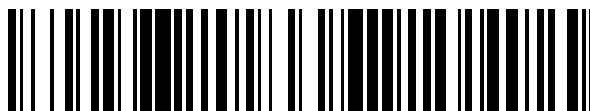


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 738**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.12.2014 PCT/EP2014/077429**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2015 WO15091216**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.12.2014 E 14823925 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018 EP 3084030**

54 Título: **Secciones huecas de acero con acabado en caliente de alta resistencia con bajo contenido de carbono para una soldadura mejorada**

30 Prioridad:

**18.12.2013 EP 13198063**

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

**07.05.2018**

73 Titular/es:

**TATA STEEL UK LTD. (100.0%)  
30 Millbank  
London SW1P 4WY, GB**

72 Inventor/es:

**CROWTHER, DAVID;  
JACKSON, EDWIN WILLIAM;  
SIMMONS, WILLIAM ARTHUR;  
EVANS, DAVID y  
JEFFREY, STEWART MATTHEW**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 666 738 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**

Secciones huecas de acero con acabado en caliente de alta resistencia con bajo contenido de carbono para una soldadura mejorada

5

Esta invención se relaciona con una sección hueca de acero con acabado en caliente de alta resistencia con bajo contenido de carbono para una soldadura mejorada y con un método para producir dicha sección.

10

Las secciones huecas de acero con acabado en caliente se usan en aplicaciones estructurales debido a sus propiedades estables y uniformes en toda la sección. Se conocen secciones huecas, por ejemplo, de la patente JP 2001-262275A. El aumento de la resistencia de la sección permite usar menos material en la misma aplicación o solucionar problemas de diseño más complicados. El aumento de la resistencia del acero conduce, típicamente, a aumentar el nivel de carbono equivalente, que a su vez conduce a un rendimiento reducido en y sobre la soldadura, y puede requerir el empleo de prácticas de soldadura especiales y más costosas.

15

Las excelentes propiedades de las secciones huecas se han reconocido durante mucho tiempo. Un ejemplo sobresaliente de diseño de puente es el puente Firth of Forth en Escocia (1890) con una luz libre de 521 m, que se ha construido a partir de secciones tubulares hechas de placas enrolladas que se han remachado juntas. Las secciones tubulares soldadas están disponibles después del desarrollo del proceso de soldadura continua en la década de 1930. En 1952, la sección hueca rectangular se desarrolló por Stewarts y Lloyds (ahora Tata Steel). Las secciones huecas rectangulares se fabrican mediante deformación de secciones huecas circulares a través de rodillos de conformación. Generalmente, el diseño de las construcciones que usan secciones huecas se basa en el rendimiento, ya que el rendimiento posterior a la deformación bajo cargas se vuelve excesivo. Las propiedades mecánicas se proporcionan en las normas. Para las secciones huecas estructurales con acabado en caliente de aceros estructurales no aleados y de grano fino, la norma europea pertinente es EN10210-1:2006. Usualmente, las secciones huecas pueden suministrarse con una sección transversal cuadrada, rectangular, circular o elíptica. El grosor de la pared varía, así como también, las dimensiones externas de la sección.

20

25

Es un objeto de la presente invención ofrecer una sección hueca de acero con acabado en caliente que cumpla con la norma industrial S420 (EN10210-1:2006) para propiedades mecánicas, al mismo tiempo que cumpla el equivalente máximo de carbono de la norma S355.

30

Uno o más de los objetos se alcanzan mediante una sección hueca de acero con acabado en caliente de alta resistencia con bajo CEV en donde

35

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

40

y en donde (en % en peso)

- C: 0,12-0,18;
- Si: <0,60;
- Mn: 1,2-1,6;
- P: <0,035;
- S: <0,015;
- V: 0,13-0,20;
- Al: < 0,04;
- N: 0,008-0,025;
- Ti: <0,01;
- Cr: <0,15; preferentemente <0,05 %
- Ni: <0,20; preferentemente < 0,05 %
- Mo: <0,04;
- Cu: <0,20; preferentemente < 0,05 %
- Nb: < 0,05%
- Opcionalmente, Ca en una cantidad consistente con un tratamiento de calcio para el control de inclusiones;
- Hierro restante e impurezas inevitables;

45

50

55

en donde  $CEV \leq 0,45 \%$ ;

60

y en donde las propiedades mecánicas cumplen con las normas industriales S420NH y S420NLH de acuerdo con EN10210-1:2006.

La sección de acuerdo con la invención ofrece una sección hueca de acero con acabado en caliente que cumple con la norma industrial S420 (EN10210-1:2006) para propiedades mecánicas, al mismo tiempo que cumple con el máximo equivalente de carbono de la norma S355 de acabado en caliente que representa un nivel de límite de elasticidad incrementado 18 % para el mismo nivel de equivalente de carbono. La invención logra el nivel de resistencia requerido en la condición de conformación en caliente mediante un control cuidadoso de la composición de acero y las etapas de procesamiento.

Las alternativas en el mercado con el mismo límite de elasticidad mínimo garantizado son secciones huecas conformadas en frío, secciones huecas conformadas en frío y tratadas térmicamente, o secciones huecas de acabado en caliente con mayores equivalentes de carbono. Las secciones huecas conformadas en frío no tienen tamaños de grano uniformes y tienen una mayor fragilidad en las esquinas o en las zonas con soldadura continua, lo que reduce el rendimiento en secciones huecas semejantes. Además, las secciones huecas conformadas en frío tienen una necesidad de radios de esquina mayores que las secciones conformadas en caliente para evitar el agrietamiento de las esquinas. Las secciones huecas conformadas en frío y tratadas térmicamente ofrecen un mejor rendimiento en comparación con el conformado únicamente en frío, pero aun así no ofrecen el tamaño de grano uniforme, la dureza y las propiedades de tracción de un tubo conformado en caliente. Otras secciones huecas de acabado en caliente, de las cuales hay pocas en el mercado, ofrecen un nivel de equivalentes de carbono más alto, lo que significa un menor rendimiento en y sobre la soldadura, y tendrán que emplearse prácticas de soldadura especiales y más costosas.

Para alcanzar la resistencia requerida después de la conformación en caliente mientras se mantiene un CEV bajo para una buena soldabilidad, la microestructura final conformada en caliente tiene un tamaño de grano de ferrita fino, una segunda fase más dura tal como perlita o bainita y precipitados finos tal como carbonitruros de vanadio (V(CN)) para dar resistencia adicional. Los precipitados finos son vitales, el límite de elasticidad mínimo requerido de 420 MPa no puede lograrse sólo mediante el refinamiento del grano, de mantenerse bajo el CEV. El tamaño de grano fino de ferrita además es vital para lograr una buena tenacidad Charpy.

Se observa además que la sección de acuerdo con la invención ofrece una sección hueca de acero con acabado en caliente que cumple con la norma S420NH, así como también, con S420NLH, lo que indica que la sección tiene excelentes propiedades de impacto a -20 y -50 °C.

Para lograr un tamaño de grano de ferrita fino en el producto final se requiere un tamaño de grano de austenita fino durante el proceso de conformado en caliente. Se requieren partículas de segunda fase para fijar los límites del grano de austenita a la temperatura de conformación en caliente. Las partículas de VN son efectivas para lograr esto, ya que conservan un tamaño pequeño, y las partículas pequeñas son más eficientes para fijar los límites del grano. Se ha encontrado que las partículas de AIN no son tan efectivas como las de VN, ya que las partículas de AIN son más grandes. Para obtener la fracción apropiada de partículas de VN se requiere la cantidad adecuada de vanadio y nitrógeno y los niveles requeridos son significativamente más altos que los usados para los grados convencionales. Los granos finos de austenita cuyos límites se fijan por partículas de VN se transforman posteriormente en granos finos de ferrita al enfriarse a través de la transformación.

Además de un tamaño de grano fino, las partículas finas requieren un refuerzo adicional de precipitación. Las partículas de VN que fijan los límites del grano de austenita son demasiado grandes para hacer una contribución significativa, y habrán perdido coherencia con la matriz debido a la transformación y su tamaño. Las partículas finas basadas en V(CN) son adecuadas para dar un refuerzo adicional de precipitación, además porque son precipitados (semi)coherentes. En la temperatura de conformación en caliente, un poco de vanadio se combina con nitrógeno para formar VN para fijación del límite de grano austenítico, pero si se elige el nivel adecuado de vanadio, algo de vanadio permanece en solución a la temperatura de conformación en caliente y precipita después como precipitados de V(CN) durante el enfriamiento, lo que hace una contribución importante a la resistencia final. Se requiere un contenido de carbono apropiado para formar suficientes precipitados de V(CN).

Además de reaccionar con el vanadio para formar V(CN), el carbono contribuye a la resistencia mediante la formación de otras segundas fases, como la perlita. Sin embargo, si el contenido de carbono es demasiado alto, el CEV aumentará y reducirá la soldabilidad. Similarmente, el aumento del carbono disminuye la tenacidad de Charpy, y existe un requerimiento de alta tenacidad de Charpy en el producto final. Por lo tanto, el contenido de carbono se limita entre 0,12 y 0,18 % (todos los porcentajes de composición se dan en porcentaje en peso (% en peso) a menos que se indique lo contrario). Preferentemente, el contenido de carbono es al menos 0,13 %. Se encontró un contenido de carbono máximo adecuado de 0,16 %.

Para permitir la formación de cantidades suficientes de precipitados que contienen V, es necesario un contenido de vanadio de 0,13 a 0,20 %. Se encontró que un contenido de vanadio mínimo preferible era al menos 0,15 % o incluso al menos 0,16 %. Se encontró que un contenido máximo de vanadio adecuado era como máximo 0,19 % o incluso como máximo 0,18 %. Aunque el ancho decreciente del intervalo de vanadio puede plantear retos en la preparación de la masa fundida y la plancha de acero, por lo que desde esa perspectiva es preferible que el intervalo no sea demasiado estrecho, el grado de control de la precipitación aumenta con el intervalo más estrecho de vanadio.

## ES 2 666 738 T3

5 Para lograr la combinación correcta de precipitados, deben controlarse otros elementos, además de vanadio, carbono y nitrógeno. Si el contenido de aluminio es demasiado alto, el AlN se forma con preferencia al VN, y el AlN no es tan eficiente para fijar los límites de grano de austenita como el VN debido a su mayor tamaño. En consecuencia, el contenido de aluminio soluble (Al\_sol) está por debajo de 0,04 %. El contenido total de aluminio puede ser ligeramente mayor debido a la presencia de, por ejemplo, alúmina o aluminatos. Preferentemente, el contenido de aluminio es como máximo 0,035 %. Se encontró un contenido de aluminio mínimo adecuado de 0,005 %.

10 El contenido de titanio debe mantenerse bajo, ya que el titanio reacciona preferentemente con N, para formar TiN en lugar de VN. Estos precipitados de TiN no son tan efectivos como el VN para fijar los límites del grano de austenita. Además, los precipitados de TiN son cuboides que pueden actuar como potenciadores del esfuerzo lo que puede ser indeseable en construcciones que se tensan en condiciones favorables para inducir el agrietamiento por fatiga. En consecuencia, el contenido de titanio está por debajo de 0,01 %.

15 El silicio añade resistencia sin tener un efecto perjudicial sobre la soldabilidad, pero altos niveles de silicio pueden tener un efecto perjudicial sobre la capacidad para galvanizar el acero, por lo que se prefiere una baja cantidad de silicio (<0,25 %). Altas adiciones de silicio resultan en capas gruesas de compuestos de Fe-Zn después de galvanizar, que pueden ser frágiles. Una adición de silicio mínima adecuada es de 0,10 %. Preferentemente, el contenido de silicio es al menos 0,15 % y/o como máximo 0,25 %.

20 El manganeso es un elemento de refuerzo útil, y además contribuye al refinamiento del grano al reducir la temperatura de transformación de austenita a ferrita. Sin embargo, niveles altos de manganeso si resultan en niveles altos de CEV, lo que reduce la soldabilidad. Por estas razones, el contenido de manganeso se limita entre 1,2 y 1,6 %. Preferentemente, el contenido mínimo para manganeso es 1,3 %, con mayor preferencia al menos 1,35 %. Un contenido máximo de manganeso adecuado es 1,5 %.

25 El fósforo y el azufre deben controlarse a niveles bajos para permitir que se logre una buena soldabilidad y tenacidad de Charpy, y para permitir que se produzcan planchas libres de defectos mediante laminación de flejes. Por lo tanto, el fósforo se limita como máximo a 0,035 % y el azufre como máximo a 0,015 %. Preferentemente, el fósforo por tanto se limita como máximo a 0,025 % y/o el azufre como máximo a 0,008 %.

30 El nitrógeno es un elemento importante porque participa en la reducción del tamaño del grano de austenita y, por lo tanto, en el tamaño del grano de ferrita, así como también en el endurecimiento por precipitación de la ferrita. Se necesita un contenido de nitrógeno entre 0,008 y 0,025 % (es decir, 80 a 250 ppm) para este propósito. Los niveles de nitrógeno más bajos resultan en un grado insuficiente de precipitación y de control del tamaño de grano y los niveles más altos requieren temperaturas de recalentamiento de la plancha demasiado altas. Preferentemente, el contenido mínimo es 0,010 (100 ppm). Un contenido máximo de nitrógeno adecuado es 0,022 (220 ppm), preferentemente 0,020 % (200 ppm).

40 CEV se define como:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

45 El CEV debe mantenerse bajo y por debajo de 0,45, de modo que la soldabilidad sea equivalente (es decir, tan buena como) a la de las secciones huecas de menor resistencia. Un CEV bajo significa que pueden evitarse etapas de procesamiento de soldadura adicionales, tal como el precalentamiento, lo que reduce así los costos de fabricación. Preferentemente  $CEV \leq 0,44$  %, con mayor preferencia  $CEV \leq 0,435$  %.

50 Durante el recalentamiento antes del laminado en caliente, se requiere una temperatura de recalentamiento suficientemente alta para disolver la mayoría de los precipitados, tales como de AlN y de V(CN) formados durante y después de la solidificación del acero. Si estos precipitados no se disuelven antes del inicio de la laminación, serán demasiado grandes para tener un efecto metalúrgico útil más adelante en el procesamiento.

55 Si se añade niobio en cantidades por debajo de 0,05 % Nb(CN), las partículas estarán presentes durante la operación de conformación en caliente lo que ayudará a fijar los límites del grano de austenita y, por lo tanto, a promover un tamaño de grano fino en el producto ferrítico final transformado. Sin embargo, la solubilidad del Nb(CN) es menor que la de V(CN), y en solución existe cantidad insuficiente de niobio a la temperatura de conformación en caliente para formar precipitados finos durante el enfriamiento, lo que podría contribuir a la resistencia. La adición de niobio mejora la susceptibilidad a la formación de grietas durante la colada continua, por lo que la adición debe hacerse selectivamente.

60 Pueden usarse cromo, níquel, molibdeno y cobre en el acero, siempre que el CEV se mantenga por debajo del valor umbral. Dado que estos elementos afectan directamente al CEV como se definió anteriormente, se prefiere mantener bajas las cantidades para estos elementos. El cromo debe estar por debajo de 0,15, el níquel y el cobre por debajo de 0,20, y el molibdeno por debajo de 0,04. Preferentemente, el cromo y/o el níquel y/o el cobre están por debajo del 0,05

%. Preferentemente, el cromo, el níquel y el cobre están cada uno por debajo de 0,05 %, y/o como máximo 0,10 % conjuntamente.

5 El tratamiento con calcio de los aceros calmados con aluminio conduce a la modificación de inclusiones no metálicas y al cambio de su composición química y deformabilidad plástica. El tratamiento con calcio tiene el beneficio de modificar la composición de inclusiones, y además se ajustan la forma y tamaño de estas inclusiones. Dos de las principales ventajas del tratamiento con calcio son no sólo la mejora de la moldeabilidad (prevención de obstrucción) sino también la mejora de las propiedades finales de la maquinabilidad, tenacidad y calidad de la superficie de los aceros. Los efectos del calcio se basan principalmente en su gran capacidad para formar sulfuros y óxidos. En los aceros desoxidados con aluminio, la población de inclusiones generalmente incluirá inclusiones de alúmina y tal vez algunos silicatos y sulfuros de manganeso. Después del tratamiento con calcio, las inclusiones se restringen principalmente a aluminatos de calcio (CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y el azufre en el acero se asocia con estas inclusiones como sulfuro de calcio. Los niveles de calcio en el acero final son bajos, y preferentemente por debajo de Ca<0,015 %, con mayor preferencia por debajo de 0,005. Sin embargo, si el acero se ha sometido a un tratamiento con calcio, entonces el calcio está presente en el acero como un elemento de aleación (es decir, se añade deliberadamente), aun cuando las cantidades son mínimas, y no como una impureza (es decir, está presente inevitablemente).

En una modalidad, la sección comprende

- C: 0,13-0,16 % y/o
- 20 • Si: 0,15-0,25 % y/o
- Mn: 1,3-1,5 % y/o
- P: <0,025 % y/o
- S: <0,008 % y/o
- V: 0,16-0,18 % y/o
- 25 • Al: 0,005 - 0,035 % y/o
- N: 0,008-0,020 %.

Estos intervalos establecen limitaciones a la composición de la sección. Se encontró que una, más o todas estas limitaciones pueden seleccionarse de forma independiente.

30 En una modalidad, el grosor de la pared de la sección es como máximo de 40 mm.

El intervalo de grosor sobre el que la sección, de acuerdo con la invención, satisface la norma de la industria S420, es muy amplio. La EN10210 prescribe un límite de elasticidad de al menos 400 MPa en un grosor superior a 16 mm. Este valor de al menos 400 MPa además se cumple con la sección de acuerdo con la invención.

Preferentemente, el grosor de la pared de la sección es como máximo de 16 mm. Para estos valores de grosor, se cumple el requerimiento EN10210 de límite de elasticidad de al menos 420 MPa.

40 Aunque lo anterior se dirige principalmente a la sección hueca de acero producida por laminado en caliente, conformado, soldadura y tratamiento térmico, los inventores encontraron que la misma química puede usarse ventajosamente para producir secciones huecas de acero por medio de una ruta de producción sin soldadura en donde la sección hueca de acero se produce ininterrumpidamente y se trata térmicamente. Además, para estas secciones la soldabilidad es de gran importancia, así como también, las propiedades mecánicas.

45 De acuerdo con un segundo aspecto, se proporciona un proceso para producir una sección de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende las etapas de:

- fundir una plancha de acero que tiene una composición de acuerdo con la invención;
- 50 • (re)calentar la plancha de acero a una temperatura de al menos 1150 °C;
- laminar en caliente la plancha de acero en un fleje laminado en caliente con una temperatura de laminado de acabado en el intervalo de 800-950 °C;
- enfriar el fleje laminado en caliente con una velocidad de enfriamiento entre 2 y 50 °C/s;
- enrollar el fleje laminado en caliente a una temperatura de bobinado en el intervalo de 550-720 °C;
- 55 • conformar en frío y soldar el fleje para formar un tubo en bruto;
- conformar en caliente el tubo en bruto a temperaturas en el intervalo de 800-1050 °C en una sección final hueca con sus dimensiones finales;
- enfriar la sección hueca final a temperatura ambiente.

60 o que comprende las etapas de:

- producir una palanquilla de acero que tiene una composición de acuerdo con la invención;
- (re)calentar la palanquilla de acero a una temperatura de al menos 1150 °C;

- Perforar la palanquilla caliente para producir una armazón tubular hueca seguido por la laminación de la armazón tubular hueca en un laminador de tapón, laminador de hélice o laminador de mandril para producir un tubo;
- 5 • Opcionalmente, pasar el tubo a través de un laminador de bobinado para reducir el grosor de la pared y/o un calibrador para producir el diámetro exterior deseado;
- Opcionalmente, recalentar el tubo a una temperatura en el intervalo de 800-950 °C, preferentemente por medio de inducción, y enrollar en un laminador reductor por estiramiento para reducir aún más el diámetro exterior y/o el grosor de la pared;
- 10 • Normalizar el tubo final;
- enfriar el tubo final a temperatura ambiente.

El proceso para producir la sección hueca de acero se dirige principalmente a la sección hueca como se produce por laminado en caliente, conformado, soldadura y tratamiento térmico, los inventores encontraron sorprendentemente que la misma química puede usarse ventajosamente para producir secciones huecas de acero por medio de una ruta de producción sin soldadura en donde la sección hueca se produce ininterrumpidamente y se trata térmicamente. Además, para estas secciones la soldabilidad es de gran importancia, así como también, las propiedades mecánicas.

El proceso de colada de planchas puede ser el proceso de colada de planchas gruesas, lo que resulta en planchas que tienen un grosor superior a 150 mm, o la colada de planchas delgadas y el proceso de laminado directo, lo que resulta en planchas que tienen un grosor por debajo de 150 mm, y que tienen generalmente un grosor entre 50 y 100 mm.

Durante el laminado en caliente, es ventajoso conseguir un tamaño de grano fino en el fleje laminado en caliente, ya que esto hace más fácil el logro de un tamaño fino de los granos de austenita durante la conformación en caliente del tubo en bruto. Por lo tanto, la laminación en caliente se realiza mediante laminado de la plancha de acero en un fleje laminado en caliente con una temperatura de laminación en el intervalo de 800-950 °C, es decir, cuando se ejecuta el proceso de laminado en caliente mientras el acero es totalmente austenítico; el tamaño fino del grano de ferrita en el fleje laminado en caliente se logra mediante el control de la temperatura de laminado final (FRT) en la región de austenita, el uso de rociadores de agua para aumentar las velocidades de enfriamiento en la mesa transportadora entre el laminado de acabado y el bobinado, y mediante la selección de una temperatura de bobinado adecuada. Si la temperatura de bobinado es demasiado baja, entonces el fleje laminado en caliente es duro y difícil de conformar en frío. Si la temperatura de bobinado es demasiado alta, puede producirse un tamaño grande del grano de ferrita y precipitar AlN y V(CN) gruesos, lo que dificulta el logro del tamaño de grano de austenita fino requerido durante la conformación en caliente.

La temperatura de conformación en caliente del tubo en bruto debe controlarse cuidadosamente. Si la temperatura es demasiado baja, entonces el tubo en bruto no se transforma por completo en austenita y el vanadio no se disuelve en la medida adecuada. Si la temperatura de conformación en caliente es demasiado alta, entonces se formará un tamaño grande de grano, junto con microestructuras indeseables tales como ferrita Widmannstätten, lo que resultará en una resistencia y tenacidad deficientes.

En una modalidad, la temperatura de bobinado del fleje laminado en caliente es al menos 560 °C y/o como máximo 650 °C. El límite superior ayuda a lograr una microestructura fina, y el límite inferior ayuda a evitar componentes microestructurales más duros, tales como componentes bainíticos o incluso martensíticos.

En una modalidad, el enfriamiento de la sección hueca final a la temperatura ambiente se produce por enfriamiento con aire estacionario, o por enfriamiento con aire forzado. La velocidad máxima de enfriamiento depende principalmente del grado de acero. La aparición de (pequeñas) islas de martensita en la microestructura final debe evitarse para prevenir una disminución en el límite de elasticidad. La velocidad de enfriamiento promedio entre 850 y 550 °C es preferentemente como máximo 10 °C/s. Preferentemente, la velocidad de enfriamiento promedio es como máximo de 7.5 °C/s y con mayor preferencia como máximo 5 °C/s.

En el proceso de conformación del tubo, el fleje enrollado se corta al ancho requerido, y el extremo frontal de la nueva bobina se une al extremo posterior de la bobina anterior (por ejemplo) mediante una soldadura a tope o soldadura MIG para producir una longitud continua. El fleje continuo se pasa después a través del laminador de conformación, donde una serie de rodillos forman el fleje en la forma requerida. La soldadura por inducción de resistencia eléctrica de alta frecuencia completa la conformación del tubo. Inmediatamente después de la soldadura, el cordón de soldadura externo se retira y el área de soldadura se enfría con agua. Después, el tubo pasa por la prueba no destructiva en línea, y después se dimensiona para producir el diámetro requerido y se corta a lo largo.

En la Reducción del Estiramiento por Soldadura Eléctrica (EWSR), el tubo soldado forma la materia prima para el proceso de reducción por estiramiento. Las longitudes del tubo de hasta 120 m de largo se calientan a 900-1050 °C en dependencia del grado de acero. Los tubos se pasan después a través de una serie de soportes de rodillos en los que se reducen por estiramiento al tamaño y grosor requeridos. Después, las secciones se cortan a lo largo y se colocan en los bastidores de enfriamiento, donde el giro continuo garantiza un enfriamiento uniforme.

En los tubos de soldadura eléctrica (EW) que se van a terminar en caliente y no se reducen por estiramiento para alcanzar el tamaño final se pasan a un horno donde se calientan a una temperatura entre 850-1000 °C, y después se laminan en caliente en su perfil final después de lo cual se dejan enfriar.

5 Durante la producción del tubo sin soldadura, las palanquillas se recalientan típicamente a temperaturas en el intervalo de 1150-1250 °C, y después se perforan. La palanquilla perforada se lamina después para reducir el diámetro exterior y el grosor de la pared. El tubo puede pasar después a través de un laminador de calibrado final, o en algunos procesos puede recalentarse nuevamente antes de pasar a través de un laminador de reducción por estiramiento para alcanzar las dimensiones finales. El tubo sin soldadura ahora puede recibir tratamientos térmicos adicionales, lo que incluye el calentamiento en el intervalo de 850-1000 °C, para lograr las propiedades mecánicas finales requeridas.

La invención se describirá ahora con referencia a los siguientes ejemplos no limitantes.

15 En la Figura 2 se da una visión general del análisis químico de coladas usadas para los ejemplos.

En la Tabla 1, se presentan los resultados de los aceros 19 a 27, en donde los aceros 23 y 24 son ejemplos comparativos.

20 Tabla 1 - resultados de los aceros 19 a 27

ID	Tipo	YS (MPa)	TS (MPa)	Alargamiento A (%)	Charpy a - 20 °C (J)
23	Comparación	<b>414</b>	554	31	214
24	Comparación	<b>400</b>	567	30	163
19	Invención	441	570	29	192
20	Invención	453	597	29	208
21	Invención	423	572	30	165
25	Invención	430	560	32	208
26	Invención	455	585	29	190
27	Invención	441	567	30	204

Estos ejemplos se produjeron mediante recalentamiento a 1250 °C, seguido de laminado en caliente a 12.5 mm con una temperatura de laminado de acabado de 850 °C. Se usó un enfriamiento de aproximadamente 10 °C/s para enfriar el acero laminado acabado a una temperatura de bobinado de 600 °C. Después de enfriar a temperatura ambiente, las muestras se recalentaron hasta una temperatura de normalización en la región austenítica (es decir, a aproximadamente 900 °C) y se conformaron en una sección después de lo cual las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente en aire estacionario. Se tomaron muestras de estas muestras. Se midió el alargamiento (A) de las muestras extensibles sobre una longitud de calibre proporcional  $L_0$ .  $L_0$  se define como  $5.651 \cdot \sqrt{S_0}$ , donde  $S_0$  es la superficie de la sección transversal de la muestra extensible. Por ejemplo, para una muestra extensible redonda con un diámetro de 8 mm, la longitud del calibre es de 40 mm.

El examen TEM de réplicas de extracción de carbono tomadas de muestras inactivadas a partir de la temperatura de normalización indica la presencia de precipitados de VN y precipitados de AlN. Los precipitados de VN tenían principalmente una forma esférica o cuboide, pero ocasionalmente se observó una morfología más grande similar a una placa. Los precipitados de VN esféricos y cuboides se distribuyeron principalmente de forma aleatoria, pero ocasionalmente se observaron hileras cortas de precipitados. Los precipitados de AlN usualmente tenían la forma de barras o prismas angulares delgados, y tenían un tamaño mucho mayor que los precipitados de VN (los precipitados de AlN típicos tienen aproximadamente 100 nm de diámetro, mientras que los precipitados de VN tienen aproximadamente 10 nm de diámetro). Usualmente, se organizaron en filas cortas o grupos. Ejemplos típicos de precipitación en el acero base se muestran en la Figura 3a (precipitados de AlN) y b (precipitados de VN).

En la Tabla 2 se presentan los resultados para diferentes tipos de secciones reducidas por estiramiento (SR) o de acabado en caliente (HF). Rt0.5 es el punto de fluencia (en MPa) a 0.5 % de alargamiento.

60 Tabla 2 - Resultados para secciones SR y HF.

# ES 2 666 738 T3

5

Laminador	ID	Tamaño (mm <sup>3</sup> )	Cond.	Grosor de la pared (mm)	ReH (MPa)	Rt0.5 (MPa)	UTS (MPa)	A(%)	IE *** (J)
EWSR	69425-1	60x40x6.3	SR*	6,3	476	473	593	30	110
EWSR	69425-2	60x40x6.3	SR	6,3	460	461	583	29	111
EWSR	63226-1	80x80x8	SR	8	481	461	610	27	63
EWSR	63226-2	114.3x6.3	SR	6,3	500	493	593	30	96
EWSR	63226-3	139.7x6.3	SR	6,3	475	474	574	30	82
EWSR	63226-4	139.7x8.0	SR	8	453	445	581	28	69
EW	63225-1	150x100x6.	HF**	6,3	434	429	547	31	88
EW	69424-1	150x100x6.	HF	6,3	451	434	561	30	77
EW	63225-2	150x100x6.	HF	6,3	439	425	548	31	76
EW	63225-2	120x120x1	HF	10	435	432	550	30	150
EW	69424-2	120x120x1	HF	12,5	433	427	549	31	231
EW	69424-3	160x80x12.	HF	12,5	429	424	548	30	228

\*SR: Reducido por estiramiento; \*\*HF: Acabado en caliente; \*\*\*IE: Energía de impacto a -20 °C

45

Las condiciones de laminado para producir el fleje laminado en caliente para procesarse en los laminadores de sección hueca para los resultados presentados en la Tabla 2 fueron similares a los de la tabla 1. El fleje laminado en caliente se procesa en secciones huecas en la planta de reducción por estiramiento de soldadura eléctrica (EWSR) de Tata Steel y en la planta de soldadura eléctrica (EW) de Tata Steel.

50

La Figura 4 muestra una imagen esquemática del proceso de producción.

En la Tabla 3, se dan los resultados para el acero 28, que se ha procesado como un tubo sin soldadura de 12 mm de grosor de pared, y después se trata térmicamente a temperaturas en el intervalo de 880-1000 °C.

55

Tabla 3 - resultados de los aceros 28

ID	Temperatura de normalización, °C	YS (MPa)	UTS (MPa)	A%
A9	880	438	544	30,7
A11	920	439	559	31,7
A13	960	476	563	30,7
A14	980	478	571	30,3
A15	1000	494	584	30,0

60

65



## ES 2 666 738 T3

En la Tabla 4 se dan los resultados para el acero 69424, que se ha conformado en caliente en una sección hueca con un grosor de pared de 5,6 mm a temperaturas en el intervalo de 880-1000 °C y se ha enfriado a diferentes velocidades de enfriamiento. Se midió la velocidad de enfriamiento promedio entre 850 y 550 °C, y se observa que el límite de elasticidad y la resistencia a la tracción aumentan con el aumento de la velocidad de enfriamiento promedio hasta una tasa de enfriamiento promedio de ~ 4 °C/s. Si la velocidad de enfriamiento aumenta aún más, existe el riesgo de que el límite de elasticidad comience a disminuir debido al inicio de la formación de pequeñas islas de martensita, lo que provoca un efecto similar a la fase dual. La UTS siguió en aumento a medida que aumentó la velocidad de enfriamiento.

Tabla 4 - Resultados del enfriamiento acelerado de la sección hueca conformada en caliente.

Control de calidad	Velocidad de enfriamiento promedio 850 - 550 °C (° C/s)	Reh (MPa)	Rm, MPa	A%
13JJ82 A	0,45	463	563	26
13JJ82 B	2,14	468	590	28
13JJ82 C	2,77	483	587	26
13JJ82 D	2,97	501	602	28
13JJ82 E	3,90	483	606	27

Reivindicaciones

- 5 1. Sección hueca de acabado en caliente de acero de alta resistencia con bajo CEV en donde  $CEV = C + (Mn/6) + ((Cr + Mo + V)/5) + ((Cu + Ni)/15)$ , y en donde (en % en peso).
- 10
- C: 0,12-0,18;
  - Si: <0,60;
  - Mn: 1,2-1,6;
  - P: <0,035;
  - S: <0,015;
  - V: 0,13-0,20;
  - Al: < 0,04;
  - N: 0,008-0,025;
  - Ti: <0,01;
  - Cr: <0,15;
  - Ni: <0,20;
  - Mo: <0,04;
  - Cu: <0,20;
  - Nb: < 0,05%
- 15
- Opcionalmente,  $Ca < 0,015$  %, con mayor preferencia por debajo de a 0,005, en una cantidad consistente con un tratamiento de calcio para el control de inclusiones;
  - El hierro restante y las impurezas inevitables;
- 20
- en donde  $CEV \leq 0,45$  %; y en donde las propiedades mecánicas cumplen con las normas industriales S420NH y S420NLH de acuerdo con EN10210-1:2006.
- 25
2. La sección de acuerdo con la reivindicación 1, en donde Si <0,25 %.
- 30
3. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde Si  $\geq 0,10$  %.
4. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde V  $\geq 0,15$  %.
5. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde V  $\leq 0,19$  %.
- 35
6. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde uno o más de Cr, Ni y Cu son como máximo 0,05 % y/o como máximo 0,10 % conjuntamente.
7. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde  $CEV \leq 0,44$  %, preferentemente  $\leq 0,435$  %.
- 40
8. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde
- 45
- C: 0,13-0,16 % y/o
  - Si: 0,15-0,25 % y/o
  - Mn: 1,3-1,5 % y/o
  - P: <0,025 % y/o
  - S: <0,008 % y/o
  - V: 0,16-0,18 % y/o
  - Al: 0,005 - 0,035 % y/o
  - N: 0,008-0,020 %.
- 50
9. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde Mn  $\geq 1,35$  %.
- 55
10. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el grosor de la pared de la sección es como máximo 40 mm.
11. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el grosor de la pared de la sección es como máximo 16 mm.
- 60
12. La sección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la sección es una sección soldada o una sección sin soldadura.
- 65
13. Proceso para producir una sección hueca de acabado en caliente de acero de alta resistencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende las etapas de:

## ES 2 666 738 T3

- fundir una plancha de acero que tiene una composición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9;
  - (re)calentar la plancha de acero a una temperatura de al menos 1150 °C;
  - laminar en caliente la plancha de acero en un fleje laminado en caliente con una temperatura de laminación de acabado en el intervalo de 800-950 °C;
  - enfriar el fleje laminado en caliente con una velocidad de enfriamiento entre 2 y 50 °C/s;
  - enrollar el fleje laminado en caliente a una temperatura de bobinado en el intervalo 550-720 °C;
  - conformar en frío y soldar el fleje para formar un tubo en bruto;
  - conformar en caliente el tubo en bruto a temperaturas en el intervalo de 800-1050 °C hasta una sección final hueca con sus dimensiones finales;
  - enfriar la sección hueca final a temperatura ambiente.
- o que comprende las etapas de:
- producir una palanquilla de acero que tiene una composición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9;
  - (re)calentar la palanquilla de acero a una temperatura de al menos 1150 °C;
  - Perforar la palanquilla caliente para producir una armazón tubular hueca seguido por la laminación de la armazón tubular hueca en un laminador de tapón, laminador de hélice o laminador de mandril para producir un tubo;
  - Opcionalmente, pasar el tubo a través de un laminador de bobinado para reducir el grosor de la pared y/o un calibrador para producir el diámetro exterior deseado;
  - Opcionalmente recalentar el tubo a una temperatura en el intervalo de 800-950 °C, preferentemente por medio de inducción, y laminar en un laminador reductor por estiramiento para reducir aún más el diámetro exterior y/o el grosor de la pared;
  - Normalizar el tubo final;
  - enfriar el tubo final a la temperatura ambiente.
14. Proceso de acuerdo con la reivindicación 13, en donde el enfriamiento de la sección hueca final a la temperatura ambiente se produce por enfriamiento con aire estacionario, o por enfriamiento con aire forzado.
15. Proceso de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en donde la temperatura de bobinado del fleje laminado en caliente es al menos 560 °C y/o como máximo 650 °C.

FIGURA 1

TABLA B. 3 Propiedades mecánicas de secciones huecas de acero estructural de grano fino

Grado del acero		Límite de elasticidad mínimo R mPa			Resistencia a la tracción Rm MPa a grosores especificados ≤ 65 mm	Alargamiento mínimo A % a grosores especificados ≤ 65 mm		Energía de impacto mínima KV <sup>a</sup>	
Nombre del acero	Número del acero	Grosor especificado mm		Longitudinal		Transversal	-50 °C	A la Temperatura de	-20 °C
S27.5NH	1.0493	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 65	370-510	24	-	27	40 <sup>b</sup>
S27.5NLH	1.0497	275	285	255					
S35.5NH	1.0539	355	345	335	470-630	22	-	27	40 <sup>b</sup>
S35.5NLH	1.0549								
S42.0NH	1.6750	420	400	390	520-680	19	-	27	40 <sup>b</sup>
S42.0NLH	1.6751								
S46.0NH	1.8953	460	440	430	540-720	17	-	27	40 <sup>b</sup>
S46.0NLH	1.8956								

<sup>a</sup> Para propiedades de impacto para piezas de prueba de sección reducida, ver 6.6.2  
<sup>b</sup> Este valor corresponde a 27 J a -30 °C, (ver EN-1993-1-1)

	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Se/Al	Ti	Cr	Ni	Mo	Cu	N <sub>2</sub>	Ca	CEV
23*	0,145	0,15	1,5	0,016	0,0039	0,001	<b>0,10</b>	0,016	0,005	<0,01	<0,01	0,005	<0,05	0,016	n/a	0,415
24*	0,145	0,14	1,49	0,016	0,0036	0,001	0,15	0,023	0,005	<0,01	<0,01	0,005	<0,05	<b>0,0047</b>	n/a	0,423
19	0,15	0,14	1,47	0,017	0,0036	0,001	0,15	0,018	0,005	<0,01	<0,01	0,005	<0,05	0,018	n/a	0,425
20	0,15	0,42	1,47	0,017	0,0030	0,001	0,15	0,017	0,005	<0,01	<0,01	0,005	<0,05	0,017	n/a	0,425
21	0,155	0,16	1,44	0,016	0,0050	0,001	0,15	0,040	0,005	<0,01	<0,01	0,005	<0,05	0,015	n/a	0,425
25	0,14	0,15	1,49	0,015	0,0050	0,001	0,15	0,021	0,005	<0,01	<0,01	0,005	<0,05	0,013	n/a	0,418
26	0,155	0,15	1,49	0,017	0,0047	0,036	0,15	0,016	0,005	0,01	<0,01	0,005	<0,05	0,016	n/a	0,433
27	0,155	0,14	1,48	0,016	0,0042	0,001	0,15	0,010	0,005	<0,01	<0,01	0,005	<0,05	0,022	n/a	0,432
28	0,135	0,19	1,38	0,015	0,0031	0,001	0,18	0,020	0,001	<0,01	<0,01	0,005	<0,05	0,014	n/a	0,401
69424	0,146	0,212	1,390	0,012	0,0060	0,002	0,167	0,018	0,001	0,024	0,021	0,002	0,013	0,018	n/a	0,419
69425	0,142	0,186	1,390	0,011	0,0070	0,002	0,170	0,018	0,001	0,027	0,022	0,002	0,019	0,017	n/a	0,415
63225	0,142	0,185	1,398	0,016	0,0070	0,001	0,180	0,024	0,001	0,026	0,020	0,002	0,029	0,012	n/a	0,420
63226	0,146	0,187	1,458	0,019	0,0070	0,001	0,176	0,025	0,002	0,025	0,021	0,003	0,026	0,012	n/a	0,433

\* Aceros 23 y 24 son ejemplos comparativos

FIGURA 2

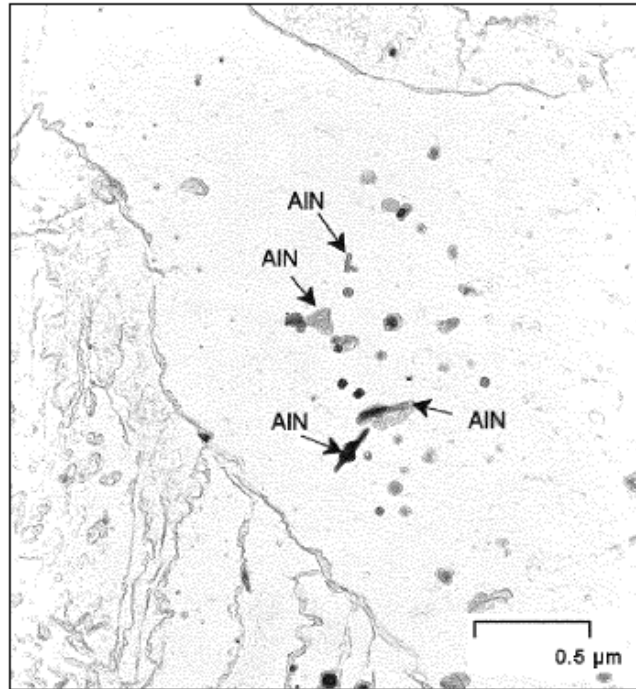


FIGURA 3A

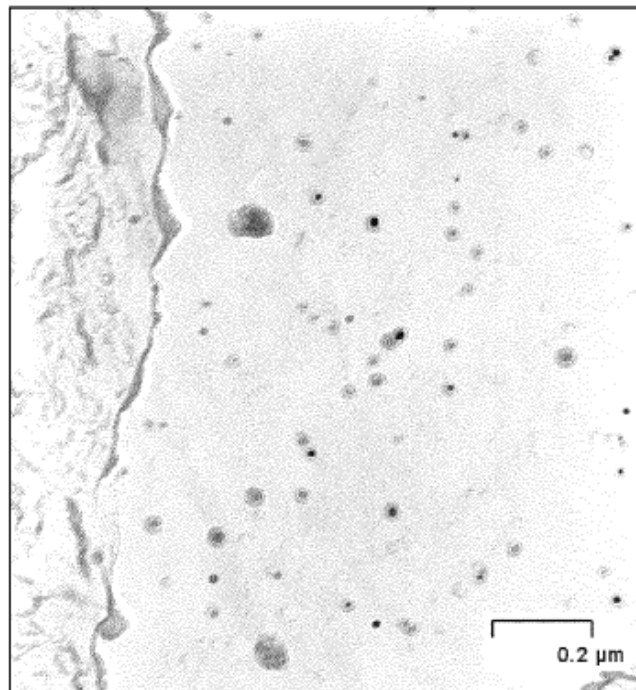


FIGURA 3B

Proceso de conformación del tubo

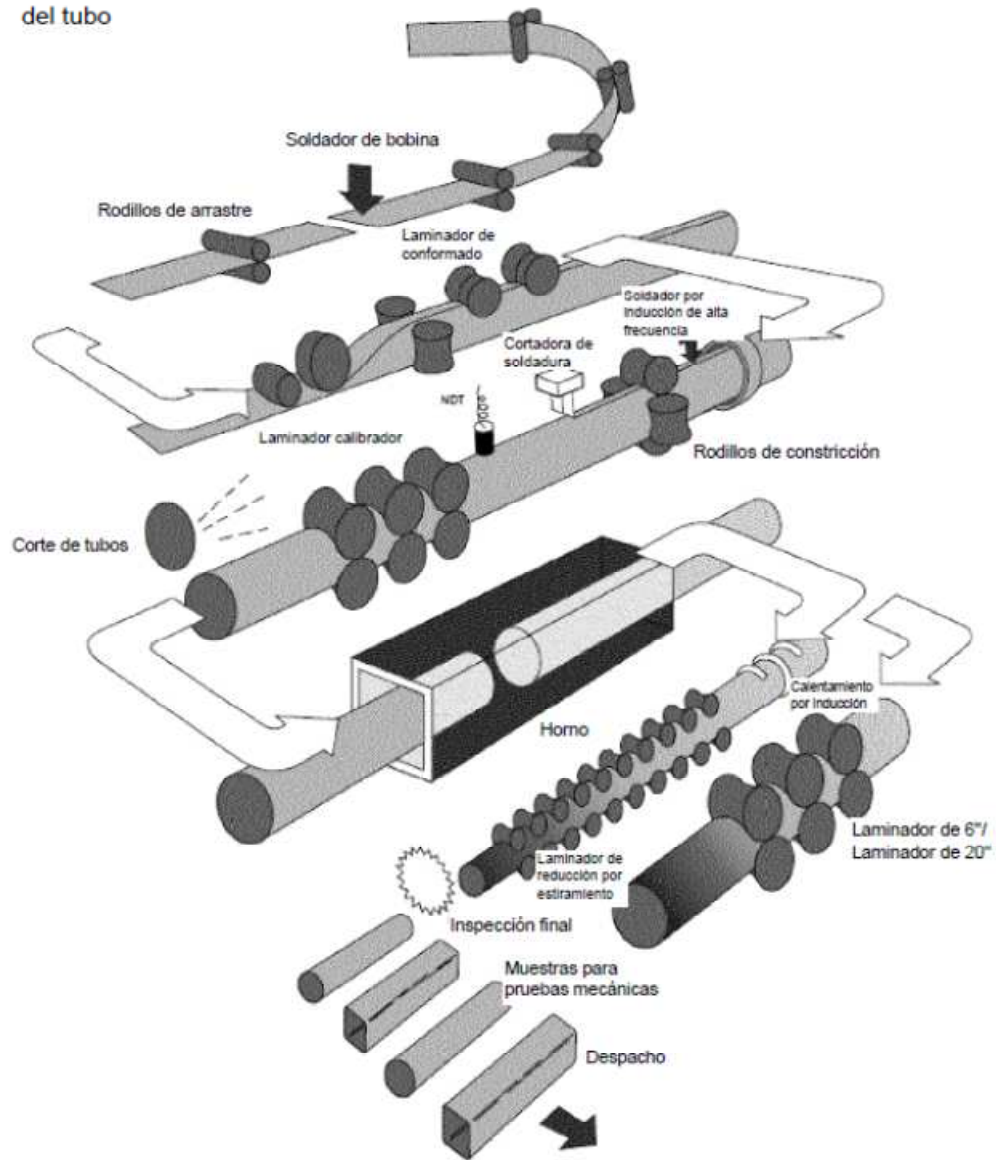


FIGURA 4