(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 737 226**

(51) Int. Cl.:

C21D 6/00	(2006.01)	***B32B 15/01***	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)		
C21D 9/46	(2006.01)		
C21D 1/18	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/12	(2006.01)		
C23C 2/06	(2006.01)		
C23C 2/40	(2006.01)		
C23C 2/02	(2006.01)		

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2015** **PCT/IB2015/055031**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016** **WO16001887**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2015** **E 15753994 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019** **EP 3164515**

(54) Título: **Procedimiento para fabricar una lámina de acero de alta resistencia que tiene una conformabilidad mejorada y una lámina obtenida**

(30) Prioridad:

03.07.2014 WO PCT/IB2014/002235

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.01.2020

(73) Titular/es:

ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU

(72) Inventor/es:

XU, WEI y
ARLAZAROV, ARTEM

(74) Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 737 226 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

Procedimiento para fabricar una lámina de acero de alta resistencia que tiene una conformabilidad mejorada y una lámina obtenida

[0001] La presente invención se refiere a láminas de acero de alta resistencia excelentes en conformabilidad y resistencia, y a un procedimiento para producir las mismas.

[0002] Para fabricar diversos equipos, tales como piezas de automóviles, remolques, camiones, etc., se utilizan láminas de acero de alta resistencia, hechas de aceros tales como los aceros DP (fase dual) o TRIP (plasticidad inducida por transformación).

[0003] Con el fin de reducir el peso de los equipos, que es muy deseable para reducir el consumo de energía, es muy deseable tener aceros que tengan mejores propiedades mecánicas tales como resistencia de rendimiento o resistencia elástica. Sin embargo, dichos aceros tienen, por lo general, menor conformabilidad.

[0004] Para este propósito, se propuso utilizar aceros que contienen aproximadamente 0,2 % de C, 2,5 % de Mn, 1,5 % de Si y que tienen una estructura que consiste en martensita y austenita retenida. Las láminas se producen en líneas de recocido continuo mediante un tratamiento térmico que consiste en un recocido, un temple interrumpido y un sobreenvejecimiento. El propósito del sobreenvejecimiento es generar un enriquecimiento de carbono de la austenita retenida por transferencia de la martensita para aumentar la estabilidad de la austenita retenida. En estos aceros, el contenido de Mn permanece siempre por debajo del 3,5 %.

[0005] Además, el artículo “Alloy Design for Fundamental Study of Quenched and Partitioned Steels”, Thomas et al., Materials Science and Technology Conference and Exhibition, pp 552-567, 2011, describe un acero que comprende 0,32 % C, 8,7 % Mn, 2,01 % Si y 0,24 % Mo para estudiar el procedimiento de temple y partición.

[0006] Aunque con tales aceros es posible obtener propiedades interesantes, sigue siendo deseable obtener austenita retenida que tenga una mejor estabilidad para obtener mejores características. Pero la ductilidad que es necesaria para tener una buena conformabilidad debe seguir siendo buena y, especialmente, es deseable una buena capacidad de deformación.

[0007] Por estas razones, sigue siendo necesario contar con un acero y un procedimiento para fabricar fácilmente láminas de acero de alta resistencia en líneas de tratamiento térmico continuo.

[0008] Para este propósito, la invención se refiere a un procedimiento para fabricar fácilmente una lámina de alta resistencia que tiene una conformabilidad mejorada según la reivindicación 1. Preferiblemente, el procedimiento comprende una o más de las características de las reivindicaciones 2 a 5.

[0009] Preferiblemente, la composición química del acero es tal que:

$$0.15\% \leq C \leq 0.25\%$$
$$1.4\% \leq Si \leq 1.8\%$$
$$0.2\% \leq Mo \leq 0.35\%.$$

[0010] La invención también se refiere a una lámina de acero de alta elasticidad según la reivindicación 6.

[0011] Preferiblemente, la lámina de acero comprende una o más de las características de las reivindicaciones 7 a 10.

[0012] La relación de expansión de orifico HER mayor o igual al 15 % se mide según la norma ISO 16630:2009.

[0013] La lámina está recubierta, por ejemplo, con un revestimiento metálico por inmersión en caliente.

[0014] La invención se describirá ahora en detalle e ilustrará con ejemplos sin introducir limitaciones.

[0015] La composición del acero según la invención comprende, en porcentaje en peso:

- 0,1 % ≤ C ≤ 0,4 % y preferentemente 0,15 % ≤ C y/o C ≤ 0,25 % para obtener una resistencia satisfactoria y mejorar la estabilidad de la austenita retenida. Si el contenido de carbono es demasiado alto, se reduce la soldabilidad.
- 4,5 % ≤ Mn ≤ 5,5 %. Un contenido de Mn superior al 4,2 % mejora la estabilidad de la austenita retenida mediante un mayor enriquecimiento de la austenita en Mn y una disminución del tamaño de grano de la austenita. La disminución del tamaño de grano de la austenita tiene la ventaja de disminuir la distancia de difusión que es necesaria para transferir el carbono y el manganeso de martensita a austenita y, por lo tanto, aumenta la difusión de estos elementos durante la etapa de sobreenvejecimiento. Además, un contenido de manganeso superior al

4,2 % disminuye los puntos de transformación Ms, Ac_1 y Ac_3, lo que facilita el logro del tratamiento térmico. Según la invención, el contenido de Mn es de al menos el 4,5 %. Pero el contenido de manganeso debe permanecer como máximo en un 5,5 % para no reducir demasiado la ductilidad.
- Si ≥ 1 % y preferiblemente Si ≥ 1,4 %, y Si ≤ 3 % y preferiblemente Si ≤ 1,8 %. El silicio es útil para estabilizar la austenita, para proporcionar un fortalecimiento de la solución sólida y para retardar la formación de carburos durante la redistribución de carbono de martensita a austenita. Pero con un contenido de silicio demasiado alto, se formarán óxidos de silicio en la superficie de la lámina, lo que es perjudicial para la capacidad de revestimiento y la ductilidad.
- 0,2 % ≤ Mo ≤ 0,5 % Mo debe estar por encima de 0,2 % para reducir la segregación central que puede resultar del alto contenido de manganeso y que es perjudicial para la deformación del estiramiento. Por encima del 0,5 %, el molibdeno puede formar demasiados carburos que pueden ser perjudiciales para la ductilidad. Preferiblemente, el contenido de Mo es menor o igual que 0,35 %.

[0016] El resto es Fe e impurezas resultantes de la fusión. Tales impurezas incluyen N, S, P y elementos residuales tales como Cr, Ni, B y Al.

[0017] Por lo general, el contenido de N permanece inferior al 0,01 %, el contenido de S inferior al 0,01 %, el contenido de P inferior al 0,02 %, el contenido de Cr inferior al 0,1 %, el contenido de Ni inferior al 0,1 % el contenido de Cu inferior al 0,2 %, el contenido de B inferior al 0,0005 % y el contenido de Al inferior al 0,001 %. Sin embargo, se debe tener en cuenta que se puede agregar Al para desoxidar el acero. En este caso, su contenido puede alcanzar el 0,04 %. Además, el Al puede formar pequeños precipitados de AIN que pueden usarse para limitar el crecimiento de grano de austenita durante el recocido.

[0018] Ninguna microaleación, tal como Ti, V y Nb, está dirigida al acero según la invención. Los contenidos de dichos elementos están limitados individualmente a 0,050 %, preferiblemente, la suma de Nb, Ti, V está limitada a 0,1 %.

[0019] La lámina chapada en caliente que tiene un espesor de entre 2 y 5 mm se puede producir de manera conocida con este acero. Después del chapado en caliente, la lámina se puede recocer por lotes a una temperatura entre 400 °C y 600 °C durante 300 segundos a 10 horas. La lámina chapada en caliente puede ser decapada y chapada en frío para obtener una lámina chapada en frío con un grosor de entre 0,5 mm y 2 mm.

[0020] Luego, la lámina se trata térmicamente en una línea de recocido continuo.

[0021] Antes del tratamiento térmico, se determina una temperatura de enfriamiento óptima QTop. Esta temperatura de enfriamiento óptima es la temperatura a la cual se debe detener el enfriamiento para obtener un contenido óptimo de austenita retenida. Esta temperatura de enfriamiento óptima se puede calcular utilizando las relaciones de Andrews y Koistinen Marburger:

$$Ms = 539 - 423 \times C - 30.4 \times Mn - 12.1 \times Cr - 7.5 \times Mo - 7.5 \times Si$$

y

$$f\alpha' = 1 - \exp\{-0.011 \times (Ms-T)\}$$

donde fα' es la proporción de martensita a la temperatura T durante la extinción,
y suponiendo que, después de templar a una temperatura QT, el acero se sobreenvejece a una temperatura superior a QT y que, debido al sobreenvejecimiento, se realiza completamente la división del carbono entre la martensita y la austenita restante.

[0022] Los expertos en la materia saben cómo realizar este cálculo.

[0023] El propósito del tratamiento térmico es obtener una estructura que consiste en al menos el 50 % y preferiblemente al menos el 65 % de martensita y al menos el 10 % y preferiblemente al menos el 20 % de austenita retenida con la menor cantidad posible de ferrita o bainita. La suma de la fracción de superficie de ferrita y bainita es menor que el 10 % y preferiblemente menor que el 5 %.

[0024] Está claro para los expertos en la técnica que esta estructura es la estructura final, es decir, después del tratamiento completo. Justo después de la extinción, la estructura solo contiene martensita y austenita.

[0025] Las proporciones de martensita, ferrita y bainita son fracciones de área de estos constituyentes. La proporción de austenita residual se mide por difracción RX. Los expertos en la técnica saben cómo determinar estas proporciones.

[0026] Para esto, la lámina se recuece a una temperatura de recocido AT más alta que el punto de transformación Ac_3 del acero, pero preferiblemente a menos de 950 °C para no agrietar demasiado los granos de austenita.

[0027] Luego, la lámina se templa al enfriarla a una velocidad de enfriamiento mayor que 0,1 ºC/s hasta una temperatura de enfriamiento QT menor que el punto de transformación Ms del acero y preferiblemente entre QT_{op} - 20 °C y QT_{op} + 20 °C. Esta es una característica importante de la invención, ya que la capacidad de endurecimiento es alta en el acero según la invención. Como consecuencia, la ferrita no se forma al enfriarse incluso a bajas velocidades de enfriamiento, como 3 °C/s, por lo que no es necesario tener un enfriamiento acelerado. Preferiblemente, la velocidad de enfriamiento está entre 0,1 °C/s y 70 °C/s.

[0028] Después del temple, la lámina se calienta a una temperatura de sobreenvejecimiento entre 300 °C y 500 °C y se mantiene a esta temperatura o alrededor de esta temperatura durante un tiempo de al menos 10 s y, preferiblemente, entre 100 s y 600 s para transferir carbono desde la martensita a la austenita sin formar carburos.

[0029] Para un acero cuya composición comprende de 0,15 % a 0,25 % C, 4,5 % a 5,5 % Mn, 1,4 % a 1,8 % Si y 0,2 % a 0,35 % Mo, la temperatura de recocido puede estar entre 780 °C y 950 °C y la temperatura de temple entre 130 °C y 180 °C.

[0030] Después del sobreenvejecimiento, la lámina se enfría a la temperatura ambiente. Con este acero y este procedimiento es posible obtener una lámina con una resistencia de rendimiento YS de más de 1000 MPa, una resistencia elástica TS de más de 1300 MPa, un alargamiento uniforme UE mayor o igual al 10 % y un alargamiento total TE mayor o igual al 13 %, sin segregación central cuando se observa con microscopio óptico.

[0031] Como ejemplo (Ex) y comparación (Comp), se produjeron los aceros cuyas composiciones en % en peso, puntos de transformación y temperatura de temple óptima QTop se dan en la tabla 1. Para la composición química, solo se dan los contenidos de C, Si, Mn y Mo, el resto son Fe e impurezas. Se midieron los valores de Ac_1 y Ac_3. Los valores de Ms y Mf se calcularon utilizando las relaciones de Andrews y Koistinen Marburger.

Tabla 1

	C %	Si %	Mn %	Mo %	$AC_{1\,°C}$	$AC_{3\,°C}$	Ms °C	Mf °C	QTop °C
Ex	0,2	1,6	5	0,3	557	752	282	97	177
Comp	0,2	1,6	5	-	562	742	284	104	160

[0032] Se produjeron láminas chapadas en caliente con un espesor de 2,4 mm. Las láminas se recocieron por lotes a 600 °C durante 5 horas, luego se recogieron y luego se chaparon en frío para obtener láminas chapadas en frío con un espesor de 1,2 mm. Tres muestras de las láminas chapadas en frío se trataron térmicamente variando la temperatura de enfriamiento QT.

[0033] Las condiciones del tratamiento térmico y las propiedades mecánicas resultantes de los tratamientos térmicos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

EX	AT °C	QT °C	PT °C	Pts	YS MPa	TS MPa	UE %	TE %	HER %	α (°)	RA %
Ex 1	800	135	400	500	1109	1408	11	14	16	65	19
Ex 2	800	155	400	500	1136	1407	11	14	15	80	21
Ex 3	820	135	400	500	1218	1367	10,7	14,6	19	-	21
Ex 4	820	155	400	500	1143	1399	12,2	15,1	18	-	23
Ex 5	820	175	400	500	1002	1436	11,6	13,9	15	-	21
Ex 6	820	20	400	500	1374	1497	1,8	5,7	-	-	3
Ex 7	780	120	400	500	1234	1390	9,0	11,3	-	-	8
Ex 8	820	230	400	500	702	1557	4,1	4,1	-	-	6
Comp	800	140	400	500	1154	1428	11	15	9	68	23

[0034] En esta tabla 2, AT es la temperatura de recocido, QT la temperatura de temple, PT la temperatura de sobreenvejecimiento, Pt el tiempo de sobreenvejecimiento, YS la resistencia de rendimiento, TS la resistencia elástica, UE el alargamiento uniforme, TE el alargamiento total, HER la relación de expansión de orificio, α el ángulo de plegado medido por la prueba de capacidad de flexión y RA la cantidad de austenita retenida en la microestructura. La relación

de expansión de orificio, que es una medida de la capacidad de deformación del estiramiento, se mide utilizando el procedimiento según la norma ISO 16630: 2009. Debido a las diferencias entre los procedimientos de medida, el valor de la relación HER según la norma ISO es muy diferente y no es comparable con el valor de la relación λ según la norma JFS T 1001 (norma de la Federación de Hierro y Acero de Japón). El ángulo de plegado se mide utilizando cualquier procedimiento conocido por los expertos en la materia.

[0035] Se puede ver que, con el acero según la invención, es posible obtener simultáneamente alta resistencia de rendimiento, alta resistencia elástica, muy buenas elongaciones y una relación de expansión de orificio significativamente mejor que con el acero “comp” que no contiene molibdeno para temperaturas QT similares.

[0036] La comparación de los ejemplos 1 y 2 con los ejemplos 3 y 4 ilustra que cuando aumenta la temperatura de recocido AT, que es más alta que el punto de transformación Ac_3 del acero, aumenta el tamaño de grano de austenita, lo que generalmente conduce a mejores propiedades de elongación.

[0037] La comparación de los ejemplos 4 y 5 muestra que cuando se incrementa la temperatura de enfriamiento, la resistencia de rendimiento disminuye mientras que la resistencia elástica aumenta, debido a la presencia de un contenido más bajo de martensita en la microestructura.

[0038] El acero de los ejemplos 6 se templa a una temperatura de temple por debajo de Mf, lo que conduce a una estructura que contiene un contenido demasiado bajo de austenita retenida y, por lo tanto, tiene propiedades de alargamiento insatisfactorias.

[0039] Las temperaturas de temple de los ejemplos 7 y 8 están comprendidas entre los puntos de transformación Ms y Mf de los puntos de acero del acero, pero no de manera que se obtenga una estructura final que contenga al menos el 10 % de austenita residual. En particular, la temperatura de temple del ejemplo 7 es demasiado baja para garantizar un contenido de austenita residual de al menos el 10 %. La temperatura de enfriamiento del ejemplo 8 es demasiado alta, de modo que cuando el acero alcanza la temperatura de temple, la cantidad de martensita es demasiado baja para garantizar una estabilización suficiente de la austenita cuando la lámina se mantiene a la temperatura de sobreenvejecimiento. Por lo tanto, las elongaciones uniformes y totales de los ejemplos 6, 7 y 8 son insuficientes.

[0040] Además, un examen micrográfico mostró que en los aceros según la invención no había segregación central cuando la microestructura de acero se observa con un microscopio óptico. Es por eso que se mejora la conformabilidad, porque la segregación central es perjudicial para las propiedades en uso.

[0041] La lámina que se describe anteriormente no está revestida. Pero está claro que la lámina puede estar revestida por cualquier medio, por ejemplo, por revestimiento por inmersión en caliente, por electrorrevestimiento, por revestimiento al vacío como JVD o PVD, etc. Cuando la lámina está revestida por inmersión en caliente, el revestimiento puede galvanizarse con o sin aleación (galvanizado recocido). En estos casos, debe considerarse el tratamiento térmico correspondiente a la inmersión en caliente y, finalmente, a la aleación que se realiza antes de enfriar la lámina a la temperatura ambiente. Los expertos en la técnica saben cómo hacerlo, por ejemplo mediante pruebas, para optimizar la temperatura y el tiempo de sobreenvejecimiento. En este caso, al menos una cara de la lámina puede revestirse y, más específicamente, revestirse con metal.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para fabricar una lámina de alta resistencia que tiene una conformabilidad mejorada según lo que contiene la composición química del acero, en porcentaje en peso:

$$0.1\% \leq C \leq 0.4\%$$
$$4.5\% \leq Mn \leq 5.5\%$$
$$1\% \leq Si \leq 3\%$$
$$0.2\% \leq Mo \leq 0.5\%$$

el resto son Fe e impurezas inevitables,
el procedimiento comprende los pasos de:

- recocer una lámina chapada hecha de dicho acero empapándola a una temperatura de recocido AT más alta que el punto de transformación Ac_3 del acero,
- apagar la lámina al templarla a una temperatura de templado QT entre los puntos de transformación Ms y Mf del acero para obtener una estructura final que contenga al menos el 50 % de martensita y al menos el 10 % de austenita residual, la suma de ferrita y bainita es inferior al 10 %,
- calentar la lámina hasta una temperatura de sobreenvejecimiento PT entre 300 °C y 500 °C y mantenerla a dicha temperatura durante un tiempo Pt superior a 10 s, y
- enfriar la lámina a temperatura ambiente.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la composición química del acero es tal que:

$$0.15\% \leq C \leq 0.25\%$$
$$1.4\% \leq Si \leq 1.8\%$$
$$0.2\% \leq Mo \leq 0.35\%$$

y **porque** la temperatura de recocido AT es mayor que 780 °C y menor que 950 °C, la temperatura de temple es entre 130 °C y 180 °C y el tiempo de sobreenvejecimiento es entre 100 s y 600 s.

3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** la lámina se enfría a la temperatura de temple QT, de modo que la estructura final satisface una o más de las siguientes condiciones:

- el contenido de martensita es de al menos el 65 %,
- el contenido de austenita retenida es de al menos el 20 %,
- la suma de ferrita y bainita es inferior al 5 %.

4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la lámina está revestida adicionalmente.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la lámina se reviste con un revestimiento por inmersión en caliente con o sin aleación, donde el recubrimiento se realiza antes de enfriar la lámina a temperatura ambiente.

6. Una lámina de acero de alta elasticidad hecha de acero cuya composición química contiene en porcentaje en peso:

$$0.1\% \leq C \leq 0.4\%$$
$$4.5\% \leq Mn \leq 5.5\%$$
$$1\% \leq Si \leq 3\%$$
$$0.2\% \leq Mo \leq 0.5\%$$

el resto son Fe e impurezas inevitables, el acero tiene una estructura que contiene más del 50 % de martensita, más del 10 % de austenita retenida, menos del 10 % de la suma de ferrita y bainita y no hay segregación central cuando se observa con microscopio óptico.

7. La lámina de acero de alta elasticidad según la reivindicación 6, **caracterizada porque** la composición química del acero es tal que:

$0.15\% \leq C \leq 0.25\ \%$,
$1.4\% \leq Si \leq 1.8\%$,
$0.2\% \leq Mo \leq 0.35\%$.

8. Lámina de acero de alta elasticidad según las reivindicaciones 6 y 7, **caracterizada porque** la resistencia de rendimiento YS es mayor o igual que 1000 MPa, la resistencia elástica es mayor o igual que 1300 MPa, el alargamiento uniforme UE es mayor o igual que el 10 %, el alargamiento total es mayor o igual que el 13 % y la relación de expansión de orificio HER es mayor o igual que el 15 %.

9. Lámina de acero de alta elasticidad según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizada porque** la estructura satisface una o más de las siguientes condiciones:

- el contenido de martensita es de al menos el 65 %,
- el contenido de austenita retenida es de al menos el 20 %,
- la suma de ferrita y bainita es inferior al 5 %.

10. La lámina de acero de alta elasticidad según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, **caracterizada porque** al menos una cara de la lámina está revestida.