

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 012 754**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) C22C 38/48	(2006.01)
B21B 1/088	(2006.01) C22C 38/50	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01) C22C 38/58	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01) C21D 6/02	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01) C21D 1/18	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) E04C 3/04	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01) C21D 1/02	(2006.01)
C22C 38/42	(2006.01) C21D 7/13	(2006.01)
C22C 38/44	(2006.01) C21D 9/00	(2006.01)
C22C 38/46	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.12.2018** **PCT/IB2018/059909**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2019** **WO19123115**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.12.2018** **E 18833715 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2024** **EP 3728672**

54 Título: **Perfil de acero que tiene un grosor de al menos 100 mm y procedimiento de fabricación del mismo**

30 Prioridad:
18.12.2017 WO PCT/IB2017/058055

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.04.2025

73 Titular/es:
ARCELORMITTAL (100.00%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU

72 Inventor/es:
HOUYUX, CHRISTOPHE;
RINALDI, VALÉRIE;
DONNAY, BORIS y
WEBBER, LIUDMILA

74 Agente/Representante:
PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 3 012 754 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

Perfil de acero que tiene un grosor de al menos 100 mm y procedimiento de fabricación del mismo

- 5 La presente invención se refiere a un perfil de acero que comprende una parte central de alma conectada a cada lado a una parte de brida que tiene un grosor superior a 100 mm. El perfil de acero según la invención es particularmente adecuado para la fabricación de columnas para edificios de gran altura, soportes de gran longitud, de transferencia y de correa, estabilizadores y vigas de puentes. El desarrollo de nuevos grados de acero estructural modernos siempre está impulsado por los requisitos de los usuarios hacia propiedades mecánicas más altas, tales como el límite elástico y tenacidad, así como excelentes propiedades tecnológicas, asegurando una tecnología de fabricación eficiente en el taller y en el sitio.
- 10 Un ejemplo de ello es JPH09125140A que permite obtener una forma de brida ancha extra gruesa excelente en tenacidad al impacto y soldabilidad al proporcionar un acero que contiene cantidades específicas de C, Si, Mn, Al, P, S, V, N, Cu, Ni, Cr, Mo y Fe, que tiene un tamaño de grano específico y que también tiene una estructura de ferrita + perlita + bainita que contiene una relación de área específica de ferrita. SOLUCIÓN: Este acero tiene una composición que consiste, en peso, en 0,05-0,18% C, $\leq 0,6\%$ Si, 1-1,8% Mn, 0,005-0,05% Al, $\leq 0,02\%$ P, 0,004-0,015% S, 0,04-0,15% V, 0,007-0,015% N, además uno o más tipos entre 0,05-0,6% Cu, 0,05-0,6% Ni, 0,05-0,5% Cr, y 0,02-0,2% Mo, y el resto esencialmente Fe y en el que C_{eq} , representada por la ecuación $C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$, está regulada a 0,36-0,45. Además, el tamaño de grano según JIS G0552 es N.º 5 o superior, y la relación de área de ferrita es del 50-90%. La estructura de este acero está compuesta de ferrita y perlita o de ferrita, perlita y bainita. Además, la energía absorbida Charpy y la relación de fluencia son ≥ 27 J y $\geq 80\%$, respectivamente.
- 15 20 25 Por lo tanto, el propósito de la invención es proporcionar un perfil pesado de acero que alcance una alta resistencia al límite elástico de al menos 485 MPa y un límite elástico elevado de al menos 580 MPa con una excelente soldabilidad.
- En la práctica de la fabricación de acero estructural, se sabe que para mejorar la resistencia y la tenacidad es preferible refinar la estructura mediante laminado en caliente a temperaturas más bajas o añadir algunos elementos de aleación para refinar el grano de austenita. Ambas soluciones no son suficientes para la fabricación de acero estructural pesado, porque en caso de temperaturas de laminado en caliente más bajas, el sobrecalentamiento de los rodillos es inevitable. Al mismo tiempo, cuando los elementos de aleación se añaden en grandes cantidades, la soldabilidad del acero se deteriora.
- 30 35 El objetivo de la presente invención se consigue proporcionando un perfil pesado de acero según la reivindicación 1. El perfil pesado de acero también puede comprender características de las reivindicaciones 2 a 7.
- Otro objetivo se consigue proporcionando el procedimiento según la reivindicación 8.
- 40 45 Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención y de los dibujos:
- Figura 1: muestra una micrografía electrónica que ilustra precipitados distribuidos aleatoriamente en el núcleo de la brida del perfil pesado,
 - Figura 2: muestra una micrografía electrónica que ilustra precipitados, dispuestos en bandas regularmente espaciadas.
- Todos los porcentajes de composición se proporcionan en porcentaje en peso (% en peso), a menos que se indique lo contrario. Con respecto a la composición química del acero, el carbono juega un papel importante en la formación de la microestructura y en la consecución de las propiedades mecánicas deseadas. Su papel principal es proporcionar refuerzo mediante el endurecimiento de las fases martensita/bainita, pero también mediante la formación de carburos y/o carbonitruros de elementos metálicos del acero. El contenido de carbono del grado según la invención está entre el 0,06 y el 0,16 % en peso. Un contenido de carbono inferior al 0,06 % no dará como resultado un nivel suficiente de resistencia mecánica, lo que dará lugar a valores de límite elástico por debajo de 485 MPa. Por el contrario, un contenido de carbono superior al 0,16 % daría como resultado una reducción de la ductilidad y de la soldabilidad del acero. Preferiblemente, el contenido de carbono está entre el 0,08 y el 0,14 %, de modo que se obtenga una resistencia y una soldabilidad suficientes.
- 50 55 60 El manganeso es un elemento que aumenta la templabilidad. El contenido de manganeso del grado según la invención está comprendido entre el 1,10 y el 2,00 %. Un contenido de manganeso inferior al 1,10 % no dará como resultado un nivel suficiente de resistencia mecánica. Por el contrario, un contenido de manganeso superior al 2,00 % daría como resultado una menor soldabilidad o promovería la formación de componentes martensita-austeníticos duros, lo que también afectaría negativamente a la tenacidad del acero.
- 65 El silicio es un elemento desoxidante y contribuye a mejorar la resistencia. Un contenido de silicio inferior al 0,10% no dará como resultado un nivel suficiente de resistencia mecánica ni una buena desoxidación. Por el contrario, un contenido de silicio superior al 0,40% daría como resultado la formación de óxidos, reduciendo las propiedades de

soldadura del acero.

- 5 El cobre es un elemento que contribuye a mejorar la resistencia del acero mediante la mejora de la templabilidad y el fortalecimiento por precipitación. Un contenido de cobre inferior al 0,001% no dará como resultado un nivel suficiente de resistencia mecánica. Por el contrario, un contenido de cobre superior al 0,50% daría como resultado un aumento del equivalente de carbono y, por lo tanto, un deterioro de la soldabilidad o un impacto en la fragilidad en caliente del acero durante la deformación en caliente, causada por la penetración de la fase enriquecida con Cu en los límites de grano.
- 10 El níquel es un elemento que contribuye a mejorar la resistencia y tenacidad del acero. Un contenido de níquel inferior al 0,001% no dará como resultado un nivel suficiente de resistencia mecánica. Por el contrario, un contenido de níquel superior al 0,30% daría lugar a unos costes de aleación elevados.
- 15 El cromo es un elemento que contribuye a mejorar la resistencia del acero mejorando la templabilidad mediante endurecimiento por disolución, pero también mediante endurecimiento por precipitación. Un contenido de cromo inferior al 0,001% no dará como resultado un nivel suficiente de resistencia mecánica. Por el contrario, un contenido de cromo superior al 0,50% daría como resultado la generación de carburos o carbo-nitruros de cromo gruesos que pueden deteriorar la tenacidad del acero.
- 20 El molibdeno es un elemento que contribuye a mejorar la resistencia del acero mejorando la templabilidad. Un contenido de molibdeno inferior al 0,001% no dará como resultado un nivel suficiente de resistencia mecánica. Por el contrario, un contenido de molibdeno superior al 0,20% daría como resultado una reducción de la tenacidad del acero.
- 25 El vanadio es un elemento importante que se utiliza para lograr el endurecimiento y el fortalecimiento mediante la precipitación de nitruros, carbonitruros o carburos, pero también mediante el refinado del grano. La formación de la precipitación de vanadio limita el engrosamiento del grano de austenita, al dar como resultado una disminución del grano de ferrita y una resistencia mejorada por precipitación en la fase de ferrita. El vanadio también evitaría la migración de cromo y manganeso en la cementita, lo que daría como resultado su aplicación en la formación de precipitaciones pequeñas. Un contenido de vanadio por debajo del 0,06 % no dará como resultado un nivel suficiente de resistencia mecánica. Por el contrario, un contenido de vanadio por encima del 0,12 % daría como resultado un riesgo de que una precipitación excesiva pueda causar una reducción de la tenacidad, lo que se debe evitar. En una realización preferida, la adición de vanadio se limita al 0,09 % para mejorar aún más la tenacidad del acero.
- 30
- 35 El nitrógeno es un elemento importante para formar nitruros y carbonitruros de elementos metálicos como vanadio, niobio, aluminio y titanio. Su tamaño, densidad de distribución y estabilidad tienen un efecto significativo en el fortalecimiento mecánico. Un contenido de nitrógeno por debajo del 0,0050 % no dará como resultado un nivel suficiente de precipitación y control del tamaño de grano. Para mejorar aún más esas propiedades, se prefiere un nivel mínimo del 0,0060 %, o incluso del 0,0070 % o incluso mejor del 0,0080 %. Por el contrario, un contenido de nitrógeno por encima del 0,0200 % daría como resultado la presencia de nitrógeno libre en el acero, lo que se sabe que tiene un impacto negativo en la tenacidad en la zona afectada por el calor después de la soldadura.
- 40
- 45 Durante el laminado en caliente, parte del vanadio se combinará con nitrógeno para formar partículas de VN para la fijación de los límites de grano de austenita. El vanadio restante, en solución, precipitará entonces en forma de precipitados finos durante el enfriamiento del acero, haciendo así una contribución importante a la resistencia final. Los inventores han descubierto que el fortalecimiento por precipitación se puede mejorar optimizando la relación de vanadio con respecto a nitrógeno en el perfil de aceros para acercarse a la relación estequiométrica de 4:1. De acuerdo con la invención, la relación de V con respecto a N está comprendida entre 2,5 y 7, y en una realización preferida está comprendida entre 3 y 5.
- 50 Se puede añadir aluminio al acero para lograr un efecto desoxidante y eliminar el oxígeno del acero. Si se añaden otros elementos desoxidantes al acero, el contenido de aluminio es del 0,005 % o inferior. De lo contrario, el contenido de aluminio está entre el 0,005 % y el 0,040 %. Si el contenido de aluminio es demasiado alto, se formará AIN con preferencia a VN, y al ser el AIN de mayor tamaño que VN, no será tan eficaz para fijar los límites de grano de austenita como VN.
- 55 El azufre y el fósforo son impurezas que fragilizan los límites de grano y dan lugar a la formación de microsegregaciones y de centros. Sus contenidos respectivos no deben superar el 0,030 y el 0,040% para mantener una ductilidad en caliente suficiente y evitar el deterioro de las propiedades de soldadura.
- 60 El niobio es un elemento que puede utilizarse opcionalmente para lograr el endurecimiento y el fortalecimiento mediante la precipitación de nitruros, carbonitruros o carburos. Suprime el crecimiento de los granos de austenita durante el laminado, refinándolos, lo que da como resultado una mejora de la resistencia y la tenacidad a baja temperatura. Sin embargo, cuando su cantidad es superior al 0,05%, podría deteriorar la tenacidad en la zona afectada por el calor debido al endurecimiento por martensita. Por otro lado, cuando la cantidad de niobio es del 0,05% o superior, se fijará al nitrógeno disponible y, por lo tanto, impedirá que el nitrógeno forme precipitados de vanadio que aseguren el fortalecimiento del núcleo dúctil del perfil.
- 65

El titanio es un elemento que puede utilizarse opcionalmente para conseguir endurecimiento y fortalecimiento mediante precipitación de nitruros, carbonitruros o carburos. Sin embargo, cuando su cantidad es superior o igual al 0,005%, existe el riesgo de formación de TiN en lugar de VN. Además, el TiN, al ser partículas cuboides, puede reaccionar como concentradores de tensión, lo que repercute negativamente en las propiedades de tenacidad y fatiga del acero. En una realización preferida, la cantidad máxima de titanio se establece en el 0,003% e incluso en el 0,001%.

Según la invención, los contenidos de carbono, manganeso, cromo, molibdeno, vanadio, níquel y cobre del grado son tales que

$$0,4 \leq \text{CEV} \leq 0,6$$

con

$$\text{CEV} = \text{C} + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15$$

Respetar estos valores garantiza que la templabilidad del perfil de acero se encuentre en intervalos adecuados mediante la formación suficiente de bainita, manteniendo al mismo tiempo una buena soldabilidad de los perfiles de acero. El equivalente de carbono reducido permite evitar etapas de procesamiento de soldadura, tales como el precalentamiento (cuando sea aceptable) y también da como resultado una reducción de los costes de fabricación. En una realización preferida, $\text{CEV} \leq 0,5 \%$.

El perfil de acero comprende una parte central de alma conectada en cada lado a una porción de brida.

El grosor de la brida del perfil de acero según la invención se establece por encima de 100 mm, lo que permite el uso de dicha viga para estructuras de edificios de gran altura, en particular. Su grosor es inferior a 140 mm, ya que es difícil obtener una velocidad de enfriamiento suficiente para garantizar las propiedades de tracción y tenacidad requeridas.

Según la invención, el alma y las bridas del perfil pesado están constituidas por una zona endurecida, resultante del enfriamiento por agua de la superficie y una zona no endurecida, en el núcleo del producto. Cada zona del perfil de acero puede presentar una microestructura específica que puede incluir una o más fases entre martensita revenida, bainita, ferrita y perlita. La ferrita puede presentarse en forma de ferrita acicular o de ferrita regular.

La microestructura de cada zona depende del grosor del perfil de acero y del camino térmico al que está sometida.

En una realización preferida, la microestructura de las porciones de brida incluye, desde la superficie hasta el núcleo, una primera zona que comprende martensita revenida y posiblemente bainita y una segunda zona que comprende ferrita y perlita.

La primera zona puede, por ejemplo, extenderse hasta 10 mm debajo de la superficie de la porción de brida.

Una característica esencial de la invención es la presencia, en la microestructura del perfil de acero, de al menos un tipo de precipitados de vanadio que posiblemente comprenden también uno o más metales elegidos entre cromo, manganeso y hierro, siendo elegidos dichos precipitados entre nitruros, carburos, carbonitruros o cualquier combinación de ellos, teniendo más del 70% de dichos precipitados y preferiblemente más del 80%, un diámetro medio inferior a 6 nm. La determinación del diámetro medio se realizó de la siguiente manera: se midió la superficie de cada precipitado detectado y se aplicó al círculo correspondiente, del que se extrajo el diámetro, obteniéndose a continuación el tamaño del diámetro medio para todos los precipitados detectados.

En una realización preferida, la densidad media de dichos precipitados es de al menos 500 precipitados por mm^2 , preferiblemente de al menos 1000 precipitados por mm^2 . Dichos precipitados tienen un efecto beneficioso sobre la resistencia, conocido por aumentar con la disminución del tamaño de los precipitados y el aumento del contenido de precipitados.

Dichos precipitados se encuentran preferentemente en la zona del núcleo de la brida del perfil, principalmente en la fase de ferrita. Al menos el 70% de dichos precipitados y preferentemente al menos el 80%, tienen un diámetro medio inferior a 6 nm. El tamaño reducido de dichos precipitados aumenta su efecto de endurecimiento y, por tanto, la resistencia a la tracción del perfil de acero.

En una realización preferida, en el núcleo de la brida del perfil de acero están presentes preferentemente dos tipos de precipitados:

- precipitados distribuidos aleatoriamente dentro de la ferrita y
- precipitados dispuestos en bandas regularmente espaciadas, formando así láminas paralelas densamente pobladas de partículas.

Los precipitados distribuidos aleatoriamente son más grandes que los dispuestos en bandas regularmente espaciadas.

En una realización preferida, dichos precipitados regularmente espaciados incluyen al menos vanadio y cromo.

En otra realización preferida, más del 80% de los precipitados distribuidos aleatoriamente tienen un diámetro medio comprendido entre 3,5 y 6 nm. Dichos precipitados incluyen preferiblemente al menos vanadio, cromo y hierro.

El perfil de acero según la invención puede fabricarse mediante cualquier procedimiento de fabricación adecuado y el experto en la materia puede definir uno. Sin embargo, es aconsejable utilizar un proceso que finalice con un enfriamiento acelerado, en este caso temple y autotemplado de la capa superficial después de la etapa de laminado en caliente.

El procedimiento según la invención comprende las siguientes etapas:

- alimentar un producto semielaborado cuya composición es según la invención.
- recalentar dicho producto semielaborado a una temperatura superior a 1000°C y laminarlo en caliente con una temperatura final de laminado de al menos 900°C, para obtener un perfil de acero laminado en caliente,
- enfriar el perfil de acero laminado en caliente de manera que se produzca un temple martensítico y/o bainítico de la capa superficial de todo o parte del producto, permaneciendo la parte no templada del producto laminado a una temperatura suficientemente alta para permitir que se provoque un autorevenido de la capa superficial templada de martensita y/o bainita y se transforme la austenita en ferrita y carburos en la parte del núcleo del perfil durante el enfriamiento posterior, siendo la temperatura máxima de la superficie revenida del producto después del temple de 450 a 650°C e incluso de 550-650°C.

Los perfiles de acero según la presente invención se producen preferiblemente a través de un procedimiento en el que se funde un producto semielaborado de un acero según la presente invención que tiene la composición descrita anteriormente, el material de entrada fundido se calienta hasta una temperatura superior a 1000 °C, preferiblemente superior a 1050 °C y más preferiblemente superior a 1100 °C o 1150 °C o se utiliza directamente a dicha temperatura después de la fundición, sin enfriamiento intermedio. Dichas temperaturas permiten la disolución completa de los carbonitruros de vanadio, que participarán posteriormente en el mecanismo de fortalecimiento por precipitación.

La etapa final de laminado en caliente se realiza a una temperatura superior a 850°C. La temperatura de fin de laminado es superior o igual a 850°C para asegurar el refinamiento de los granos de austenita y, por lo tanto, la formación de una microestructura más delgada después de la transformación, lo que se sabe que mejora las propiedades de tenacidad y resistencia.

Durante el laminado en caliente, es preferible utilizar una combinación controlada de etapas de laminado y controlar la temperatura de laminado. El objetivo es crear una microestructura de grano fino mediante el refinamiento del grano durante la recristalización posterior durante el laminado.

El producto laminado en caliente obtenido mediante el proceso descrito anteriormente se enfría a continuación utilizando preferentemente un proceso de temple y autorevenido.

El proceso denominado de temple y autorevenido (QST, *quenching and self-tempering*) consiste en someter un perfil de acero laminado en caliente que sale de la caja de acabado del laminador a un enfriamiento por medio de un fluido con el fin de producir un temple martensítico y/o bainítico de la capa superficial de todo o parte del producto. Además, a la salida de la zona de enfriamiento por fluido, la parte no templada del producto laminado se encuentra a una temperatura suficientemente alta para permitir, durante el enfriamiento posterior por aire, que se produzca un revenido de la capa superficial de martensita y/o bainita.

El fluido de enfriamiento empleado para llevar a cabo la etapa de temple y autorevenido es habitualmente agua con o sin aditivos convencionales, o bien solución acuosa de sales minerales, por ejemplo. El fluido puede ser una niebla, por ejemplo obtenida suspendiendo agua en un gas, o bien puede ser un gas, tal como vapor.

Desde un punto de vista práctico, el enfriamiento deseado de los productos laminados depende de los dispositivos de enfriamiento utilizados y de la elección adecuada de la longitud y las características de caudal de los medios de enfriamiento.

Se conocen las dimensiones del producto, así como la composición del acero, y por tanto su diagrama de transformación por enfriamiento continuo, lo que permite determinar las condiciones a aplicar para un tratamiento adecuado del perfil de acero, entre las que se encuentran, la temperatura a la que se forma la martensita y el tiempo máximo disponible para realizar el temple superficial hasta la profundidad deseada.

En base a las curvas de los gradientes de temperatura en el núcleo y la piel del perfil de acero laminado, se puede determinar la cantidad de calor a eliminar, así como las características de los dispositivos de enfriamiento y los caudales del fluido aplicado por los dispositivos de enfriamiento.

Para monitorizar la formación de las microestructuras deseadas en las diferentes zonas del perfil de acero, se miden

las evoluciones de la temperatura superficial del perfil de acero a partir del final del temple martensítico y/o bainítico. Después del temple, la temperatura superficial aumenta mientras que la temperatura en el núcleo disminuye continuamente después de que el perfil ha emergido de la última caja del laminador. La temperatura superficial y la temperatura del núcleo en una sección transversal dada convergen hacia un tiempo a partir del cual las dos curvas continúan sustancialmente paralelas entre sí. La temperatura superficial en este punto se denomina "temperatura de ecualización".

Ejemplos

Dos grados, cuyas composiciones se recogen en la tabla 1, fueron fundidos en productos semielaborados y procesados en perfiles de acero siguiendo los parámetros de proceso recogidos en la tabla 2, pasando por calentamiento, laminado en caliente controlado y posterior enfriamiento con agua, conseguido mediante temple y autorevenido.

Tabla 1 - Composiciones

Las composiciones ensayadas se recogen en la siguiente tabla en donde el contenido del elemento se expresa en miles de porcentaje en peso:															
Ensayo	C	Mn	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	V	N	Ti	Nb	Al	P	S	CEV
1	82	1059	171	170	162	129	49	34	9,6	1	1	3	13	23	0,32
2	98	1559	191	193	117	122	35	74	16,2	1	1	13	17	29	0,43

El ensayo 1 es un ejemplo comparativo y el ensayo 2 es un ejemplo según la invención.

Tabla 2 - Parámetros del proceso

Productos semielaborados de acero, como fundidos, se procesaron bajo las siguientes condiciones:					
Ensayo	Grosor de la brida (mm)	Laminado en caliente		Temple y autorevenido	
		T de recalentamiento (°C)	T final de laminado en caliente (°C)	Flujo de agua específico (l/m²/s)	Temperatura de autorevenido (°C)
1	80	1150	868	46	640
2	125	1170	893	46	600

A continuación se analizaron las muestras resultantes y los elementos de microestructura y propiedades mecánicas correspondientes se reunieron respectivamente en las tablas 3 y 4.

Tabla 3 - Microestructura y precipitados

Se determinaron los porcentajes de fase de las microestructuras del perfil de acero obtenido:					
Ensayo	Zona endurecida		Zona del núcleo		
	Martensita revenida	Bainita	Ferrita regular	Ferrita acicular	Perlita + bainita
1	33,4%	66,6%	76,7%	5,5%	17,7%
2	56,7%	43,3%	72,4%	0,4%	27,2%

Los porcentajes de fase en ambas zonas, especialmente en la zona núcleo, del perfil n°1 son bastante similares al perfil n°2, mostrando que el impacto del fortalecimiento por precipitación de vanadio se observa a menor escala microestructural.

El análisis de precipitación realizado mediante el examen por TEM de réplicas de extracción de carbono tomadas de la zona del núcleo del grosor de la brida del perfil, mostró la presencia de precipitados de vanadio. El análisis de precipitados finos se realizó mediante el método de lámina delgada TEM, lo que permitió cuantificar el tamaño medio y la densidad de los precipitados.

Se encontró que los precipitados que participan en el fortalecimiento mecánico del perfil se ubicaban en la zona del núcleo de los perfiles de acero, en particular dentro de la fase de ferrita.

La Figura 1 muestra los precipitados de vanadio que tienen en su mayoría forma esférica, con mayor o menor tamaño. Los precipitados de mayor tamaño (tamaño típico de aproximadamente 6 nm de diámetro) se distribuyeron en su mayoría de forma aleatoria. Pero los precipitados finos (tamaño típico de aproximadamente 3 nm de diámetro) se dispusieron en bandas regularmente espaciadas. En la Figura 2 se puede observar que la microestructura consiste en láminas paralelas densamente pobladas de partículas de vanadio. Las láminas aparecen con un espaciado regular.

Precipitados regularmente espaciados

Ensayo	Características de precipitados		
	% de precipitados con un diámetro medio inferior a 6 nm	Densidad media en ferrita (por mm ²)	Diámetro medio (nm)
1	<u>0%</u>	<u>≤ 100</u>	-
2	98%	1213	3,2

Precipitados distribuidos aleatoriamente

Ensayo	Características de precipitados			Reparto de elementos metálicos en precipitados, %			
	% de precipitados con un diámetro medio inferior a 6 nm	Densidad media en ferrita (por mm ²)	Diámetro medio (nm)	V	Cr	Mn	Fe
1	<u>0%</u>	<u>≤ 100</u>	-	-	-	-	-
2	70%	880	5,7	66,6	21,9	4,2	9,3

Tabla 4 - Propiedades mecánicas

Se determinaron las propiedades mecánicas del acero ensayado y se recogieron en la siguiente tabla:			
Ensayo	Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	CEV (%)
1	<u>398</u>	<u>450</u>	0,32
2	495	653	0,43

Los ejemplos muestran que los perfiles de acero según la invención son los únicos que presentan todas las propiedades buscadas gracias a su composición y microestructuras específicas.

Los perfiles de acero según la presente invención muestran excelentes valores de alta resistencia, tenacidad y buena soldabilidad, lo que hoy en día no es fácil de conseguir. Con el grado de acero según la invención, los equipos de diseño y construcción involucrados en proyectos de construcción a gran escala pueden beneficiarse de soluciones estructurales más eficientes. El mayor límite elástico del perfil de acero permite ahorros de peso y menores costes de transporte y fabricación que otros grados de acero estructural de uso común. Y por lo tanto, la presente invención hace una contribución extremadamente significativa a la industria de la construcción.

REIVINDICACIONES

1. Perfil de acero, que comprende una porción central de alma conectada en cada lado a una porción de brida que tiene un grosor entre 100 mm y 140 mm, teniendo dicho perfil de acero una composición que comprende, en porcentaje en peso:
C: 0,06 - 0,16 %
Mn: 1,10 - 2,00 %
Si: 0,10-0,40 %
Cu: 0,001 - 0,50 %
Ni: 0,001 - 0,30 %
Cr: 0,001 - 0,50 %
Mo: 0,001 - 0,20 %
V: 0,06 - 0,12 %
N: 0,0050 % - 0,0200 %
Al $\leq$ 0,040 %
P $\leq$ 0,040 %
S $\leq$ 0,030 %
y que comprende opcionalmente uno o más de los siguientes elementos, en porcentaje en peso:
Ti $\leq$ 0,005 %
Nb $\leq$ 0,05 %
siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración, en el que la relación de cantidades de vanadio con respecto a nitrógeno está entre 2,5 y 7 e incluyendo dicha microestructura del perfil de acero al menos un tipo de precipitados de vanadio que posiblemente comprenden también uno o más metales elegidos entre cromo, manganeso y hierro, eligiéndose dichos precipitados entre nitruros, carburos, carbonitruros o cualquier combinación de ellos, teniendo más del 70% de dichos precipitados un diámetro medio inferior a 6 nm, en el que el diámetro medio se mide según el método de lámina delgada TEM mientras que la composición del perfil es tal que se cumple la siguiente relación: $0,4 \leq \text{CEV} \leq 0,6$ con $\text{CEV} = \text{C} + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15$.
2. Perfil de acero, según la reivindicación 1, en el que la microestructura de dichas porciones de brida incluye, desde la superficie hasta el núcleo, una zona endurecida que comprende martensita revenida y posiblemente bainita y una zona de núcleo que comprende ferrita y perlita.
3. Perfil de acero, según la reivindicación 2, en el que dicho perfil de acero tiene una densidad media de dichos precipitados de al menos 500 precipitados por mm² en dicha zona de núcleo, en el que la densidad de precipitación se mide según el método de lámina delgada TEM.
4. Perfil de acero, según cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, en el que al menos parte de dichos precipitados se distribuye aleatoriamente en la fase de ferrita, situada en el núcleo del perfil de acero.
5. Perfil de acero, según la reivindicación 4, en el que más del 80% de dichos precipitados distribuidos aleatoriamente tienen un diámetro medio entre 3,5 y 6 nm, en el que el diámetro medio se mide según el método de lámina delgada TEM.
6. Perfil de acero, según la reivindicación 5, en el que dichos precipitados distribuidos aleatoriamente incluyen al menos vanadio, cromo y hierro.
7. Perfil de acero, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dichos precipitados están situados en dicha zona del núcleo.
8. Procedimiento de fabricación de un perfil de acero que comprende las siguientes etapas:
 - alimentar un producto semielaborado de acero cuya composición es según la reivindicación 1,
 - recalentar dicho producto semielaborado de acero a una temperatura superior a 1000°C y laminarlo en caliente con una temperatura final de laminado de al menos 850°C, para obtener un perfil de acero laminado en caliente,
 - enfriar el perfil de acero laminado en caliente de manera que se produzca un temple martensítico y/o bainítico de la capa superficial de todo o parte del producto, permaneciendo la parte no templada del producto laminado a una temperatura suficientemente alta para permitir que se provoque un autorevenido de la capa superficial templada de martensita y/o bainita y se transforme la austenita en ferrita y carburos en la parte del núcleo del perfil durante el enfriamiento posterior, siendo la temperatura máxima de la superficie revenida del producto después del temple de 450 a 650°C.

Figura 1

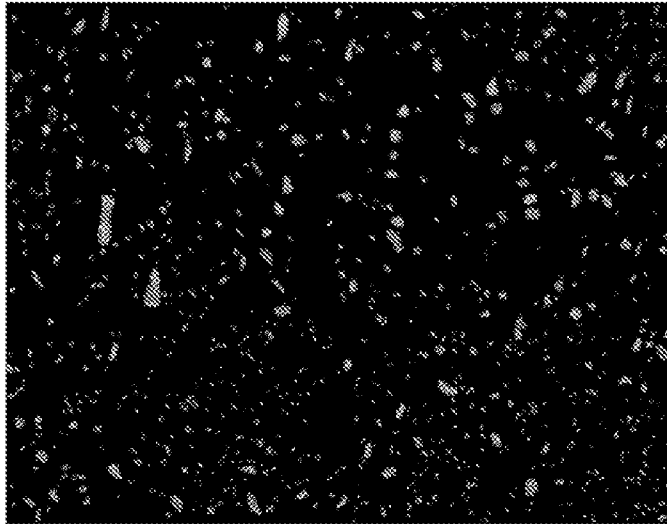


Figura 2

