001 sobre una solicitud presentada el 28 de marzo de 2000

Aunque estas microestructuras ofrecen ciertos beneficios de rendimiento, en concreto una alta resistencia a corrosión, hasta ahora no se ha sabido que las etapas de procesamiento usadas típicamente para aleaciones de acero podían simplificarse o eliminarse cuando estas microestructuras están presentes.

5 Son de gran relevancia adicional para esta invención las dos Patentes de Estados Unidos que describen el trabajado en frío de las barras de acero y cables sin patentado. Estas patentes son:

4.613.385 (Gareth Thomas and Alvin H. Nakagawa), expedida el 23 de septiembre de 1986 sobre una solicitud presentada el 9 de diciembre de 1982

10 4.619.714 (Gareth Thomas, Jae-Hwan Ahn, and Nack-Joon Kim), expedida el 28 de octubre de 1986 sobre una solicitud presentada el 29 de noviembre de 1984 como una continuación parcial de la solicitud anterior presentada el 6 de agosto de 1984.

Las microestructuras de los aceros en estas patentes son considerablemente diferentes de aquellas de las primeras cuatro patentes mostradas anteriormente.

Sumario de la invención

15 La invención proporciona un proceso para fabricar una aleación de acero al carbono de alta resistencia y alta ductilidad de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 de las reivindicaciones adjuntas a la misma.

20 Se ha descubierto ahora que la microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita es única en sus características cristalográficas y cómo estas características provocan que responda al trabajado en frío. Debido a la alta densidad de dislocación de esta microestructura y la facilidad con la que las tensiones en la estructura pueden moverse entre las fases martensita y austenita, el trabajado en frío proporciona a la microestructura las propiedades mecánicas únicas que incluyen una alta resistencia a tracción. Como resultado, estas aleaciones pueden trabajarse en frío sin tratamientos térmicos intermedios, mientras que aún consiguen resistencias a tracción comparables a las resistencias a tracción de las aleaciones de acero convencionales que se han procesado por tratamiento en frío con tratamientos térmicos intermedios. En el caso de un cable de acero que tenga la microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita, esta invención radica en el descubrimiento de que el estirado en frío puede realizarse sin tratamientos de patentado intermedios. De acuerdo con la presente invención, por lo tanto, las aleaciones de acero al carbono que tienen la microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita, es decir, aquellas cuya microestructura incluye redes de martensita alternas con películas finas de austenita retenida, se forman en frío, preferentemente sin tratamientos térmicos intermedios, a una reducción suficiente para conseguir una resistencia a tracción de aproximadamente 150 ksi o mayor ("ksi" denota kilo libras fuerza por pulgada cuadrada), equivalente a aproximadamente 1.085 MPa o mayor ("MPa" denota megapascales, es decir, newtons por milímetro cuadrado). El trabajado en frío a resistencias a tracción de 2.000 MPa (290 ksi) o mayores es de particular interés y, de hecho, las resistencias a tracción de 3.000 MPa (435 ksi) y tan alto como 4.000 MPa (580 ksi) pueden conseguirse mediante la práctica de esta invención. Estos valores son aproximados; el factor de conversión al millar más cercano es 6,895 MPa igual a 1 ksi.

35 Los beneficios de esta invención se extienden a microestructuras sencillas de red de empaquetamiento de martensita/austenita que no contienen ferrita o que contienen cantidades insignificantes de ferrita, y también a microestructuras que incluyen una red de empaquetamiento de granos condensados con granos de ferrita, y a variantes de estas estructuras, incluyendo aquellas cuyos granos de la red de empaquetamiento están recubiertos por revestimientos de austenita, aquellas que están libres de precipitados de carburo en las interfases y aquellas en las que las películas de austenita son de una orientación uniforme. El descubrimiento de la capacidad de las microestructuras de red de empaquetamiento de martensita/austenita de responder al trabajado en frío de esta manera es sorprendente respecto a las descripciones en las patentes N° 4.613.385 y 4.619.714 a las que se ha hecho referencia anteriormente, puesto que la ferrita en la microestructura de estas patentes tiene un límite elástico menor que la martensita. Como resultado, la ferrita absorberá preferentemente la tensión introducida por el trabajado en frío, mientras que la martensita no responderá al trabajado en frío hasta que la fase ferrita se trabaje por endurecimiento a un nivel por encima del límite elástico de la martensita. En las microestructuras abordadas por la presente invención, el nivel de ferrita era relativamente bajo o su ausencia, cuando no hay ferrita presente, provocará que la martensita absorba la tensión en una fase anterior del proceso de trabajado en frío. La martensita y la ferrita son distintivamente diferentes entre sí en estructura cristalina y comportamiento de endurecimiento.

50 Estas y otras características, objetos, ventajas y realizaciones de la invención se entenderán mejor a partir de la siguiente descripción.

Breve descripción de las figuras

55 La Figura 1 es una representación de la resistencia a tracción frente a la tensión total verdadera para dos aleaciones de acero de microestructura de doble fase de red de empaquetamiento de martensita/austenita, tras el trabajado en frío de acuerdo con esta invención en ausencia de tratamientos térmicos intermedios.

La Figura 2 es una representación de la resistencia a tracción frente a la tensión total para tres aleaciones de acero

de una microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita de triple fase y una aleación de acero de microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita de doble fase, tras el trabajado en frío de acuerdo con esta invención en ausencia de tratamientos térmicos intermedios.

Descripción detallada de la invención

5 y realizaciones preferidas

El trabajado en frío en la práctica de esta invención puede realizarse mediante el uso de las técnicas y el equipo que se ha usado para el trabajado en frío en la técnica anterior en otras aleaciones de acero y microestructuras para aleaciones en forma de desbastes cuadrados, tochos, barras, planchas o láminas, el trabajado en frío puede consistir en el laminado del acero entre los rodillos u otros medios de compresión para reducir el exceso de, y
10 alargar el acero. Cuando el trabajado en frío se realiza por laminado, se consiguen múltiples reducciones por múltiples pasadas a través del tren de laminado. Para piezas de trabajo con forma de barra o forma de cable, el trabajado en frío puede consistir en el estirado en frío o extrusión a través de un troquel. Para reducciones múltiples, la pieza de trabajo se extruye a través de una serie de troqueles sucesivamente más pequeños. Los tubos se consiguen estirando el acero a través de un troquel con forma de anillo con un mandril dentro del troquel. Para
15 pasadas múltiples, el tubo que ya se ha estirado se estira adicionalmente a través de un troquel con forma de anillo más pequeño con un mandril situado dentro del tubo.

El trabajado en frío se realiza a una temperatura por debajo de la menor temperatura a la que ocurre la recrystalización. Las temperaturas adecuadas son, por lo tanto, aquellas que no inducen ningún cambio de fase en el acero. Para aceros al carbono, la recrystalización típicamente ocurre a aproximadamente 1.000 °C (1.832 °F), y por
20 consiguiendo el trabajado en frío de acuerdo con esta invención se realiza bastante por debajo de esta temperatura. Preferentemente, el trabajado en frío se realiza a temperaturas de aproximadamente 500 °C (932 °F) o menor, más preferentemente aproximadamente 100 °C (212 °F) o menor y, lo más preferentemente, a una temperatura que está dentro de aproximadamente los 25 °C de la temperatura ambiente.

El trabajado en frío puede realizarse en una sola pasada o en una sucesión de pasadas. En cualquier caso, los
25 tratamientos térmicos intermedios (que, en el caso del cable de acero se denominan "patentado") pueden realizarse para la mejora adicional de las propiedades, aunque las propiedades resultantes del trabajado en frío solas son suficientemente altas para que los tratamientos térmicos intermedios no se requieran y, preferentemente, no se realicen. El grado de reducción por pasada no es crítico para la invención y puede variar ampliamente, aunque las reducciones deberían ser suficientemente grandes para evitar el endurecimiento del acero tanto que el acero se haga susceptible a rotura después de una pequeña reducción total. En la mayoría de los casos, las reducciones
30 preferidas son de al menos aproximadamente el 20% por pasada, más preferentemente al menos aproximadamente el 25% por pasada y, lo más preferentemente, de aproximadamente el 25% a aproximadamente el 50% por pasada. La reducción por pasada está gobernada al menos parcialmente por factores tales como el ángulo del troquel y el coeficiente de eficacia del estirado. Cuanto mayor sea el ángulo del troquel, mayor será la reducción mínima que se requiere para evitar el agrietamiento por descarga central. Cuanto menor sea el coeficiente de eficacia de estirado,
35 sin embargo, menor será la reducción máxima para un acero con un exponente de endurecimiento de tensión dado. Se busca típicamente un compromiso entre estas dos consideraciones en competición. En términos de la resistencia a tracción del producto final, el trabajado en frío preferentemente se realizará a una resistencia de tracción dentro del intervalo de aproximadamente 1034 MPa (150 ksi) a aproximadamente 3450 MPa (500 ksi).

El proceso de esta invención es aplicable a aleaciones de acero al carbono que tienen microestructuras de red de empaquetamiento de martensita/austenita, tales como aquellas descritas en las patentes citadas anteriormente, así como aquellas descritas en las Solicitudes de Patente de Estados Unidos en trámite junto con la presente N°
40 10/017.847, presentada el 15 de diciembre de 2001 (titulada "Triple-Phase Nano-Composite Steels", inventores Kusinski, G.J., Pollack, D., and Thomas, G.), y 10/017.879, presentada el 14 de diciembre de 2001 (titulada "Nano-Composite Martensitic Steels", inventores Kusinski, G.J., Pollack, D., and Thomas, G.). Para permitir la formación de la microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita, la composición de aleación típicamente tendrá una temperatura de inicio de martensita M de aproximadamente 300 °C o mayor, y preferentemente de 350 °C o mayor. Aunque los elementos de aleación en general afectan a M, el elemento de aleación que tiene la mayor influencia sobre la M₅ es carbono, y conseguir una aleación con M₆ por encima de 300 °C puede conseguirse
50 limitando el contenido de carbono de la aleación a un máximo del 0,35% en peso. En un ejemplo de referencia, el contenido de carbono está dentro del intervalo de aproximadamente el 0,03% a aproximadamente el 0,35% y, en un ejemplo de referencia, el intervalo es de aproximadamente el 0,05% a aproximadamente el 0,33%, todos en peso. Pueden estar presentes también elementos de aleación adicionales, tales como molibdeno, titanio, niobio y aluminio, en cantidades suficientes para servir como sitios de nucleación para la formación de granos finos, aunque en una
55 concentración suficientemente baja para evitar afectar a las propiedades de la aleación terminada por su presencia. La concentración debería ser también suficientemente baja para evitar la formación de inclusiones y otros precipitados grandes, que pueden hacer al acero susceptible de fractura temprana. En ciertos ejemplos de referencia, sería ventajoso incluir uno o más elementos de estabilización de austenita, ejemplos de los cuales son nitrógeno, manganeso, níquel, cobre y cinc. Particularmente preferidos entre estos son manganeso y níquel. Cuando
60 está presente el níquel, la concentración níquel preferentemente está en el intervalo de aproximadamente el 0,25% a aproximadamente el 5% y cuando está presente el manganeso, la concentración de manganeso preferentemente

está dentro del intervalo de aproximadamente el 0,25% a aproximadamente el 6%. El cromo está incluido también en muchas realizaciones de la invención. Todas las concentraciones de este documento son en peso.

5 Ciertas realizaciones de la invención implican aleaciones que incluyen una fase ferrita además de los granos de red de empaquetamiento de martensita/austenita (aleaciones de triple fase) mientras que otras solo contienen los granos de red de empaquetamiento de martensita/austenita y no incluyen una fase ferrita (aleaciones de doble fase). En general, la presencia o ausencia de la fase ferrita está determinada por el tipo de tratamiento térmico en la fase de austenización inicial. Mediante la selección apropiada de la temperatura, el acero puede transformarse en una sola fase de austenita o en una estructura bifásica que contiene tanto austenita como ferrita. Además, la composición de la aleación puede seleccionarse o ajustarse para provocar la formación de ferrita durante el enfriamiento inicial de la aleación de la fase austenita o evitar la formación de ferrita durante el enfriamiento, es decir, evitar la formación de granos de ferrita antes del enfriamiento adicional de la austenita para formar la microestructura de red de empaquetamiento.

10 Como se ha indicado anteriormente, en ciertos casos sería beneficioso usar aleaciones con microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita en las que las películas de austenita en un solo grano de la red de empaquetamiento son todas de aproximadamente la misma orientación, aunque la orientación cristalográfica puede variar, como aquellas en las que las películas de austenita en un solo grano de red de empaquetamiento son todas de la misma orientación del plano cristalino. Esta última puede conseguirse limitando el tamaño de grano a 10 μm o menor. Preferentemente, el tamaño de grano en estos casos está dentro del intervalo de aproximadamente 1 μm (micrómetro) a aproximadamente 10 μm (micrómetros) y más preferentemente de aproximadamente 5 μm (micrómetros) a aproximadamente 9 μm (micrómetros).

15 La preparación de microestructuras de fases de red de empaquetamiento de martensita/austenita que no contiene ferrita (es decir, microestructuras de "doble fase") comienza con la selección de los componentes de la aleación y la combinación de estos componentes en las porciones apropiadas, como se ha indicado anteriormente. Los componentes combinados se homogenizan después ("empapan") durante un periodo de tiempo suficiente y a una temperatura suficiente para conseguir una estructura austenítica uniforme con todos los elementos y componentes en solución sólida. La temperatura estará por encima de la temperatura de recristalización austenítica aunque preferentemente a un nivel que provocará que se formen granos muy finos. La temperatura de recristalización austenítica típicamente varía con la composición de la aleación, aunque en general será fácilmente evidente para los expertos en la materia. En la mayoría de los casos, se conseguirán mejores resultados empapando a una temperatura dentro del intervalo de 800 $^{\circ}\text{C}$ a 1.150 $^{\circ}\text{C}$. El laminado, forjado o ambos se realizan opcionalmente sobre la aleación a esta temperatura.

20 Una vez que la homogenización se ha completado, la aleación se somete a una combinación de enfriamiento y refinamiento de grano al tamaño de grano deseado que, como se ha indicado anteriormente, puede variar. El refinamiento de grano puede realizarse en fases, aunque el refinamiento de grano final generalmente se consigue a una temperatura intermedia que está por encima incluso de la temperatura de recristalización austenítica. La aleación puede laminarse, en primer lugar, a la temperatura de homogenización para conseguir cristalización dinámica, después se enfría a una temperatura intermedia y se lamina de nuevo para recristalización dinámica adicional. La temperatura intermedia es entre la temperatura de recristalización austenítica y una temperatura que está a aproximadamente 50 $^{\circ}\text{C}$ por encima de la temperatura de recristalización austenítica. Para composiciones de aleación cuya temperatura de recristalización austenítica es de aproximadamente de 900 $^{\circ}\text{C}$ y la temperatura intermedia a la que la aleación se enfría es preferentemente entre aproximadamente 900 $^{\circ}\text{C}$ y aproximadamente 950 $^{\circ}\text{C}$, y más preferentemente entre aproximadamente 900 $^{\circ}\text{C}$ y aproximadamente 925 $^{\circ}\text{C}$. Para composiciones de aleación cuya temperatura de recristalización austenítica sea de aproximadamente 820 $^{\circ}\text{C}$, la temperatura intermedia preferida es de aproximadamente 850 $^{\circ}\text{C}$. La recristalización dinámica puede conseguirse también por forjado o por otros medios conocidos por los expertos en la materia. La recristalización dinámica produce una reducción del tamaño de grano del 10% o mayor y, en muchos casos, una reducción del tamaño de grano de aproximadamente el 30% a aproximadamente el 90%.

25 Una vez que se ha conseguido el tamaño de grano deseado, la aleación se inactiva enfriando desde una temperatura por encima de la temperatura de recristalización austenítica hasta la temperatura de inicio de martensita M_s , después a través del intervalo de transición de martensita para convertir los cristales de austenita en la microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita. Cuando los cristales de ferrita están presentes entre los cristales de austenita, la conversión solo ocurre en los cristales de austenita. La velocidad de enfriamiento óptima varía con la composición química y, de esta manera, la capacidad de endurecimiento de la aleación. Los paquetes resultantes son de aproximadamente el mismo pequeño tamaño que los granos de austenita producidos durante las fases de laminado, pero solo la austenita que queda en estos granos está en las películas finas y en algunos casos en el revestimiento que rodea cada grano de red de empaquetamiento. Cuando las películas de austenita finas tienen que ser una sola variante en la orientación cristalina, esta se consigue controlando el proceso para conseguir un tamaño de grano de menos de 50 μm (micrómetros).

30 Como una alternativa a la recristalización dinámica, el refinamiento de grano al tamaño de grano deseado puede conseguirse por tratamiento térmico en solitario. Para usar este método, la aleación se inactiva como se ha descrito en el párrafo anterior, después se recalienta a una temperatura que es aproximadamente igual a la temperatura de

recristalización austenítica o ligeramente menor, después se inactiva una vez más para conseguir o devolver la microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita. La temperatura de recalentamiento preferentemente está dentro de aproximadamente 50 grados centígrados de la temperatura de recristalización austenítica, por ejemplo aproximadamente 870 °C.

- 5 Las etapas de procesamiento tales como calentamiento de la composición de aleación a la fase austenita, enfriamiento de la aleación con laminado o forjado controlado para conseguir la reducción y el tamaño de grano deseados, e inactivación de los granos de austenita a través de la región de transición de martensita para conseguir la estructura de red de empaquetamiento se realizan por métodos conocidos en la técnica. Estos métodos incluyen coladas, tratamiento térmico y trabajado en caliente de la aleación, tal como por forjado o laminado, seguido de
10 acabado a la temperatura controlada para refinamiento de grano óptimo. El laminado controlado sirve para diversas funciones, incluyendo ayudar en la difusión de los elementos de aleación a formar una fase cristalina de austenita homogénea y en el almacenamiento de la energía de tensión en los granos. En las fases de inactivación del proceso, el laminado controlado guía la fase martensita recién formada hacia una disposición de red de empaquetamiento de redes de martensita separadas por películas finas de austenita retenida, el grado de reducción
15 del laminado puede variar y será fácilmente evidente para los expertos en la materia. La inactivación preferentemente se realiza suficientemente rápido para evitar la formación de microestructuras perjudiciales incluyendo perlita, vainita y partículas o precipitados, particularmente precipitación de interfase y formación de partículas, incluyendo la formación de los carburos y carbonitruros indeseables. En los granos de la red de empaquetamiento de martensita/austenita, las películas de austenita retenidas constituirán de aproximadamente el
20 0,5% a aproximadamente el 15% en volumen de la microestructura, preferentemente de aproximadamente el 3% a aproximadamente el 10% y, más preferentemente, un máximo de aproximadamente el 5%.

- Las aleaciones de triple fase tiene una microestructura que consiste en dos tipos de granos, granos de ferrita y granos de red de empaquetamiento de martensita/austenita, condensados juntos como una masa continua. Como en las aleaciones de doble fase, el tamaño de grano individual no es crítico y puede variar ampliamente. Para los
25 mejores resultados, los tamaños de grano generalmente tendrán diámetros (u otras dimensiones lineales características apropiadas) que están dentro del intervalo de aproximadamente 2 micrómetros = μ a aproximadamente 100 micrómetros, o preferentemente dentro del intervalo de aproximadamente 5 micrómetros a aproximadamente 30 micrómetros. La cantidad de fase ferrita respecto a la fase martensita/austenita puede variar. En la mayoría de los casos, sin embargo, los mejores resultados se obtendrán cuando los granos de
30 martensita/austenita constituyen de aproximadamente el 5% a aproximadamente el 95% de la estructura de triple fase, preferentemente de aproximadamente el 15% a aproximadamente el 60% y, más preferentemente, de aproximadamente el 20% a aproximadamente el 40%, todos en peso.

- Las aleaciones de triple fase pueden prepararse combinando en primer lugar los componentes apropiados necesarios para formar una aleación de la composición deseada, empapando después para conseguir una
35 estructura austenítica uniforme con todos los elementos y componentes en solución sólida, como en la preparación de las aleaciones de doble fase descritas anteriormente. Un intervalo de la temperatura de empapado preferida es de aproximadamente 900 °C a aproximadamente 1.170 °C. Una vez que se forma la fase austenita, la composición de aleación se enfría a una temperatura en la región intercrítica, que está definida como la región en la que las fases austenita y ferrita coexisten en equilibrio. El enfriamiento provoca, por tanto, que una porción de la austenita se transforme en granos de ferrita, dejando el resto como austenita. Las cantidades relativas de cada una de las dos
40 fases en equilibrio varían con la temperatura a la que la composición se enfría en esta fase y también con los niveles de los elementos de aleación. La distribución del carbón entre las dos fases (de nuevo en equilibrio) varía también con la temperatura. Las cantidades relativas de las dos fases no son críticas para la invención y pueden variar. La temperatura a la que la composición se enfría para conseguir la estructura ferrita-austenita de doble fase preferentemente está dentro del intervalo de aproximadamente 800 °C a aproximadamente 1.000 °C.
45

- Una vez que los cristales de ferrita y austenita se han formado (es decir, una vez que se ha conseguido el equilibrio a la temperatura seleccionada en la fase intercrítica), la aleación se inactiva rápidamente enfriando a través del intervalo de transición de martensita para convertir los cristales de austenita en la microestructura red de empaquetamiento de martensita/austenita. La velocidad de enfriamiento usada durante esta transición es
50 suficientemente grande para evitar sustancialmente cualquier cambio en la fase ferrita y evitar la descomposición indeseable de austenita. Dependiendo de la composición de la aleación y su capacidad de endurecimiento, puede requerirse refrigeración con agua para conseguir la velocidad de enfriamiento deseada, aunque para ciertas aleaciones será suficiente enfriamiento con aire. En algunas aleaciones, en concreto de triple fase que contienen un 6% de Cr, la velocidad de enfriamiento deseada es suficientemente baja para que pueda usarse el enfriamiento con
55 aire. Las consideraciones indicadas anteriormente en relación con las aleaciones de doble fase se aplican aquí también.

- Las composiciones de aleación de doble fase son aquellas que contienen de aproximadamente el 0,04% a aproximadamente el 0,12% de carbono, de 0 a aproximadamente el 11,0% de cromo, de 0 a aproximadamente el 2,0% de manganeso, y de 0 a aproximadamente el 2,0% de silicio, todas en peso, siendo el resto hierro. Las
60 composiciones de aleación de triple fase son aquellas que contienen del 0,02% a aproximadamente el 0,14% carbono, de 0 a aproximadamente el 3,0% de silicio, de 0 a aproximadamente el 1,5% de manganeso y de 0 a aproximadamente el 1,5% de aluminio, todas en peso, siendo el resto hierro.

La formación de precipitados u otras partículas pequeñas dentro de la microestructura tras el enfriamiento se denomina colectivamente como "auto-revenido". En ciertas aplicaciones de esta invención, sean aleaciones de doble fase o de triple fase, el auto-revenido se evitará a propósito usando una velocidad de enfriamiento relativamente rápida. Las velocidades de enfriamiento mínimas que evitarán el auto-revenido son evidentes a partir del diagrama de transformación temperatura/tiempo para la aleación. En el diagrama típico, el eje vertical representa temperatura y el eje horizontal representa tiempo, mientras que las curvas en el diagrama indican las regiones donde cada fase existe por sí misma o en combinación con otras fases. Uno de estos diagramas típicos se muestra en Thomas, Patente de Estados Unidos N° 6.273.968 B1, a la que se ha hecho referencia anteriormente. En dichos diagramas, la velocidad de enfriamiento mínima es una línea de temperatura descendente con el tiempo que se apoya en el lado izquierdo de una curva con forma de C. La región a la derecha de la curva representa la presencia de carburos y las velocidades de enfriamiento que evitan la formación de carburos son, por lo tanto, aquellas representadas por las líneas que permanecen a la izquierda de la curva. La línea que es tangencial a la curva tiene la menor pendiente y, por lo tanto, es la velocidad más lenta que puede usarse mientras que aún se evita la formación de carburo.

Las expresiones "precipitación de interfase" y "precipitados de interfase" se usan en este documento para denotar la formación de pequeñas partículas de aleación en localizaciones entre las fases martensita y austenita, es decir, entre las redes y las películas finas que separan las redes. "Precipitados de interfase" no se refiere a las propias películas de austenita. Los precipitados de interfase se deben distinguir de los "precipitados de intrafase", que son precipitados localizados dentro de las redes de martensita en lugar de a lo largo de las interfases entre las redes de martensita y las películas de austenita. Los precipitados de intrafase que son de aproximadamente 500 Å o menores de diámetro no son perjudiciales para el espesor y, de hecho, pueden mejorar la tenacidad. De esta manera, el auto-revenido no es necesariamente perjudicial con la condición de que el auto-revenido esté limitado a la precipitación de intrafase y no de como resultado la precipitación de interfase. La expresión "sustancialmente sin carburos" se usa en este documento para indicar que si cualquier carburo se está presente, su distribución y cantidad es tal que tiene un efecto insignificante sobre las características de rendimiento y particularmente las características de corrosión de la aleación acabada.

Dependiendo de la composición de la aleación, una velocidad de enfriamiento que sea suficientemente alta para evitar la formación de carburo o auto-revenido en general puede ser una que pueda conseguirse por enfriamiento con aire o una que requiera enfriamiento con agua. En las composiciones de aleación en las que el auto-revenido puede evitarse por enfriamiento con aire, el enfriamiento con aire aún puede realizarse cuando los niveles de ciertos elementos de aleación se reducen, con la condición de que los niveles de otros elementos de aleación se eleven. Por ejemplo, una reducción en la cantidad de carbono, cromo o silicio puede compensarse mediante la subida del nivel de manganeso.

Los procesos y condiciones expuestos en las patentes de Estados Unidos a las que se ha hecho referencia anteriormente, particularmente tratamientos térmicos, refinamientos de grano, forjados en línea y el uso de trenes de laminado para formas redondas, planas y otras, puede usarse en la práctica de la presente invención para el calentamiento de la composición de aleación a la fase austenita, el enfriamiento de la aleación desde la fase austenita a la fase intercrítica, en el caso de aleaciones de triple fase, y después el enfriamiento a través de la región de transición de martensita. El laminado se realiza de una manera controlada en una o más fases durante los procedimientos de austenización y primera fase de enfriamiento, por ejemplo para ayudar en la difusión de los elementos de aleación para formar una fase cristalina de austenita homogénea y después deformar los granos cristalinos y almacenar la energía de tensión en los granos, mientras que en la segunda fase de enfriamiento, el laminado puede servir para guiar la fase martensita recién formada a la disposición de red de empaquetamiento de red de martensita separada por películas finas de austenita retenida. El grado de reducciones de laminado puede variar y será fácilmente evidente para los expertos en la materia. En los cristales de la red de empaquetamiento de martensita/austenita, las películas de austenita retenida constituirán de aproximadamente el 0,5% a aproximadamente el 15% en volumen de la microestructura, preferentemente de aproximadamente el 3% a aproximadamente el 10% y, más preferentemente, un máximo de aproximadamente el 5%. La proporción de austenita respecto a toda la microestructura de triple fase será un máximo de aproximadamente el 5%. La anchura real de una película de austenita retenida individual preferentemente está dentro del intervalo de aproximadamente 50 Å a aproximadamente 250 Å y preferentemente es de aproximadamente 100 Å. La proporción de austenita respecto a la microestructura de triple fase total será en general, como máximo, aproximadamente el 5%. El laminado analizado en este párrafo debe distinguirse del trabajado en frío que se realiza de acuerdo con esta invención después de que las microestructuras de red de empaquetamiento de martensita/austenita, sean de doble fase o parte de una estructura de triple fase, se hayan formado.

Los siguientes ejemplos se ofrecen únicamente a modo de ilustración.

EJEMPLO 1

Este ejemplo ilustra la deformación de una barra de acero al carbono con una microestructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita mediante un proceso de laminado en frío de acuerdo con la presente invención hasta una reducción de área del 99%.

- 5 El experimento mostrado en este ejemplo se realizó sobre una barra de acero que medía 6 mm de diámetro y que tenía una composición de aleación de 0,1% de carbono, 2,0% de silicio y 0,5% cromo, 0,5% de manganeso, todos en peso, y el resto hierro, con una microestructura que consistía en granos que medían aproximadamente 50 μm (micrómetros), consistiendo cada grano en redes de martensita que medían aproximadamente 100 nm de espesor alternando con películas finas de austenita que medían aproximadamente 10 nm de espesor, sin fases ferrita, y cada grano estaba rodeado por un revestimiento de austenita que medía aproximadamente 10 nm de espesor.

La barra se preparó por el método descrito en la Solicitud de Patente de Estados Unidos en trámite junto con la presente con N° de serie 10/017.879, presentada el 14 de diciembre de 2001, a la que se ha hecho referencia anteriormente.

- 15 La barra de acero no recubierta se limpió superficialmente y se lubricó, después se estiró en frío a través de troqueles lubricados en 15 pasadas a una temperatura de 25 °C a un diámetro de 0,0095 pulgadas (0,024 cm). A un diámetro de cable final de 0,0105 pulgadas (0,027 cm), que representaba una reducción de área total del 99%, el cable tenía una resistencia a tracción de 390 ksi (2690 MPa).

EJEMPLO 2

- 20 Este ejemplo es otra ilustración del trabajo en frío de las barras de acero al carbono con microestructuras de red de empaquetamiento de martensita/austenita de acuerdo con la presente invención. En este ejemplo, se usaron dos aleaciones diferentes, Fe/8Cr/0,05C y Fe/2Si/0,1C, con una microestructura que consistía en granos que medían aproximadamente 50 μm (micrómetros) de diámetro, consistiendo cada grano en redes de martensita que medían aproximadamente 150 nm de espesor alternando con películas finas de austenita que medían aproximadamente 10 nm de espesor, sin fases ferrita significativas, estando rodeado cada grano por un revestimiento de austenita que medía aproximadamente 10 nm de espesor.

- 25 Las barras de hierro eran de 6 mm de diámetro y su superficie se limpió y lubricó, después se estiraron en frío a través de troqueles lubricados en una serie de pasadas a una temperatura de 25 °C. El esquema de estirado mostrado en la Tabla 1 se usó para la aleación Fe/8Cr/0,05C, y un esquema de estilado similar se usó para la aleación Fe/2Si/0,1C. En esta tabla, A₀ representa el diámetro de barra inicial y A es el diámetro de barra después de una pasada particular.

TABLA I

Esquema de Estirado para Fe/8Cr/0,05C con una Microestructura de Red de Empaquetamiento de Martensita Sustancialmente Libre de Ferrita				
Nº de pasada	Diámetro (mm)	Tensión Total Verdadera (ln(A/A ₀))	Reducción de Área en Una Sola Pasada (%)	Reducción de Área Total (%)
(inicial)	6,000	0,0	0,0	0,0
1	4,3	0,7	48,2	48,2
2	3,4	1,1	37,0	67,3
3	2,7	1,6	37,1	79,4
4	2,2	2,0	34,0	86,4
5	1,8	2,5	36,6	91,4
6	1,4	2,9	38,5	94,7
7	1,0	3,5	45,4	97,1

- 35 Las resistencias a tracción se midieron en la barra inicial y después de cada pasada, y los resultados se representan frente a la tensión total verdadera en la Figura 1, en la que los cuadrados representan la aleación de Fe/8Cr/0,05C y los rombos representan la aleación Fe/2Si/0,1C. La Figura muestra que las resistencias a tracción de ambas aleaciones alcanzan 2.000 MPa al final de toda la secuencia de estirado a una reducción de área total del 97%.

EJEMPLO 3

Este ejemplo ilustra el trabajado en frío de acuerdo con la presente invención, usando barras de acero al carbono con microestructuras de red de empaquetamiento de martensita/austenita que contenían cristales de ferrita y una tercera fase (además de las redes de martensita y las películas finas de austenita, es decir, una microestructura trifásica).

- En este ejemplo, la aleación era Fe/2Si/0,1C, con una microestructura que consistía en ferrita condensada con granos de la red de empaquetamiento similares a aquellos descritos anteriormente en los Ejemplos 1 y 2, que contenían redes de martensita alternadas con películas finas de austenita y recubiertas en un revestimiento de austenita. Las barras se prepararon mediante el método descrito en la Patente de Estados Unidos con N° de Solicitud 10/017.847, presentada el 14 de diciembre de 2001, a la que se ha hecho referencia anteriormente, usando una temperatura de recalentamiento de 950 °C para conseguir un contenido de ferrita del 70% en volumen de la microestructura. El diámetro de barra inicial era 0,220 pulgadas (5,59 mm), y el trabajado en frío consistía en estirar las barras a través de troqueles cónicos lubricados a una temperatura de 25 °C en 15 pasadas con aproximadamente un 36% de reducción por pasada, hasta un diámetro final de 0,037 pulgadas (0,94 mm).
- El esquema de estirado se muestra en la Tabla II, en la que A_0 representa el diámetro de barra inicial y A es el diámetro de barra después de una pasada particular.

Tabla II

Esquema de Estirado para Fe/2Cr/0,1C con Microestructura de Triple Fase				
Nº de Pasada	Diámetro (mm)	Tensión Total Verdadera (ln (A/A ₀))	Reducción de Área en una Sola Pasada (%)	Reducción de Área Total (%)
(inicial)	6,050	0,00	0,00	0,00
1	4,580	0,56	42,69	42,69
2	3,650	1,01	36,49	63,60
3	2,910	1,46	36,44	76,86
4	2,320	1,92	36,44	85,29
5	1,870	2,35	35,03	90,45
6	1,660	2,59	21,20	92,47
7	1,320	3,04	36,77	95,24
8	1,090	3,43	31,81	96,75
9	0,910	3,79	30,30	97,74
10	0,756	4,16	30,98	98,44
11	0,624	4,54	31,87	98,94
12	0,526	4,89	28,94	99,24
13	0,437	5,26	30,98	99,48
14	0,390	5,48	20,35	99,58
15	0,359	5,65	15,27	99,65

La resistencia a tracción del cable final era 2760 MPa (400 ksi).

EJEMPLO 4

Este ejemplo es una ilustración adicional del trabajo en frío de barras de acero al carbono cuya microestructura consistía en una red de empaquetamiento de martensita/austenita y cristales de ferrita, de acuerdo con la presente invención.

En este ejemplo, la aleación era Fe/2Si/0,1C como en el Ejemplo 3, con una microestructura que consistía en ferrita condensada con granos de red de empaquetamiento similares a aquellos descritos anteriormente en los Ejemplos 1 y 2, que contenían redes de martensita alternas con películas finas de austenita y rodeadas por un revestimiento de austenita. Una barra de esta composición se preparó por el método general descrito en la Patente de Estados Unidos con N° de Solicitud 10/017.847, presentada el 14 de diciembre de 2001, a la que se ha hecho referencia anteriormente. En este caso, la barra se laminó en caliente inicialmente a un diámetro de 0,25 pulgadas (6,35 mm), después se calentó a 1.150 °C durante aproximadamente 30 minutos para austenizar la composición, después se inactivó en salmuera enfriada con hielo para transformar la austenita en sustancialmente 100% de martensita, después se recalentó rápidamente para convertir la estructura en aproximadamente 70% de ferrita y 30% de austenita. La barra se inactivó después en salmuera enfriada con hielo para convertir la austenita en una estructura de red de empaquetamiento de martensita/austenita. La barra se estiró en frío después en 7 pasadas a una reducción del 35% por pasada, hasta un diámetro final de 0,055 pulgadas (1,40 mm), dando como resultado una resistencia a tracción de 1.875 MPa (272 ksi). En un experimento en paralelo, una barra de la misma composición y tratada de manera idéntica se estiró en frío en 13 pasadas a una reducción del 35% por pasada, hasta un diámetro final de 0,015 pulgadas (0,37 mm), dando como resultado una resistencia de 2.480 MPa (360 ksi).

EJEMPLO 5

Este ejemplo es una ilustración adicional más del trabajado en frío de las barras de acero al carbono cuya microestructura consistía en una red de empaquetamiento de martensita/austenita y cristales de ferrita, de acuerdo con la presente invención, demostrando el efecto de variar las cantidades relativas de la red de empaquetamiento de martensita/austenita y ferrita.

La aleación de acero era Fe/2Si/0,1C como los Ejemplo 3 y 4, y las barras se prepararon como se ha descrito en el Ejemplo 4, usando diferentes temperaturas de recalentamiento para conseguir contenidos de ferrita del 0%, 56%, 66% y 75%, correspondientes a contenidos de red de empaquetamiento de martensita/austenita del 100%, 44%, 35% y 25% respectivamente, todos en volumen. Los esquemas de estirado similares al mostrado en la Tabla II se usaron para las cuatro microestructuras y las resistencias a tracción resultantes se dibujan contra la tensión total verdadera en la Figura 2, en la que los cuadrados representan aleación de red de empaquetamiento al 100%, los triángulos representan aleación de red de empaquetamiento al 44%, los círculos representan aleación de red de empaquetamiento al 34%, y los rombos representan aleación de red de empaquetamiento al 25%. El dibujo muestra que las cuatro microestructuras consiguieron una resistencia a tracción bastante por encima de 2.000 MPa, y aquellas en las que las porciones de red de empaquetamiento de martensita/austenita superaron el 25% producían mayores resistencias a tracción que la microestructura en la que la porción de red de empaquetamiento era del 25%.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para fabricar una aleación de acero al carbono de alta resistencia y alta ductilidad, comprendiendo dicho proceso:

5 (a) formar una aleación de acero al carbono que tenga una microestructura que comprende redes de martensita alternadas con películas de austenita retenida, y

(b) trabajar en frío dicha aleación de acero al carbono en una serie de pasadas sin tratamiento térmico intermedio entre las pasadas hasta una reducción suficiente para conseguir una resistencia a tracción de al menos 1034 MPa (150 ksi),

en la que la etapa (a) comprende:

10 (i) formar una composición de aleación de acero al carbono que tenga una temperatura de inicio de martensita de al menos 300 °C,

(ii) calentar dicha composición de aleación de acero al carbono a una temperatura suficientemente alta para provocar la austenización de la misma, para producir una fase austenita homogénea con todos los elementos de aleación en solución, y

15 (iii) enfriar dicha fase austenita homogénea a través de dicho intervalo de transición de martensita a una velocidad de enfriamiento suficientemente rápida para conseguir dicha microestructura, evitando la formación de carburo en las interfaces entre dichas redes de martensita y dichas películas de austenita retenida,

20 en el que dicha composición de la aleación de acero al carbono contiene del 0,004% al 0,12% de carbono, del 0% al 11% de cromo, del 0% al 2,0% de manganeso y del 0% al 2,0% de silicio, todos en peso, siendo el resto hierro junto con cualquier impureza inevitable.

2. Un proceso para fabricar una aleación de acero al carbono de alta resistencia y alta ductilidad, comprendiendo dicho proceso:

25 (a) formar la aleación de acero al carbono que tenga una microestructura que comprende redes de martensita alternas con películas de austenita retenida, y

(b) trabajar en frío dicha aleación de acero al carbono en una serie de pasadas sin tratamiento térmico intermedio entre pasadas a una reducción suficiente para conseguir una resistencia a tracción de al menos 1.034 MPa (150 ksi),

en el que la etapa (a) comprende:

30 (i) formar una composición de aleación de acero al carbono que tiene una temperatura de inicio de martensita de al menos 300 °C,

(ii) calentar dicha composición de aleación de acero al carbono a una temperatura suficientemente alta para provocar la austenización de la misma, para producir una fase austenita homogénea con todos los elementos de aleación en solución,

35 (iii) enfriar dicha fase austenita homogénea para transformar una porción de dicha fase austenita en cristales de ferrita, formando de esta manera una microestructura bifásica que comprende cristales de ferrita condensados con cristales de austenita, y

40 (iv) enfriar dicha microestructura bifásica a través del intervalo de transición de martensita en condiciones que provocan la conversión de dichos cristales de austenita a una microestructura que contiene redes de martensita alternas con películas de austenita retenida,

en el que dicha composición de aleación de acero al carbono contiene del 0,02% al 0,14% de carbono, del 0% al 3,0% de silicio, del 0% al 1,5% de manganeso y del 0% al 1,5% de aluminio, todos en peso, siendo el resto hierro junto con cualquier impureza inevitable.

45 3. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que la etapa (b) comprende trabajar en frío dicha aleación de acero al carbono hasta una reducción suficiente para conseguir una resistencia a tracción de 1034 MPa (150 ksi) a 3447 MPa (500 ksi).

4. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que la etapa (b) comprende trabajar en frío dicha aleación de acero al carbono hasta una reducción del área de la sección transversal de al menos el 20% por pasada.

50 5. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que la etapa (b) comprende trabajar en

frío dicha aleación de acero hasta una reducción del área de la sección transversal de al menos el 25% por pasada.

6. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que la etapa (b) comprende trabajar en frío dicha aleación de acero al carbono hasta una reducción del área de la sección transversal del 25% al 50% por pasada.

5 7. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que la etapa (b) se realiza a una temperatura de 100 °C o menor.

8. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que la etapa (b) se realiza a una temperatura ambiente de 25 °C.

10 9. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que dicha aleación de acero al carbono está en forma de una barra o cable, y la etapa (b) comprende estirar dicha aleación de acero al carbono a través de un troquel.

10. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que dicha aleación de acero al carbono está en forma de una lámina, y la etapa (b) comprende laminar dicha aleación de acero al carbono.

15 11. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 en la que dicha composición de la aleación de acero al carbono tiene una temperatura de inicio de martensita de al menos 350 °C.

12. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dichas películas de austenita retenida son de una orientación uniforme.

13. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicha temperatura de la etapa (ii) es de 800 °C a 1150 °C.

20 14. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 2 en el que la etapa (iii) comprende enfriar dicha fase austenita homogénea hasta una temperatura de 800 °C a 1.000 °C.

15. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 2 en el que la etapa (ii) comprende calentar dicha composición de aleación de acero al carbono hasta una temperatura de 1.050 °C a 1.170 °C, y la etapa (iii) comprende enfriar dicha fase austenita homogénea a una temperatura de 800 °C a 1.000 °C.

25

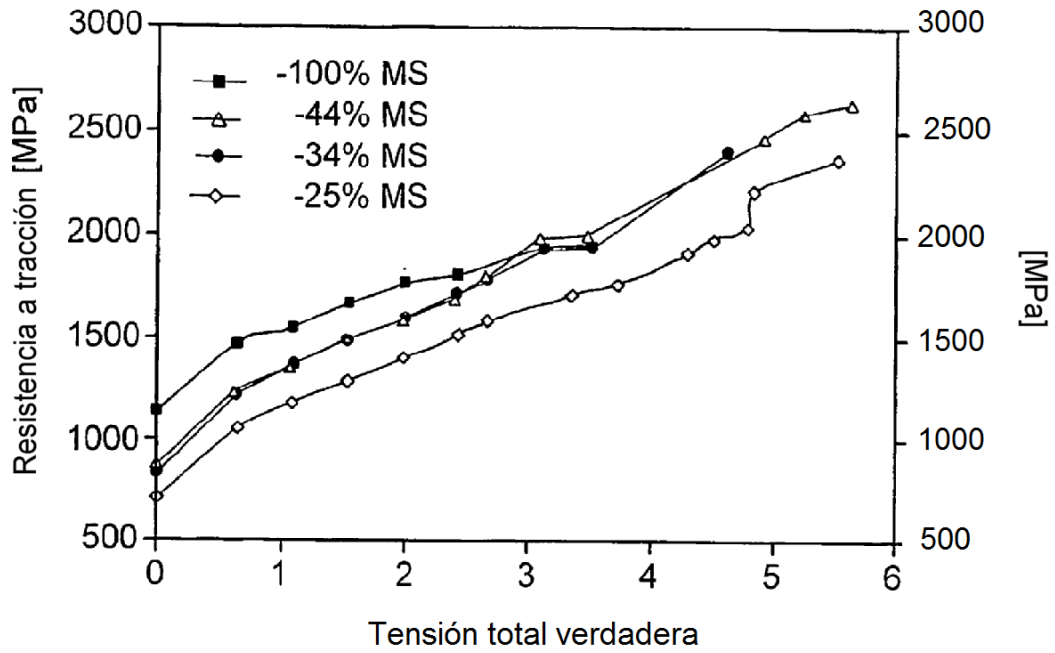


FIG. 1

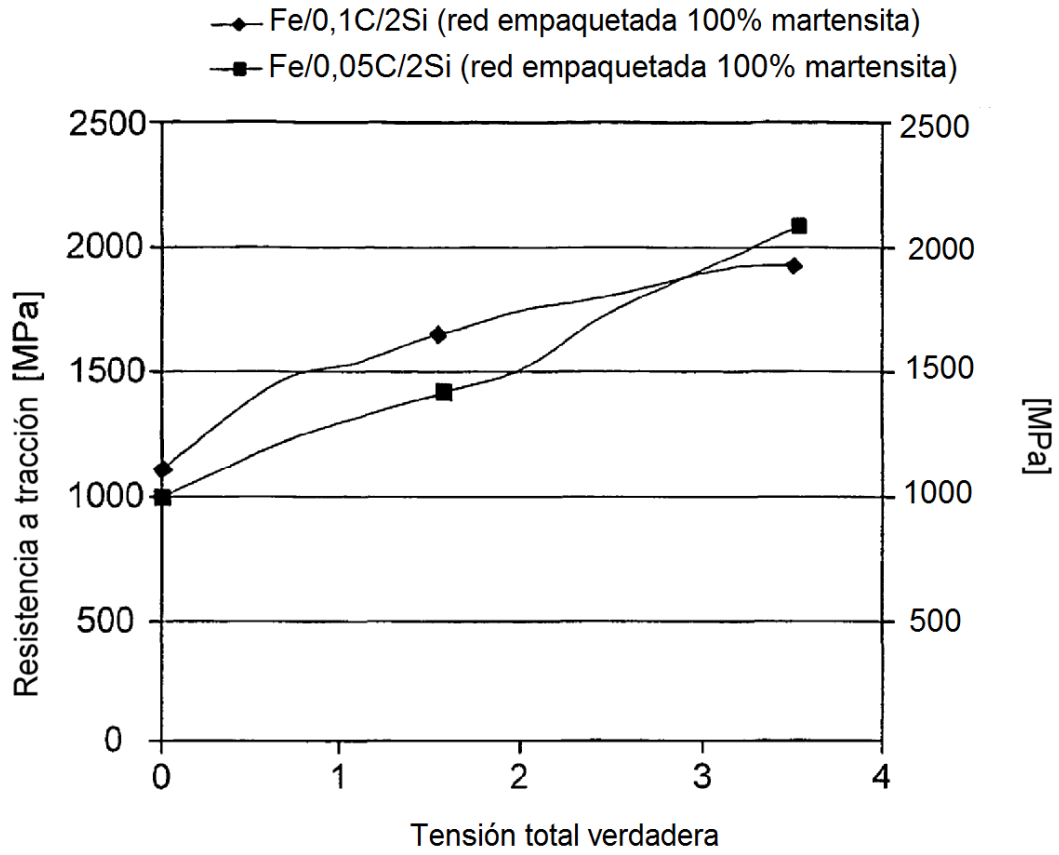


FIG. 2