

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 860 953**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02	(2006.01) C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	
C21C 7/064	(2006.01)	
C21C 7/10	(2006.01)	
C22C 38/00	(2006.01)	
C22C 38/06	(2006.01)	
C22C 38/42	(2006.01)	
C22C 38/44	(2006.01)	
C22C 38/46	(2006.01)	
C22C 38/48	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2014** **PCT/ES2014/070558**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.01.2016** **WO16005615**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2014** **E 14897352 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.12.2020** **EP 3168319**

54 Título: **Acero microaleado para conformado en caliente de piezas de alta resistencia y alto límite elástico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.10.2021

73 Titular/es:
SIDENOR INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, S.A.
(100.0%)
Barrio Ugarte, s/n
48970 Elexalde-Basauri (Bizkaia), ES

72 Inventor/es:
IDOYAGA OLANO, ZURIÑE;
ALBARRÁN SANZ, JACINTO JOSÉ;
CANTERO VIQUIERA, OIHANE y
LARAUDOGOITIA ELORTEGUI, JUAN JOSÉ

74 Agente/Representante:
GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 860 953 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

Acero microaleado para conformado en caliente de piezas de alta resistencia y alto límite elástico

Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un acero microaleado de alta resistencia y alto límite elástico.

- 5 La invención permite producir un acero microaleado, con una alta resistencia mecánica y elevado límite elástico, además de tener una buena respuesta a las operaciones de mecanizado, a partir de una determinada composición química, un específico procedimiento metalúrgico y un enfriamiento posterior controlado.

Antecedentes de la invención

- 10 Un acero microaleado es, básicamente, un acero de construcción clásico al que se le añaden pequeñas cantidades de elementos de aleación, tales como, V, Al, Ti, Nb, Zr, B, etc. capaces de formar microprecipitados.

- 15 La principal característica de los aceros microaleados se basa en la aparición de microprecipitados que se producen tanto durante el procedimiento de laminación como durante el procedimiento de forja. Por ello, es necesario conocer la formación y la evolución de los microprecipitados en función de los ciclos térmicos, de las deformaciones en caliente y de las velocidades de enfriamiento para poder dominar el procedimiento y obtener un acero con las propiedades mecánicas deseadas.

Una de las principales aplicaciones de los aceros microaleados son ciertos componentes del motor del automóvil, como el cigüeñal, las bielas, el raíl del common-rail, etc. Todos estos elementos son componentes sometidos a elevadas presiones y tensiones de trabajo con lo cual es fundamental que tengan valores muy elevados de resistencia a la tracción y de límite elástico.

- 20 La ventaja respecto a los aceros de temple y revenido a los que sustituyen se basa en el hecho de que estos aceros microaleados adquieren características directamente mediante el tratamiento termomecánico y posterior enfriamiento controlado.

Los aceros microaleados de la presente patente son de estructura ferrita-perlita y su aplicación final es el conformado en caliente.

- 25 Por otra parte, la maquinabilidad de un acero microaleado tras un procedimiento de conformado en caliente es comparable a la de un acero templado y revenido, siempre y cuando ambos presenten niveles de dureza y contenido en azufre similares.

- 30 La principal ventaja derivada de la utilización de aceros microaleados es la reducción directa del coste de los componentes conformados hasta un 10-20 %, debido fundamentalmente a la simplificación del procedimiento de fabricación por la eliminación del tratamiento térmico del templado y revenido, así como las posteriores operaciones de enderezados, operaciones de alivio de tensión, así como grietas de endurecimiento y sus controles para detectarlas.

- 35 En la actualidad se emplean diferentes calidades de aceros microaleados según la resistencia que se quiera alcanzar en los componentes para los cuales se vayan a utilizar. Las características se encuentran en gran medida determinadas por el contenido de carbono del acero que puede oscilar entre 0,15 % y 0,50 % en peso, así como el contenido de otros elementos aleantes como, por ejemplo, Mn y Si, que ayudan al endurecimiento por solución sólida de la ferrita y otros elementos microaleantes como Ti, V y en ciertos casos también Nb, que forman microprecipitados de carburos y nitruros, haciendo función de controladores de tamaño de grano y de endurecimiento por precipitación.

- 40 Las diferentes calidades de aceros microaleados que hoy en día se fabrican van desde los 550 MPa hasta los 1000 MPa de resistencia. Estos valores dependen notablemente del espesor de la pieza y del procedimiento de conformado y enfriamiento posterior al que la pieza es sometida.

En la actualidad existen diferentes patentes relacionadas con aceros microaleados. A continuación, se mencionan algunos ejemplos.

- 45 La solicitud de patente n.º CN102776439(A)2012 "Niobium microalloying Si-Mn-B series hot forming steel plate and rolling technology" describe un acero microaleado con Nb pero para producto plano con una resistencia mecánica entre 700-900 MPa y un límite elástico de 500-600 MPa.

- 50 La solicitud de patente n.º CN101629268(A)2010 "Microalloying high-strength and anti-crack flat steel for automobile girder and production process thereof" describe un acero microaleado en V produciendo un producto de laminado entre 750-850 MPa y un límite elástico entre 640-700 MPa.

La solicitud de patente n.º CN101307413(A)2008 "Microalloying steel for ultra-high-strength sucker rod" describe un

acero microaleado con Nb, Ti y V para varillas, con una resistencia a la tracción mayor que 965 MPa.

La solicitud de patente n.º EP2816131 se refiere a una barra de acero laminado para forja en caliente adecuado como material de partida para un common rail utilizado para un sistema de inyección de combustible de un motor diésel, un material de sección forjado en caliente producido mediante conformado de la barra de acero laminado, el common rail y el procedimiento de producción del common rail. El Nb no está presente en la barra de acero laminado descrita.

La solicitud de patente n.º EP2159296 se refiere a un acero endurecido por templado y revenido y a un procedimiento de obtención de partes de dicho acero. El Nb no está presente en la composición del acero. El documento JPH10121200 desvela un material de acero de alta resistencia para barra de refuerzo cortante, excelente en plegabilidad y soldabilidad que tiene una composición específica que contiene cantidades específicas de Nb y V y que tiene también una estructura compuesta de ferrita y perlita.

Así, en el estado de la técnica no existe ningún acero microaleado cuya resistencia a la tracción supere los 1000 MPa.

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un acero microaleado para conformado de piezas de alta resistencia y alto límite elástico tal y como se define en la reivindicación 1. El acero de la invención consiste en una estructura de ferrita-perlita con unas características mecánicas en las que la resistencia a la tracción es de 1050-1200 MPa, dependiendo del diámetro de la barra y el límite elástico es superior a 750 MPa.

La invención permite producir un acero microaleado a partir de una composición química novedosa y un determinado procedimiento metalúrgico, que tiene una alta resistencia mecánica a la vez que un alto límite elástico, algo fundamental para todos los componentes de automoción.

El tratamiento termomecánico al que es sometido el componente conformado con el acero en cuestión influye de manera importante en la microestructura y por tanto en las características mecánicas del componente final, es decir, el acero con la composición química inicial deberá ser conformado bajo unas condiciones determinadas y ser sometido a un enfriamiento controlado bajo unas ciertas condiciones para alcanzar las características mecánicas optimizadas del componente final.

Para garantizar unas altas características mecánicas que a su vez llevan consigo una elevada vida a la fatiga es necesario aplicar en el procedimiento de fabricación de este acero un procedimiento específico de desoxidación y de decantación de inclusiones en determinadas condiciones especiales.

Se ha comprobado un efecto sinérgico entre una combinación novedosa de elementos químicos y un procedimiento de enfriamiento controlado para obtener las características requeridas para dicho acero.

A su vez, como la mayor parte de los componentes de automoción para los cuales este acero ha sido diseñado, requieren importantes operaciones de mecanizado posteriores al procedimiento de forja, la composición química de este acero está diseñada para que su maquinabilidad tras el procedimiento de conformado sea comparable o incluso mejor a la del acero clásico de templado y revenido, cuando ambos presentan niveles de endurecimiento y contenido de azufre similares.

Las investigaciones realizadas han dado como resultado una nueva calidad de acero aleado al SiMnV, con la composición química desvelada en la reivindicación 1.

Estos elementos de aleación se utilizan en aceros microaleados para mejorar la resistencia a la tensión, y otras características, que permiten su utilización en las aplicaciones descritas.

Cada uno de los elementos de aleación, en las proporciones anteriormente indicadas influye en determinados parámetros y propiedades del acero finalmente producido.

El carbono es un elemento esencial para obtener una elevada resistencia y dureza, así como alta vida a fatiga. En los aceros microaleados el carbono tiende a formar carburos que endurecen y dan resistencia a dichos aceros.

El silicio además de ser un potente desoxidante, proporciona endurecimiento por solución sólida al disolverse en la matriz ferrítica.

El manganeso evita el efecto perjudicial del azufre, combinándose con él para formar MnS y así mejorar la maquinabilidad. Por otro lado, el manganeso, al igual que el silicio, se disuelve en la red cristalina de la ferrita sustituyendo a los átomos de hierro y provocando un endurecimiento por solución sólida.

El vanadio es un elemento microaleante que contribuye a afinar el tamaño de grano y que al combinarse con el carbono, forma carburos de vanadio que provocan un intenso endurecimiento por precipitación. Los precipitados de vanadio son nucleadores de hidrógeno, de modo que en ambientes corrosivos lo fijan y mejoran la resistencia a la

fractura retardada inducida por hidrógeno. Sin embargo, con contenidos de vanadio muy elevados los precipitados coalescen y su efecto puede volverse perjudicial. Por tanto, el contenido óptimo de vanadio se sitúa entre 0,05 % y 0,50 %.

5 El niobio es un elemento microaleante de efectos similares al vanadio en el control del tamaño de grano y en el endurecimiento del acero por precipitación, de modo que contribuye a incrementar la resistencia mecánica y a mejorar la tenacidad. Además, los precipitados de niobio fijan el hidrógeno que ataca al acero en ambientes corrosivos, mejorando la resistencia a la fractura retardada. Por encima de 0,050 %, no obstante, se produce un engrosamiento de los precipitados que resulta perjudicial para las propiedades mecánicas además de que aumenta el riesgo de aparición de bainitas. El contenido óptimo de niobio se fija entre 0,001 % y 0,050 %.

10 Además, se contempla que el acero que la invención propone pueda comprender, adicionalmente, al menos uno de los elementos siguientes o una combinación de ellos, con un porcentaje en peso:

15 $P \leq 0,015 \%$
 $S \leq 0,10 \%$
 $Cr \leq 0,50 \%$
 $Ni \leq 0,50 \%$
 $Mo \leq 0,10 \%$
 $Cu \leq 0,25 \%$
 $0,001 \% \leq Al \leq 0,050 \%$
 $0,001 \% \leq Nb \leq 0,050 \%$
20 $0,004 \% \leq N \leq 0,020 \%$

El fósforo endurece el acero y segrega en los límites de grano de la austenita reduciendo drásticamente la tenacidad del acero. Además, favorece la fragilización por hidrógeno y la fractura retardada. Para limitar su efecto adverso el contenido de fósforo se limita a menos de 0,015 %.

25 El azufre fragiliza el acero de modo similar al fósforo. Pese a que este efecto se contrarresta por combinación con el manganeso, los sulfuros de manganeso forman inclusiones que se deforman longitudinalmente en la dirección de forja o laminación y deterioran considerablemente las propiedades mecánicas transversales y el comportamiento a la fatiga. Sin embargo, el azufre debe adicionarse en pequeñas cantidades ya que provoca mejoras en la maquinabilidad del acero microaleado, de ahí que su contenido se limite a 0,10 %.

30 El cromo es un elemento indispensable para asegurar la templabilidad de los aceros; sin embargo, como para nuestro acero microaleado deseamos una estructura de ferrita-perlita, el cromo es un elemento que debemos controlar, de ahí que lo limitemos a un máximo de 0,50 %.

El níquel es un elemento que en grandes concentraciones inhibe la formación de ferrita y además favorece la templabilidad, de ahí que al igual que el cromo es un elemento que debe ser controlado en los aceros microaleados, por ese motivo debe ser limitado a un máximo de 0,50 %.

35 El molibdeno tiene un fuerte efecto favorecedor de la templabilidad, al igual que el cromo y más que el níquel, de ahí que para un acero microaleado de estructura de ferrita-perlita esté limitado a un máximo de 0,10 %.

La adición de cobre previene la descarbonización del acero y mejora la resistencia a la corrosión de manera similar al níquel inhibiendo el crecimiento de las picaduras de corrosión. Sin embargo, un contenido elevado de cobre empeora la ductilidad en caliente del acero, de modo que el límite superior de cobre se fija en 0,25 %.

40 El aluminio es un elemento que actúa como potente desoxidante durante el procedimiento de fabricación del acero. El aluminio forma nitruros de aluminio que contribuyen a controlar el tamaño de grano austenítico durante los calentamientos previos a los procedimientos de conformado en caliente. No obstante, forma óxidos de elevada dureza que son muy perjudiciales para la vida a la fatiga, de modo que su límite superior se establece en menos de 0,050 %.

45 El nitrógeno se combina con Ti, Nb, Al y V para formar nitruros, cuyas temperaturas de precipitación dependen del contenido respectivo de los diferentes elementos y de constantes características. Con un tamaño adecuado, esos nitruros ejercen un efecto de anclaje sobre el grano austenítico controlando su tamaño a alta temperatura e impidiendo su coalescencia y crecimiento. Sin embargo, si el contenido de nitrógeno o de los elementos microaleantes es muy elevado, la precipitación se produce a alta temperatura y los precipitados engrosan volviéndose ineficaces para controlar el grano y perjudiciales para la vida a la fatiga. Por ello, el contenido de nitrógeno en el acero se limita de 0,004 % a 0,020 %.

Así, tras diversos experimentos se ha desarrollado un riguroso procedimiento para producir el acero de acuerdo con los siguientes pasos:

- Controlar rigurosamente las materias primas del horno.
- 55 - Realizar un periodo oxidante en horno eléctrico, lo cual es importante para la desfosforación del acero, previo a

la escoria espumosa.

- Una vez ha finalizada la escoria espumosa, se procede a desescoriar hasta dejar prácticamente sin escoria el horno, siendo el objetivo una presencia de fósforo, en este paso, inferior a 0,007 % en peso.
- Bascular al vuelco con temperatura estándar y partes por millón (ppm) de oxígeno, asegurándose que no pase escoria del horno a la cuchara.
- Realizar un vacío prolongado, considerando como tiempo de vacío aquel que se encuentra por debajo de 1 mbar.
- Finalizar el tratamiento de vacío con una temperatura suficiente como para hacer un procedimiento de decantación de inclusiones después del mismo de al menos quince minutos, sin realizar adiciones ni calentamientos de ningún tipo.
- Finalmente, debe seguirse un meticuloso procedimiento de colada con protección especial del chorro de acero líquido.
- Si el procedimiento de solidificación es en colada continua, se ajustarán las condiciones de velocidad de colada, refrigeración y agitación para producir una microestructura de solidificación homogénea.
- Proporcionar un diseño adecuado del enfriamiento secundario, así como un enfriamiento terciario lento, de cara a evitar tensiones termomecánicas que puedan derivar en la aparición de grietas.
- Llegar al enderezado a una temperatura por encima de las temperaturas de caída de ductilidad en caliente para estos aceros.

Todo este procedimiento de fabricación del acero permite conseguir los niveles de azufre deseados, y niveles de fósforo por debajo del 0,015 % en peso, además de un bajo nivel de inclusión.

Los diagramas CCT (transformación de enfriamiento continuo) permiten conocer las velocidades de enfriamiento adecuadas para obtener una microestructura de ferrita-perlita en el acero de acuerdo con la invención.

Los productos de solidificación se transforman posteriormente en condiciones de calor, mediante un procedimiento que consta de calentamiento a una temperatura entre 900-1300 °C y una serie de deformaciones consecutivas mediante forja o laminación en caliente hasta producir un producto intermedio de la sección, forma y microestructura adecuadas.

Después de diversos ensayos experimentales se ha constatado que, tras el procedimiento de fabricación del acero que se desvela en el presente documento, con la composición química arriba indicada y ajustando las velocidades de enfriamiento después del procedimiento de forja o laminación, se consigue un acero de estructura de ferrita-perlita con resistencia a la tracción entre 1050-1200 MPa, dependiendo de la sección de la barra o componente.

Para producir un componente del acero anteriormente producido de las características citadas, la divulgación contempla la posibilidad de realizar un procedimiento por el cual es obtenible dicha pieza de acero. Dicha posibilidad, comprende, tras la producción del acero los siguientes pasos:

- fabricar un componente elaborado a partir de dicho acero,
- realizar un enfriamiento controlado del componente inmediatamente después del conformado en caliente,
- mecanizado del componente con su geometría final.

Por lo tanto, de acuerdo con la divulgación, el procedimiento para obtener piezas de dicho acero comprende un procedimiento de conformado en caliente, con un calentamiento previo a una temperatura entre 900-1300 °C que permita dotar al acero de una ductilidad en caliente suficiente, para conferir a la pieza de acero una forma similar a la del componente final. Tras su puesta en forma, la pieza es sometida a un enfriamiento controlado que le permitirá alcanzar las características mecánicas deseadas con una estructura de ferrita-perlita al 100 %.

Posteriormente, se contempla que dicha divulgación del procedimiento de fabricación de la pieza de acero microaleado comprenda un procedimiento de mecanizado para obtener la geometría final del componente, de ahí que cara a mejorar la respuesta del acero frente a la maquinabilidad el acero pueda contar eventualmente con elementos como azufre y otros elementos de mejora de la maquinabilidad.

Por lo tanto, se contempla que una realización del procedimiento para obtener piezas de acero comprenda los siguientes pasos:

- Fabricación del acero de la invención, anteriormente descrito, en el que el acero seleccionado comprende la composición general o la composición preferente anteriormente definidas.
- Procedimiento de laminación del acero en cuestión.
- Fabricación de una pieza de dicho acero mediante un procedimiento de conformado en caliente.
- Enfriamiento controlado de la pieza después del conformado en caliente.
- Operaciones de mecanizado de la pieza conformada.

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo de referencia del mismo, se acompaña como parte

integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en el que con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1 muestra una tabla, dividida en las figuras 1a y 1b, que comprende fotografías de las microestructuras obtenidas después del conformado en caliente para la misma pieza en las muestras de los aceros A-G definidos en la tabla 1.

La figura 2 muestra fotografías de las microestructuras en las que se pueden apreciar detalles de las bainitas encontradas en las coladas B, C, D y E.

Ejemplos de referencia no de acuerdo con la invención

A modo de ejemplo, se describen a continuación los ensayos realizados con muestras de aceros con otras composiciones diferentes a la composición química del acero de la invención. La tabla 1 muestra las composiciones químicas en porcentaje en peso, siendo el resto hierro e impurezas:

Tabla 1

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al	Ti	N*
A	0,36	1,05	0,72	0,009	0,023	0,12	0,09	0,020	0,26	0,13	0,019	0,025	152
B	0,38	1,37	0,72	0,009	0,069	0,15	0,14	0,032	0,25	0,21	0,010	0,009	136
C	0,37	1,39	0,95	0,012	0,073	0,13	0,14	0,034	0,26	0,21	0,008	0,009	207
D	0,40	1,40	1,28	0,010	0,060	0,19	0,13	0,033	0,26	0,20	0,004	0,006	95
E	0,40	1,42	1,51	0,010	0,062	0,18	0,13	0,033	0,25	0,21	0,004	0,006	99
F	0,40	1,16	1,06	0,007	0,063	0,15	0,12	0,028	0,25	0,07	0,009	0,014	133
G	0,44	1,40	0,40	0,011	0,070	0,21	0,06	0,020	0,12	0,10	0,017	0,016	137
H	0,44	1,21	0,91	0,008	0,025	0,09	0,08	0,012	0,26	0,010	0,011	0,013	162
(*) ppm													

La tabla 2 muestra los valores de las características mecánicas obtenidas sobre el mismo componente ya conformado con todas las coladas de la tabla 1.

Tabla 2

	Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento (%)	Reducción (%)
A	698	954	18	48
B	824	1102	13	25
C	779	1056	9	18
D	880	1140	10	38
E	887	1141	8	32
F	740	1016	18	40
G	648	956	21	41
H	804	1118	15	35

Se puede ver que los aceros B-C-D y E han superado los 1050 MPa de resistencia y los 750 MPa de límite elástico; sin embargo, estos aceros han mostrado trazas de bainitas en su microestructura después del conformado en caliente.

En la siguiente tabla se muestran los distintos porcentajes de fases encontradas en los distintos componentes con

las coladas de la tabla 1.

Tabla 3

	Ferrita (%)	Perlita (%)	Bainita (%)
A	40	60	0
B	10	65	25
C	15	75	10
D	20	75	5
E	15	80	5
F	40	60	0
G	35	65	0
H	35	65	0

5 La figura 1 muestra las fotografías de las microestructuras producidas después del conformado en caliente para la misma pieza.

La figura 2 muestra los detalles de las bainitas encontradas en las coladas B, C, D y E.

10 Como se muestra en la tabla 2 los aceros A y G no llegan a los 1000 MPa de resistencia. El acero A posee un bajo porcentaje de carbono y de manganeso, de manera que no llega a los 1000 MPa de resistencia ni a los 700 MPa de límite elástico. A su vez, el acero G, aunque tiene mayor porcentaje de carbono y de manganeso que el A, tiene un porcentaje de silicio bajo, al igual que el porcentaje de vanadio, de forma que el endurecimiento por precipitación es menor que en el caso del acero A.

El acero F posee una resistencia a la tracción mayor de 1000 MPa y un límite elástico de 700 MPa, algo mayor que los aceros A y G. Sin embargo, no se han alcanzado las características mecánicas objeto de la presente patente debido al porcentaje de carbono un poco más bajo del nivel adecuado.

15 Las composiciones de los aceros B y C se diseñaron en función de la composición del acero A pero aumentando los porcentajes de manganeso en el caso del acero B y manganeso y silicio en el caso del acero C. Así, aunque se consiguieron resistencias mayores a los 1050 MPa y límites elásticos en torno a los 800 MPa los porcentajes de bainita obtenidos no han sido aceptables para un acero microaleado con microestructura de ferrita-perlita.

20 Posteriormente, se diseñaron las composiciones químicas de los aceros D y E, en los cuales además del porcentaje de carbono, se mantuvo el porcentaje de manganeso de la colada B y se aumentaron los porcentajes de silicio. Sin embargo, a pesar de obtener buenas características mecánicas con resistencias mayores de 1100 MPa y límites elásticos mayores de 800 MPa han seguido apareciendo porcentajes residuales de bainita en los distintos componentes.

25 Sin embargo, para el acero H, se ha comprobado que para piezas de configuración de barra de 30 mm de diámetro se puede conseguir 1100 MPa de resistencia.

REIVINDICACIONES

1. Acero microaleado de ferrita-perlita con alta resistencia a la tracción entre 1050 y 1200 MPa y alto límite elástico mayor de 750 MPa, que comprende los siguientes elementos en porcentaje en peso:

5 $0,35 \% \leq C \leq 0,48 \%$
 $0,55 \% \leq Si \leq 1,40 \%$
 $0,55 \% \leq Mn \leq 1,40 \%$
 $0,05 \% \leq V \leq 0,40 \%$
 $0,005 \% \leq Ti \leq 0,040 \%$;
 $0,001 \% \leq Nb \leq 0,050 \%$

10 comprendiendo el acero microaleado además opcionalmente al menos uno de los siguientes elementos en porcentaje en peso:

15 $P \leq 0,015 \%$
 $S \leq 0,10 \%$
 $Cr \leq 0,50 \%$
 $Ni \leq 0,50 \%$
 $Mo \leq 0,10 \%$
 $Cu \leq 0,25 \%$
 $0,001 \% \leq Al \leq 0,050 \%$
 $0,004 \% \leq N \leq 0,020 \%$
20 $Bi \leq 0,15 \%$
 $Pb \leq 0,20 \%$
 $Te \leq 0,02 \%$
 $Se \leq 0,04 \%$
siendo el resto hierro e impurezas.

25

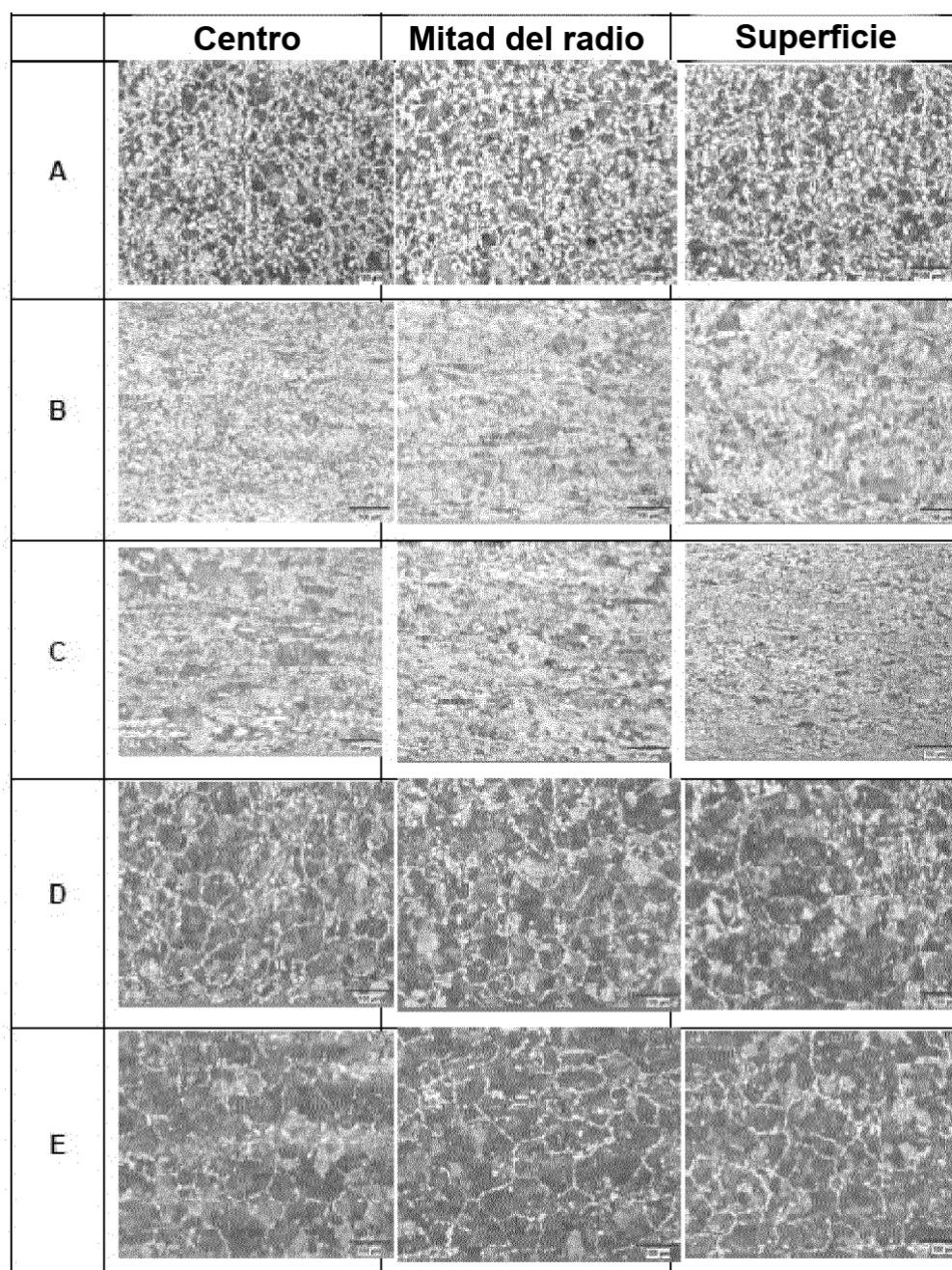


FIG. 1a

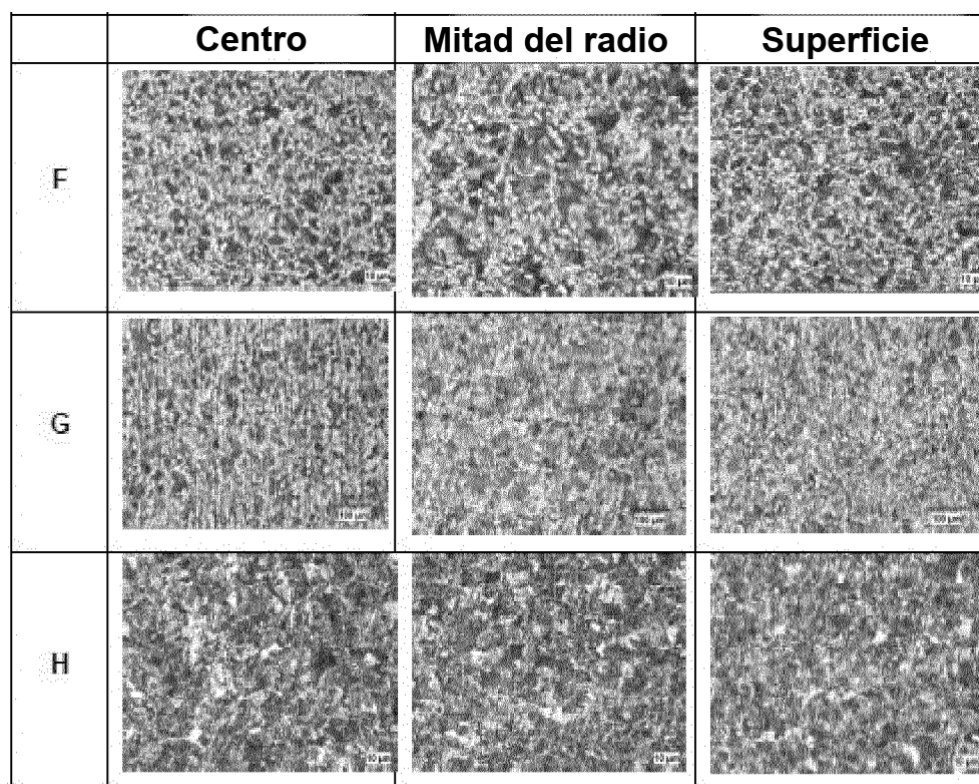


FIG 1b

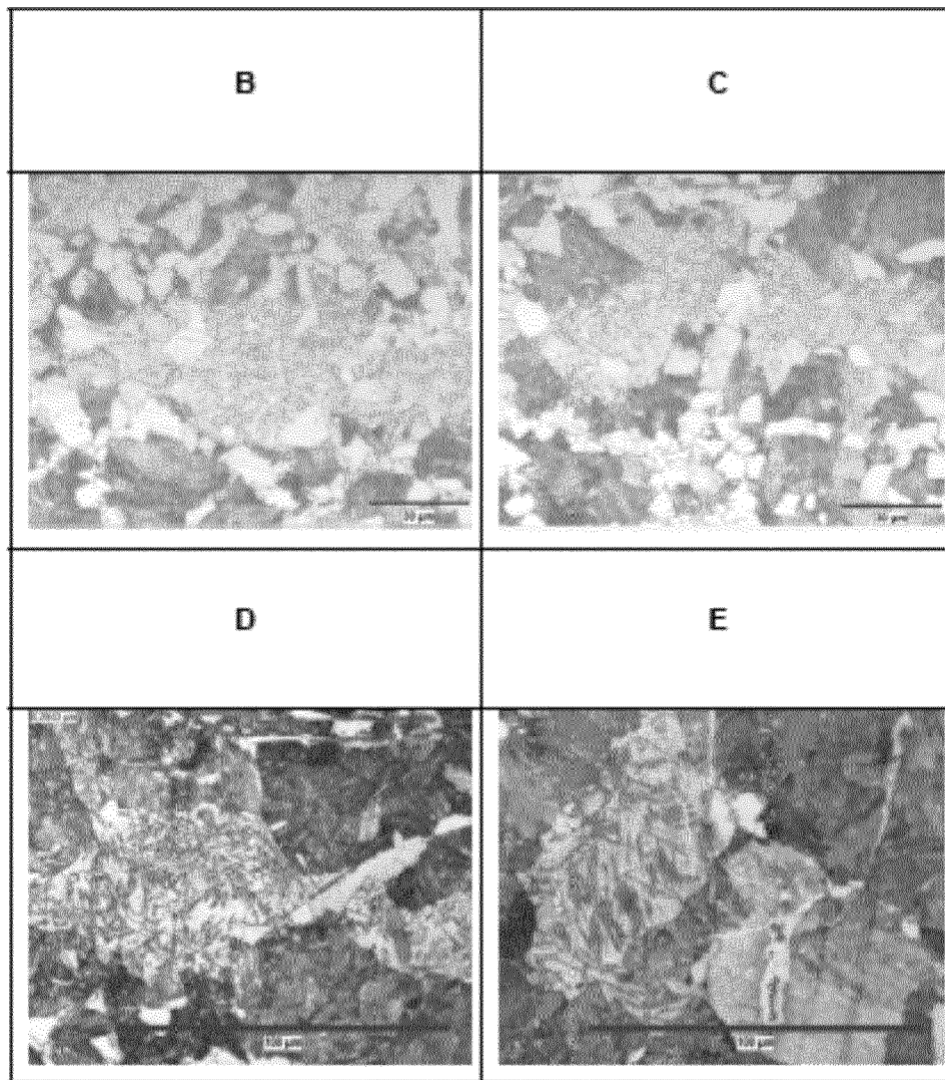


FIG 2