

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 008 936**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) C22C 38/20	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01) C22C 38/24	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01) C22C 38/38	(2006.01)
C23C 2/06	(2006.01) B32B 15/01	(2006.01)
C23C 2/12	(2006.01) C21D 9/46	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01) C23C 2/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) C23C 2/40	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	
C22C 38/12	(2006.01)	
C22C 38/16	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.05.2017 PCT/IB2017/000591**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.11.2017 WO17203341**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2017 E 17727946 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2024 EP 3464661**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de lámina de acero TWIP que tiene una matriz austenítica**

30 Prioridad:

24.05.2016 WO PCT/IB2016/000702

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

25.03.2025

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL (100.00%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:

**CHARBONNIER, NICOLAS;
ALLAIN, SEBASTIEN;
THEYSSIER, MARIE-CHRISTINE y
PETITGAND, GÉRARD**

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 3 008 936 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 la fabricación de lámina de acero TWIP que tiene una matriz austenítica

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de una lámina de acero TWIP que tiene una matriz austenítica. La invención es particularmente adecuada para la fabricación de vehículos automóviles

10 Con vistas a ahorrar peso en los vehículos, se conoce el uso de aceros de alta resistencia para la fabricación de vehículos automóviles. Por ejemplo, para la fabricación de piezas estructurales, se deben mejorar las propiedades mecánicas de dichos aceros. Sin embargo, incluso si se mejora la resistencia del acero, el alargamiento y, por lo tanto, la conformabilidad de los aceros de alta resistencia disminuyen. Para superar estos problemas, han aparecido aceros de plasticidad inducida por maclado (aceros TWIP) que tienen una buena conformabilidad. Incluso si el producto muestra una muy buena conformabilidad, las propiedades mecánicas, tales como la resistencia de tracción máxima y el límite elástico pueden no ser lo suficientemente altas para cumplir con la aplicación automotriz.

15 La solicitud de patente US2006278309 divulga una lámina de acero austenítico de hierro/carbono/manganeso laminada en caliente, cuya resistencia es superior a 900 MPa, cuyo producto (resistencia (en MPa)*alargamiento a la fractura (en %)) es superior a 45000 y cuya composición química comprende, expresándose los contenidos en peso: $0,5\% \leq C \leq 0,7\%$, $17\% \leq Mn \leq 24\%$, $Si \leq 3\%$, $Al \leq 0,050\%$, $S \leq 0,030\%$, $P \leq 0,080\%$, $N \leq 0,1\%$, y, opcionalmente, uno o más elementos, tales que: $Cr \leq 1\%$, $Mo \leq 0,40\%$, $Ni \leq 1\%$, $Cu \leq 5\%$, $Ti \leq 0,50\%$, $Nb \leq 0,50\%$ y $V \leq 0,50\%$, comprendiendo la composición además hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición, siendo la fracción recristalizada del acero superior al 75%, siendo la fracción superficial de carburos precipitados del acero inferior al 1,5% y el tamaño medio de grano del acero inferior a 18 μm .

25 En esta solicitud de patente, es posible obtener una lámina de acero austenítico de hierro/carbono/manganeso laminada en frío que tiene una resistencia superior a 950 MPa después de la laminación en frío. El grosor de la lámina de acero puede reducirse mediante la laminación en frío, no mediante una única etapa de laminación, sino mediante dos o más etapas, siendo cada una de las etapas de laminación seguida de una operación de recocido. El tamaño de grano antes de la última etapa de laminación y recocido no debe superar los 18 micrones, por temor a reducir la resistencia y la deformabilidad del producto final.

Sin embargo, la resistencia de esta lámina de acero austenítico no es lo suficientemente alta. De hecho, en los ejemplos, la resistencia máxima dentro del intervalo de la invención es de 1130 MPa.

35 US2006/0179638 divulga un procedimiento para la fabricación de un producto de acero, en particular una lámina o una tira de acero, en el que se produce una lámina o tira de acero a partir de acero que contiene (en % en peso): C: 1,00 %, Mn: 7,00 a 30,00 %, Al: 1,00 a 10,00 %, Si: 2,50 a 8,00 %, Al + Si: 3,50 a 12,00 %, B: 0,01 %, Ni: 8,00 %, Cu: 3,00 %, N: 0,60 %, Nb: 0,30 %, Ti: 0,30 %, V: 0,30 %, P: 0,01 % y hierro e impurezas inevitables como resto, a partir de cuya lámina o tira se produce posteriormente el producto de acero acabado mediante conformación en frío que tiene lugar a un grado de conformación en frío del 2 al 25 %.

40 Sin embargo, al aplicar este procedimiento, la resistencia a la tracción (Rm) obtenida después de un conformado en frío que tiene un grado entre 2 y 25% es muy baja. En efecto, los ejemplos muestran que la resistencia a la tracción es de 568 MPa como máximo con un grado de conformado en frío del 10%, es decir, entre 2 y 25. Además, en los ejemplos comparativos, la resistencia a la tracción es de 1051 MPa como máximo con un grado de conformado en frío del 50%. Además, los alargamientos uniformes caen muy rápidamente cuando el grado de conformado en frío es del 30 o 50%. Finalmente, el acero utilizado en los ejemplos, llamado acero ligero, tiene una cantidad muy baja de carbono (0,070%C) y una cantidad alta de Mn (25,9%Mn). Este acero es muy específico ya que el endurecimiento por acritud y las propiedades mecánicas, en particular el límite elástico, son muy bajos. Por lo tanto, este acero no es interesante para la industria del automóvil.

45 CN102418032 describe un procedimiento de fabricación de material de acero, en particular un proceso de preparación por recocido para mejorar la resistencia y alargamiento de un producto de lámina de acero con alto contenido de manganeso con plasticidad inducida por maclado (TWIP). Este procedimiento comprende una laminación en caliente seguido de una laminación en frío y un tratamiento térmico de la lámina laminada en caliente durante 2 a 4 rondas después del decapado, con una temperatura de tratamiento térmico de 800-1000 °C y una duración del tratamiento térmico de 10-30 minutos.

50 De acuerdo con los requisitos de producción, si la etapa (4) de laminación en frío y tratamiento térmico de la lámina laminada en caliente después del decapado se realiza durante tres rondas de proceso de laminación en frío y tratamiento térmico, las etapas de producción son las siguientes: la primera ronda de laminación en frío y tratamiento térmico comprende: laminar en frío la lámina laminada en caliente hasta 2,5-4 mm a temperatura ambiente, a continuación mantener la lámina laminada en frío en un horno de calentamiento a una temperatura de ajuste de 860-880 °C durante 10-15 minutos y enfriar al aire la lámina laminada en frío; posteriormente, la segunda ronda de laminación en frío y tratamiento térmico comprende: laminar en frío la lámina que ha sido laminada en frío y tratada térmicamente en la primera ronda hasta 1,0-2 mm, y a continuación mantener la lámina a una temperatura de ajuste

de 880-900 °C durante 10-15 minutos y enfriar al aire la lámina; posteriormente, la tercera ronda de laminación en frío y tratamiento térmico comprende: laminar en frío la lámina obtenida de la segunda ronda hasta 0,8-1,5 mm, y a continuación mantener la lámina a una temperatura de ajuste de 880-950 °C durante 10-30 minutos y enfriar la lámina con aire; de este modo, la lámina enfriada con aire es la lámina de acero TWIP acabada para su uso.

Sin embargo, en esta solicitud de patente, por un lado, no se menciona el porcentaje de la tasa de reducción realizada durante la laminación en frío, por otro lado, en una realización preferida, se realizan tres rondas de laminación en frío y proceso de tratamiento térmico, lo que da como resultado un tiempo de proceso prolongado y una disminución de las propiedades mecánicas. De hecho, el Ejemplo 1 obtenido después de tres rondas de laminación en frío y proceso de tratamiento térmico tiene una resistencia a la tracción (MPa) de solo 980 MPa y un alargamiento después de la fractura del 81%. KR20090070502A describe una lámina de acero con alto contenido de manganeso de alta resistencia y excelente trabajabilidad y un procedimiento para la fabricación de la misma

EP1878811 divulga un proceso de fabricación de una lámina de acero que ofrece buena resistencia al agrietamiento retardado, que comprende las etapas de:

- suministrar acero,
- fundir dicho acero en forma de semiproducto.
- recalentar dicho semiproducto
- realizar la laminación en caliente de dicho semiproducto hasta una temperatura de laminación final para obtener una lámina
- bobinar dicha lámina
- realizar opcionalmente laminación en frío y recocido,
- realizar al menos un tratamiento de remojo donde dicha lámina se remoja a una temperatura comprendida entre 250 y 900 grados C durante un tiempo t de al menos 15 segundos.

Sin embargo, el procedimiento descrito es un procedimiento muy específico que comprende un tratamiento de remojo en este extremo para obtener una buena resistencia al agrietamiento retardado. Además, no se menciona una laminación en frío después de la etapa de recocido. La única laminación en frío mencionada se realiza antes de la etapa de recocido. Además, no se menciona el porcentaje de tasa de reducción de la laminación en frío. Finalmente, la composición de acero comprende Al en una cantidad inferior o igual a 0,050%, lo cual es muy bajo. Por lo tanto, el objeto de la invención es resolver los inconvenientes anteriores proporcionando un procedimiento para la fabricación de una lámina de acero TWIP que tenga propiedades mecánicas mejoradas.

Este objetivo se logra proporcionando un procedimiento para la fabricación de una lámina de acero TWIP según la reivindicación 1. El procedimiento también puede comprender características de las reivindicaciones 2 a 16.

Para ilustrar la invención, se describirán diversas realizaciones y ensayos de ejemplos no limitativos, particularmente con referencia a las siguientes Figuras:

La Figura 1 ilustra una realización según la presente invención.

La Figura 2 ilustra otra realización según la presente invención.

Se definirán los siguientes términos:

- UTS: resistencia a la tracción máxima,
- UTS_{recocido} : resistencia a la tracción máxima obtenida después del recocido por recristalización,
- TE: alargamiento total,
- TE_{recocido} : alargamiento total obtenido después del recocido por recristalización y
- CR%: tasa de reducción de la segunda laminación en frío.

La invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero TWIP que consiste en las etapas definidas en la reivindicación 1.

Sin querer limitarse a ninguna teoría, parece que cuando se aplica el procedimiento según la presente invención, en particular cuando la tasa de reducción de la segunda laminación en frío satisface la ecuación A, es posible obtener una lámina de acero TWIP que tiene propiedades mecánicas mejoradas, especialmente una mayor resistencia.

En cuanto a la composición química del acero, el C juega un papel importante en la formación de la microestructura y las propiedades mecánicas. Aumenta la energía de falla de apilamiento y promueve la estabilidad de la fase austenítica. Cuando se combina con un contenido de Mn que varía de 13,0 a 25,0% en peso, esta estabilidad se logra para un contenido de carbono de 0,5% o superior. En caso de que haya carburos de vanadio, un alto contenido de Mn puede aumentar la solubilidad del carburo de vanadio (VC) en la austenita. Sin embargo, para un contenido de C superior a 1,2%, existe el riesgo de que la ductilidad disminuya debido, por ejemplo, a una precipitación excesiva de carburos de vanadio o carbonitruros. Preferiblemente, el contenido de carbono está entre 0,4 y 1,2%, más preferiblemente entre 0,5 y 1,0% en peso para obtener una resistencia suficiente.

El Mn es también un elemento esencial para aumentar la resistencia, para aumentar la energía de falla de apilamiento y para estabilizar la fase austenítica. Si su contenido es inferior al 13,0%, existe el riesgo de formación de fases

martensíticas, que reducen muy apreciablemente la deformabilidad. Además, cuando el contenido de manganeso es superior al 25,0%, se suprime la formación de maclas y, en consecuencia, aunque aumenta la resistencia, se degrada la ductilidad a temperatura ambiente. Preferiblemente, el contenido de manganeso está comprendido entre el 15,0 y el 24,0% y más preferiblemente entre el 17,0 y el 24,0% para optimizar la energía de falla de apilamiento y evitar la formación de martensita bajo el efecto de una deformación. Además, cuando el contenido de Mn es superior al 24,0%, el modo de deformación por maclamiento está menos favorecido que el modo de deformación por deslizamiento de dislocación perfecta.

El Al es un elemento particularmente eficaz para la desoxidación del acero. Al igual que el C, aumenta la energía de falla de apilamiento, lo que reduce el riesgo de formación de martensita de deformación, mejorando así la ductilidad y la resistencia a la fractura retardada. Sin embargo, el Al es un inconveniente si está presente en exceso en aceros que tienen un alto contenido de Mn, ya que el Mn aumenta la solubilidad del nitrógeno en el hierro líquido. Si hay una cantidad excesivamente grande de Al en el acero, el N, que se combina con el Al, precipita en forma de nitruros de aluminio (AlN) que impiden la migración de los límites de grano durante la conversión en caliente y aumentan muy apreciablemente el riesgo de aparición de grietas en la fundición continua. Además, como se explicará más adelante, debe estar disponible una cantidad suficiente de N para formar precipitados finos, esencialmente de carbonitruros. Preferiblemente, el contenido de Al es inferior o igual al 2,0%. Cuando el contenido de Al es superior al 4,0%, existe el riesgo de que se suprima la formación de maclas disminuyendo la ductilidad. Preferiblemente, la cantidad de Al es superior al 0,06%, ventajosamente superior al 0,1% y más preferiblemente superior al 1,0%.

En consecuencia, el contenido de nitrógeno debe ser de 0,1% o menos para evitar la precipitación de AlN y la formación de defectos de volumen (ampollas) durante la solidificación. Además, cuando se utilizan elementos capaces de precipitar en forma de nitruros, tales como vanadio, niobio, titanio, cromo, molibdeno y boro, el contenido de nitrógeno no debe superar el 0,1%.

La cantidad de V es de 0,1% a 2,5%, preferiblemente entre 0,1 y 1,0%. Preferiblemente, V forma precipitados. Preferiblemente, la fracción volumétrica de tales elementos en el acero es entre 0,0001 y 0,025%. Preferiblemente, los elementos de vanadio se localizan principalmente en posición intragranular. Ventajosamente, los elementos de vanadio tienen un tamaño medio inferior a 7 nm, preferiblemente entre 1 y 5 nm y más preferiblemente entre 0,2 y 4,0 nm.

El silicio es también un elemento eficaz para la desoxidación del acero y para el endurecimiento en fase sólida. Sin embargo, por encima de un contenido del 3%, reduce el alargamiento y tiende a formar óxidos indeseables durante ciertos procesos de ensamblaje, por lo que debe mantenerse por debajo de este límite. Preferiblemente, el contenido de silicio es inferior o igual al 0,6%.

El azufre y el fósforo son impurezas que fragilizan los límites de grano. Sus contenidos respectivos no deben superar el 0,030 y el 0,080% para mantener una ductilidad en caliente suficiente.

Se puede añadir boro hasta un 0,005%, preferiblemente hasta un 0,001%. Este elemento se segrega en los límites de grano y aumenta su cohesión. Sin querer limitarse a una teoría, se cree que esto conduce a una reducción de las tensiones residuales después del moldeado por prensado, y a una mejor resistencia a la corrosión bajo tensión de las piezas así moldeadas. Este elemento se segrega en los límites de grano austeníticos y aumenta su cohesión. El boro precipita, por ejemplo, en forma de borocarburos y boronitruros.

El níquel puede utilizarse opcionalmente para aumentar la resistencia del acero mediante endurecimiento por disolución. Sin embargo, es deseable, entre otras razones por costes, limitar el contenido de níquel a un contenido máximo de 1,0% o menos y preferiblemente entre menos de 0,3%.

Asimismo, opcionalmente, una adición de cobre con un contenido no superior al 5% es un medio para endurecer el acero por precipitación del metal cobre. Sin embargo, por encima de este contenido, el cobre es responsable de la aparición de defectos superficiales en la lámina laminada en caliente. Preferiblemente, la cantidad de cobre es inferior al 2,0%. Preferiblemente, la cantidad de Cu es superior al 0,1%.

El titanio y el niobio también son elementos que pueden utilizarse opcionalmente para conseguir el endurecimiento y el refuerzo mediante la formación de precipitados. Sin embargo, cuando el contenido de Nb o Ti es superior al 0,50%, existe el riesgo de que una precipitación excesiva pueda provocar una reducción de la tenacidad, lo que debe evitarse. Preferiblemente, la cantidad de Ti está comprendida entre el 0,040 y el 0,50% en peso o entre el 0,030% y el 0,130% en peso. Preferiblemente, el contenido de titanio está comprendido entre el 0,060% y el 0,40% y, por ejemplo, entre el 0,060% y el 0,110% en peso. Preferiblemente, la cantidad de Nb está por encima del 0,01% y, más preferiblemente, entre el 0,070 y el 0,50% en peso o entre el 0,040 y el 0,220%. Preferiblemente, el contenido de niobio está comprendido entre 0,090% y 0,40% y ventajosamente entre 0,090% y 0,200% en peso.

El cromo y el molibdeno pueden utilizarse como elementos opcionales para aumentar la resistencia del acero mediante endurecimiento por solución. Sin embargo, dado que el cromo reduce la energía de falla por apilamiento, su contenido no debe superar el 1,0% y preferiblemente está entre el 0,070% y el 0,6%. Preferiblemente, el contenido de cromo

está entre el 0,20 y el 0,5%. El molibdeno puede añadirse en una cantidad de 0,40% o menos, preferiblemente en una cantidad entre el 0,14 y el 0,40%.

Además, sin querer limitarnos a ninguna teoría, parece que los precipitados de vanadio, titanio, niobio, cromo y molibdeno pueden reducir la sensibilidad al agrietamiento retardado, y lo hacen sin degradar las propiedades de ductilidad y tenacidad. Así, preferiblemente, al menos un elemento elegido entre titanio, niobio, cromo y molibdeno en forma de carburos, nitruros y carbonitruros está presente en el acero.

Opcionalmente, se añade estaño (Sn) en una cantidad entre 0,06 y 0,2% en peso. Sin querer limitarnos a ninguna teoría, se cree que, puesto que el estaño es un elemento noble y no forma una película fina de óxido a altas temperaturas por sí mismo, el Sn precipita sobre una superficie de una matriz en un recocido antes de una galvanización por inmersión en caliente para evitar que un elemento prooxidante, tal como Al, Si, Mn o similar, se difunda en la superficie y forme un óxido, mejorando así la galvanizabilidad. Sin embargo, cuando la cantidad añadida de Sn es inferior a 0,06%, el efecto no es claro y un aumento de la cantidad añadida de Sn suprime la formación de óxido selectivo, mientras que cuando la cantidad añadida de Sn supera el 0,2%, el Sn añadido provoca que la fragilidad en caliente deteriore la trabajabilidad en caliente. Por tanto, el límite superior de Sn está limitado a 0,2% o menos.

El acero también puede comprender impurezas inevitables resultantes del desarrollo.

Según la presente invención, el procedimiento comprende la etapa A) de alimentación de un producto semielaborado, tal como por ejemplo bloques ("slabs" en inglés), bloques delgados o tiras de acero que tienen la composición descrita anteriormente, dicho bloque se moldea. El material de entrada moldeado se calienta hasta una temperatura superior a 1000°C, más preferiblemente superior a 1050°C y ventajosamente entre 1100 y 1300°C o se utiliza directamente a dicha temperatura después de la fundición, sin enfriamiento intermedio.

La laminación en caliente se realiza a continuación a una temperatura preferiblemente superior a 890°C, o más preferiblemente superior a 1000°C para obtener, por ejemplo, una tira laminada en caliente que tiene habitualmente un grosor de 2 a 5 mm, o incluso de 1 a 5 mm. Para evitar cualquier problema de agrietamiento por falta de ductilidad, la temperatura de fin de laminación es superior o igual a 850°C.

Después de la laminación en caliente, la tira debe bobinarse a una temperatura tal que no se produzca una precipitación significativa de carburos (esencialmente cementita ($(Fe,Mn)_3C$)), lo que daría como resultado una reducción de ciertas propiedades mecánicas. La etapa de bobinado C) se realiza a una temperatura inferior o igual a 580°C, preferiblemente inferior o igual a 400°C.

Se lleva a cabo una operación posterior de laminación en frío, seguida de un recocido por recristalización. Estas etapas adicionales dan como resultado un tamaño de grano más pequeño que el obtenido en tira banda laminada en caliente y, por lo tanto, dan como resultado propiedades de resistencia más altas. Por supuesto, debe llevarse a cabo si se desea obtener productos de grosor más pequeño, que oscilan por ejemplo entre 0,2 mm y algunos mm de grosor y preferiblemente de 0,4 a 4 mm.

Un producto laminado en caliente obtenido mediante el proceso descrito anteriormente se lamina en frío después de haber realizado una posible operación previa de decapado de la manera habitual.

La primera etapa de laminación en frío D) se realiza con una tasa de reducción entre el 30 y el 70%, preferiblemente entre el 40 y el 60%.

Después de esta etapa de laminación, los granos están muy endurecidos y es necesario realizar una operación de recocido por recristalización. Este tratamiento tiene como efecto restaurar la ductilidad y al mismo tiempo reducir la resistencia.

Preferiblemente, este recocido se lleva a cabo de forma continua. El recocido por recristalización E) se realiza entre 700 y 900°C, preferiblemente entre 750 y 850°C, por ejemplo durante 10 a 500 segundos, preferiblemente entre 60 y 180 segundos.

Según la presente invención, el valor UTS de una lámina de acero obtenida después del recocido por recristalización se denomina $UTS_{recocido}$. Preferiblemente, después de la etapa E) de recocido por recristalización, la lámina de acero recocida tiene un $UTS_{recocido}$ superior a 800 MPa, preferiblemente entre 800 y 1400 MPa y más preferiblemente entre 1000 y 1400 MPa.

Preferiblemente, el valor de TE de una lámina de acero obtenida después del recocido por recristalización se denomina $TE_{recocido}$. En esta realización preferida, la lámina de acero tiene un $TE_{recocido}$ superior al 10%, preferiblemente superior al 15% y más preferiblemente entre el 30 y el 70%.

A continuación, se realiza la segunda laminación en frío con una tasa de reducción que satisface la ecuación A.

En una realización preferida, la segunda etapa de laminación en frío F) se realiza con una tasa de reducción CR% que satisface además la siguiente ecuación B:

$$\frac{CR\%}{18,2} \leq \ln \left(\frac{TE_{\text{recocido}} \%}{10} \right)$$

5

Sin querer limitarse a ninguna teoría, parece que cuando se aplica el procedimiento según la presente invención, en particular cuando la tasa de reducción de la segunda laminación en frío satisface además la ecuación anterior, es posible obtener una lámina de acero TWIP que tiene propiedades mecánicas aún mejores, especialmente un mayor alargamiento.

10

Preferiblemente, la segunda etapa de laminación en frío F) se realiza con una tasa de reducción de entre el 1 y el 50%, preferiblemente entre el 1 y el 25% o entre el 26 y el 50%. Permite la reducción del grosor del acero. Además, la lámina de acero fabricada según el procedimiento mencionado anteriormente, puede tener una resistencia incrementada a través del endurecimiento por deformación al someterse a una etapa de relaminación. Adicionalmente, esta etapa induce una alta densidad de maclas mejorando así las propiedades mecánicas de la lámina de acero.

15

Después de la segunda laminación en frío, se puede realizar una etapa G) de recubrimiento por inmersión en caliente. Preferiblemente, la etapa G) se realiza con un baño a base de aluminio o un baño a base de cinc.

20

En una realización preferida, la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente se realiza con un baño a base de aluminio que comprende menos del 15 % de Si, menos del 5,0 % de Fe, opcionalmente del 0,1 al 8,0 % de Mg y opcionalmente del 0,1 al 30,0 % de Zn, siendo el resto Al.

En otra realización preferida, la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente se realiza con un baño a base de zinc que comprende 0,01-8,0% de Al, opcionalmente 0,2-8,0% de Mg, siendo el resto Zn.

25

El baño de fusión puede comprender también impurezas y elementos residuales inevitables procedentes de los lingotes de alimentación o del paso de la lámina de acero en el baño de fusión. Por ejemplo, las impurezas opcionales se eligen entre Sr, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, La, Ce, Cr, Zr o Bi, siendo el contenido en peso de cada elemento adicional inferior al 0,3% en peso. Los elementos residuales procedentes de los lingotes de alimentación o del paso de la lámina de acero en el baño de fusión pueden ser hierro con un contenido de hasta el 5,0%, preferiblemente el 3,0%, en peso.

30

Por ejemplo, se puede realizar una etapa de recocido después de la deposición del revestimiento para obtener una lámina de acero galvanizado y recocido.

35

De esta manera se obtiene una lámina de acero TWIP que tiene una resistencia a la tracción máxima (UTS) superior a 1200 MPa, preferiblemente entre 1200 y 1600 MPa. Preferiblemente, el alargamiento total (TE) es superior al 10%, más preferiblemente superior al 15% y más preferiblemente entre el 15 y el 50%.

40

Ejemplo

En este ejemplo, se utilizaron láminas de acero TWIP que tenían la siguiente composición de peso:

Grado	C%	Si%	Mn%	P%	Cr%	Al%	%Cu	%V	%N
1	0,595	0,205	18,3	0,035	-	0,782	1,7	0,18	0,01
2	0,88	0,508	17,96	0,03	0,109	2,11	0,15	0,093	0,0044
3	0,876	0,502	17,63	0,032	0,108	2,78	0,149	0,384	0,0061
4	1,04	0,505	17,69	0,034	0,108	2,8	0,147	0,447	0,0069

45

En primer lugar, las muestras se calentaron y se laminaron en caliente a una temperatura de 1200 °C. La temperatura de acabado de la laminación en caliente se fijó en 890 °C y el bobinado se realizó a 400 °C después de la laminación en caliente. A continuación, se realizó una primera laminación en frío con una relación de reducción de la laminación en frío del 50 %. A continuación, se realizó un recocido por recristalización a 750 °C durante 180 segundos. Se determinaron la UTS_{recocido} y el TE_{recocido} obtenidos después de la etapa de recocido por recristalización.

50

Posteriormente se realizó la 2ª laminación en frío con diferentes relaciones de reducción de laminación en frío. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla:

Ensayos	Grado	UTS _{recocido} (MPa)	TE (%)	2ª laminación en frío (%)	Se cumple	UTS (MPa)	Se cumple	TE (%)
---------	-------	-------------------------------	--------	---------------------------	-----------	-----------	-----------	--------

					la ecuación A		la ecuación B	
1	1	980	NR	11	No	1095	NR	NR
2*	1	980	NR	30	Sí	1425	NR	NR
3*	2	1053	67	15	Sí	1292	Sí	37
4*	2	1053	67	30	Sí	1476	Sí	16
5*	3	1100	36	15	Sí	1352	Sí	21
6*	3	1100	36	30	Sí	1659	No	7
7*	4	1140	37	15	Sí	1420	Sí	19
8*	4	1140	37	30	Sí	1741	No	8
*ejemplos según la presente invención; NR = no realizado								

Los resultados muestran que cuando se aplica el procedimiento según la presente invención, en particular cuando se satisface la ecuación A, las propiedades mecánicas de la lámina de acero TWIP mejoran considerablemente.

- 5 La figura 1 muestra el valor de UTS obtenido después de la segunda laminación en frío para los ensayos 1 a 8. Para los ensayos 2 a 8, la ecuación A se satisface, lo que significa que el UTS mejora considerablemente.

- 10 La figura 2 muestra el valor de TE obtenido después de la segunda laminación en frío para los ensayos 3 a 8. Para los ensayos 3, 4, 5 y 7, la ecuación B también se satisface, lo que significa que tanto la UTS como el TE mejoran considerablemente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de una lámina de acero TWIP que consiste en las siguientes etapas:

A. alimentar un desbaste que comprende en peso:

$$\begin{aligned} 0,5 < C < 1,2\%, \\ 13,0 \leq Mn < 25,0\%, \\ S \leq 0,030\%, \\ P \leq 0,080\%, \\ N \leq 0,1\%, \\ Si \leq 3,0\%, \\ 0,051\% \leq Al \leq 4,0\%, \\ 0,1 \leq V \leq 2,5\%, \end{aligned}$$

y de forma puramente opcional, uno o más elementos, tales como

$$\begin{aligned} Nb \leq 0,5\%, \\ B \leq 0,005\%, \\ Cr \leq 1,0\%, \\ Mo \leq 0,40\%, \\ Ni \leq 1,0\%, \\ Cu \leq 5,0\%, \\ Ti \leq 0,5\%, \\ 0,06 \leq Sn \leq 0,2\%, \end{aligned}$$

estando el resto de la composición formada por hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración,

B. Recalentar dicho bloque a una temperatura superior a 1000°C y laminarlo en caliente, siendo la temperatura final de laminación de al menos 850°C,

C. Una etapa de bobinado, realizada a una temperatura inferior o igual a 580°C,

D. Una primera laminación en frío, realizada con una tasa de reducción entre el 30 y el 70%,

E. Un recocido por recristalización, realizado entre 700 y 900°C, de manera que se obtenga una lámina de acero recocida que tenga una $UTS_{recocido}$ y

F. Una segunda laminación en frío con una tasa de reducción CR% que satisfaga la siguiente ecuación A:

$$1216,472 - 0,98795 * UTS_{recocido} \leq (-0,0008 * UTS_{recocido} + 1,0124) * CR\%^2 + (0,0371 * UTS_{recocido} - 29,583) * CR\%$$

G. Opcionalmente, se realiza un recubrimiento por inmersión en caliente después de dicha segunda laminación en frío.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la cantidad de Al es superior al 0,06% en el bloque.

3. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que la primera etapa de laminación en frío D) se realiza con una tasa de reducción entre el 40 y el 60%.

4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la $UTS_{recocido}$ obtenida después del recocido por recristalización es superior a 800 MPa.

5. Procedimiento, según la reivindicación 4, en el que la $UTS_{recocida}$ está entre 800 y 1400 MPa.

6. Procedimiento, según la reivindicación 5, en el que la $UTS_{recocido}$ está entre 1000 y 1400 MPa.

7. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el alargamiento total obtenido después del recocido por recristalización $TE\%_{recocido}$ es superior al 10%.

8. Procedimiento, según la reivindicación 7, en el que el $TE\%_{recocido}$ es superior al 15 %.

9. Procedimiento, según la reivindicación 8, en el que el $TE\%_{recocido}$ está entre el 30% y el 70%.

10. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la etapa F de la segunda laminación en frío se realiza con una tasa de reducción que satisface además la siguiente ecuación B:

$$\frac{CR\%}{18,2} \leq \ln \left(\frac{TE_{\text{recocido}} \%}{10} \right)$$

11. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la etapa de segunda laminación en frío se realiza con una tasa de reducción entre el 1 y el 50%.

12. Procedimiento, según la reivindicación 11, en el que la segunda laminación en frío se realiza con una tasa de reducción entre el 1 y el 25%.

13. Procedimiento, según la reivindicación 12, en el que la segunda laminación en frío se realiza con una tasa de reducción entre el 26 y el 50%.

14. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que se realiza un recubrimiento por inmersión en caliente con un baño a base de aluminio o un baño a base de zinc.

15. Procedimiento, según la reivindicación 14, en el que el baño a base de aluminio comprende menos de 15% de Si, menos de 5,0% de Fe, opcionalmente de 0,1 a 8,0% de Mg y opcionalmente de 0,1 a 30,0% de Zn, siendo el resto Al.

16. Procedimiento, según la reivindicación 14, en el que el baño a base de zinc comprende 0,01-8,0% de Al, opcionalmente 0,2-8,0% de Mg, siendo el resto Zn.

Figura 1

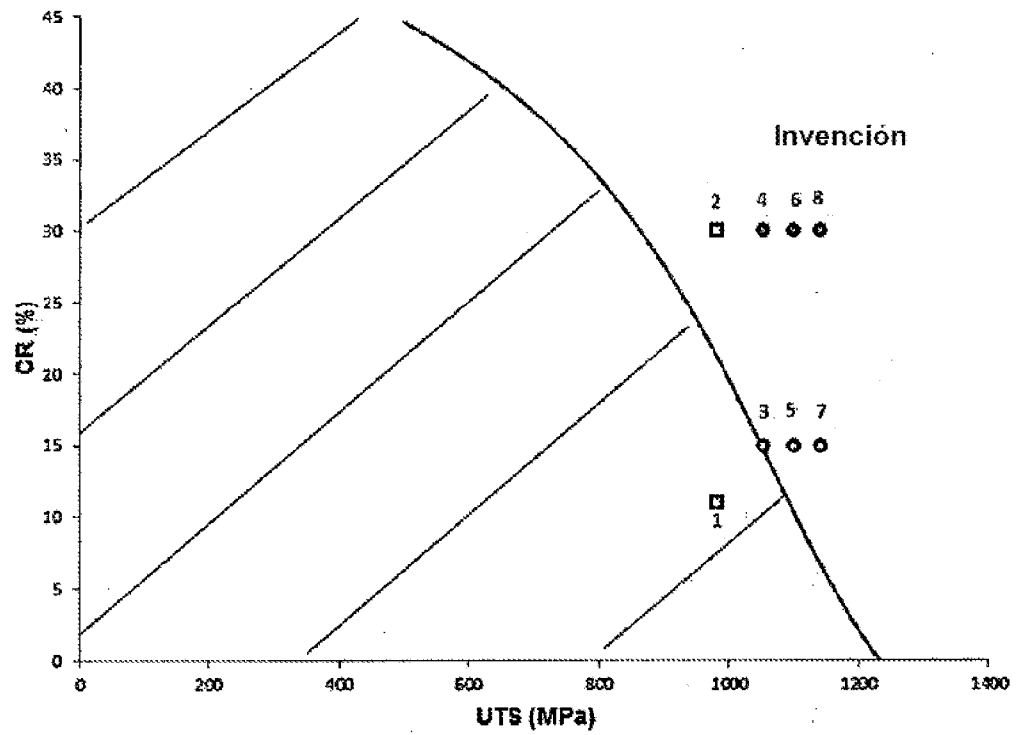


Figura 2

