

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 013 558**

51 Int. Cl.:

B23K 26/00	(2014.01) C22C 38/28	(2006.01)
B23K 26/34	(2014.01) C22C 38/36	(2006.01)
B23K 35/02	(2006.01) C22C 38/44	(2006.01)
B23K 35/30	(2006.01) C22C 38/46	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01) F16C 13/00	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) B23K 101/06	(2006.01)
C22C 38/18	(2006.01) B23K 103/04	(2006.01)
C22C 38/22	(2006.01) B23K 103/18	(2006.01)
C22C 38/24	(2006.01)	
C22C 38/26	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.10.2021 PCT/EP2021/078329**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **21.04.2022 WO22079108**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.10.2021 E 21790495 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2024 EP 4228847**

54 Título: **Método para fabricar un rodillo de trabajo mediante recubrimiento por láser**

30 Prioridad:

13.10.2020 EP 20201483

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

14.04.2025

73 Titular/es:

**CENTRE DE RECHERCHES MÉTALLURGIQUES
ASBL -CENTRUM VOOR RESEARCH IN DE
METALLURGIE VZW (100.00%)
Rue Ravenstein 4
1000 Bruxelles, BE**

72 Inventor/es:

**WALMAG, GISÈLE;
ESSER, GRÉGORY y
SINNAEVE, MARIO**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 3 013 558 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

Método para fabricar un rodillo de trabajo mediante recubrimiento por láser

5 **Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere al campo de los rodillos de trabajo de fabricación destinados a molinos de laminación de en caliente, y preferentemente destinados a molinos de laminación de bandas. La invención se refiere más específicamente a un método para la fabricación de un rodillo de molino de laminación en caliente mediante recubrimiento por láser de un sustrato de núcleo de acero reutilizable que presenta un eje de simetría rotacional con una capa externa de recubrimiento metálico según el preámbulo de la reivindicación 1 (ver, por ejemplo, el documento n.º EP 3 006 124 A1).

Técnica anterior

15 Con el fin de conseguir la alta productividad y requisitos de calidad superficial de sus clientes, los fabricantes de rodillos de trabajo para molinos de laminación se han centrado en explorar diferentes materiales sometidos a especificaciones cada vez más exigentes. Bajo condiciones operativas en caliente normales, la mesa del rodillo de trabajo debe resistir la fatiga por desgaste y fatiga térmica en caliente inducida por la periodicidad de su rápido enfriamiento y recalentamiento en cada revolución del rodillo. Dichos rodillos, que resultan necesarios para disponer de una resistencia muy resistente y resistente al desgaste, a la vez que presentan un núcleo dúctil, pueden fabricarse mediante diversas técnicas, entre ellas el moldeo por centrifugación, que es el método convencional, el recubrimiento por láser o la metalurgia de polvos mediante prensado isostático en caliente de una capa formada sobre un núcleo de acero.

25 El recubrimiento por láser es una tecnología de procesamiento de superficies que implica el depósito de un material de naturaleza diferente sobre un sustrato metálico utilizando un haz de láser. Los consumibles de recubrimiento se depositan en forma de alambre o de polvos transportados por un gas inerte, inyectados en el charco fundido, ya sea lateralmente o sea coaxialmente al haz láser, fundidos y consolidados mediante la utilización del láser, con el fin de recubrir parte del sustrato. Con frecuencia se utilizan para mejorar las propiedades mecánicas, para proporcionar una mayor resistencia al desgaste, resistencia al calor o una mayor dureza, o para incrementar la resistencia a la corrosión.

30 Los rodillos de trabajo para los molinos de laminación en caliente (HSM, por sus siglas en caliente) normalmente se fabrican utilizando el método de laminado por centrifugación seguido de un tratamiento térmico. El rodillo está constituido por un núcleo de hierro o acero moldeado o forjado con una capa externa de un grado de acero altamente aleado, cuya composición comprende un alto contenido de carbono, Mn, Si y elementos generadores de carburo, tales como W, Mo, V, Cr, Co, etc.

35 El documento n.º EP 0 070 773 A1 se refiere a un método para el recubrimiento por láser de unos polvos de HSS, es decir, unos polvos de acero rápido, en rodillos de molino realizados en acero suave. Los polvos de HSS presentan la composición general (máscica) siguiente: 0,5 % a 2,6 % de C, 0,2 % a 1,7 % de Mn, 0,2 % a 1,4 % de Si, $\leq 0,2$ % de S, 2 % a 14 % de Cr, ≤ 12 % de Mo, ≤ 20 % de W, ≤ 10 % de V, ≤ 16 % de Co, con la suma de W, V, Mo y Co ≥ 3 . Se dan a conocer en dicho documento tipos utilizables adicionales de HSS con intervalos elementales típicos, p. ej., aceros de Cr-W, aceros de Cr-Mo y aceros de Cr-W-Mo. El grosor de recubrimiento habitual es, p. ej., de aproximadamente 15 mm. Después del recubrimiento se lleva a cabo un tratamiento de temple para precipitar los carburos (reblandecimiento de la matriz y alivio de las tensiones).

40 Además, los documentos *Scandella F.*: "Développement d'un acier rapide pour le revêtement de cylindres de laminage à chaud", *Soudage et Technique Connexes*, marzo-abril de 2010, páginas 35 a 46, y n.º EP 0 533 929 A1 se refieren, además, al desarrollo de aceros rápidos que se utilizan como materiales de recubrimiento para rodillos de molino (rodillos de trabajo en caliente) y para rodillos compuestos para la utilización en laminación.

45 La composición de recubrimiento de rodillo dada a conocer en el documento n.º EP 3 006 124 B1 es similar a la composición de aleación general con los intervalos elementales de C, Si, Mn, Cr, Mo, Nb y V de Scandella F. (*ibidem*), y con una superposición significativa de los intervalos de W y Ti, y a la composición dada a conocer en varios ejemplos del documento n.º EP 0 533 929 A1.

50 Sin embargo, la materia objeto del documento n.º EP 3 006 124 B1 difiere del método conocido de los tres documentos anteriormente indicados en el aspecto de que propone un recubrimiento por láser asistido por inducción, es decir, la utilización de una cabezal de recubrimiento que combina el calentamiento por inducción con un procedimiento de recubrimiento por láser, lo que permite precalentar el sustrato, proporcionando de esta manera un procedimiento de recubrimiento por láser más eficiente, con una tasa de depósito más alta y un tratamiento de temple reducido.

55 El documento de Brückner F. et al., "Innovations in laser cladding and direct metal deposition", *High Power Laser Materials Processing: Lasers, Beam Delivery, Diagnostics, and Applications*, SPIE, 1000 20th St. Bellingham, WA, EE. UU. (2012), vol. 8239, n.º 1, páginas 1 a 6, describe el recubrimiento por láser asistido por inducción con tasas de depósito elevadas, de hasta 18 kg/h, sobre componentes cilíndricos de gran tamaño. Sin embargo, dicho documento

no menciona específicamente rodillos de molino de laminación y se refiere en el caso del recubrimiento por láser asistido por inducción meramente a aleaciones de recubrimiento basadas en Co (Stellite 20) y en Ni (INCONEL 625). Los aceros HSS en general, o incluso la aleación de recubrimiento del documento n.º EP 3 006 124 A1, no se dan a conocer en dicho documento.

5 El documento n.º US 2014/345353 A1 da a conocer un rodillo compuesto moldeado por centrifugación para laminación en caliente que comprende una capa externa que presenta una composición que comprende en masa entre 0,8 % y 3,5 % de C, entre 0,1 % y 2,5 % de Si, entre 0,1 % y 2,5 % de Mn, entre 1,2 % y 15 % de Cr, entre 1 % y 5 % de Ni, y entre 1 % y 10 % de Mo+0,5xW, en donde el balance es sustancialmente Fe e impurezas inevitables, y una capa interna realizada en una aleación basada en hierro y fusionada integralmente con la capa externa; la capa externa presenta una dureza Shore de entre 67 y 82 en el diámetro inicial del rodillo compuesto y la dureza Shore máxima de la capa externa aproximadamente a 30 mm o más de profundidad desde el diámetro inicial es superior en 1 o más a la dureza Shore de la capa externa en el diámetro inicial.

15 En el documento n.º JP2020022989A, se pretende proporcionar un material de capa exterior de un rodillo compuesto para moldeo por centrifugación para la laminación que resulta excelente en su resistencia al desgaste y resistencia a la rugosidad superficial, y proporcionar un rodillo compuesto de moldeo por centrifugación para la laminación producido mediante adherencia por fusión e integración de una capa exterior compuesta del material de capa exterior y una capa interior. Por lo tanto, se proporciona un material de capa exterior de un rodillo compuesto para laminación por centrifugación para la laminación que comprende una aleación de Fe, en masa, que consiste en 1,50 % a 2,70 % de C, 0,3 % a 3 % de Si, 0,1 % a 3 % de Mn, 0,1 % a 2,5 % de Ni, 4,0 % a 7,0 % de Cr, 4,1 % a 8,0 % de Mo, 5,0 % a 10,0 % de V, 0 % a 0,4 % de W, 0,1 % a 3,0 % de Nb, 0,005 % a 0,15 % de N, 0 % a 0,05 % de B, en donde el balance consiste sustancialmente en Fe e impurezas inevitables, y que se caracteriza porque la proporción entre el contenido de V (% en masa) y el contenido de Nb (% en masa) es de entre 1 y 20,0, y el balance de C mostrado en la relación siguiente es de 0 a 0,28: $\text{bal-C} = \%C - 0,2x\%V - 0,06x\%Cr - 0,063x\%Mo - 0,033x\%W - 0,13x\%Nb$.

Objetivos de la invención

30 La invención tiene el objetivo de proporcionar rodillos de trabajo destinado a molinos de laminación en caliente que presentan un recubrimiento realizado en capas de recubrimiento de resistencia muy elevada (en términos de grietas, porosidades y oxidación).

35 La invención particularmente presenta el objetivo de proporcionar un método para la fabricación de un rodillo de molino de laminación, donde la tasa de recubrimiento y la calidad del recubrimiento (es decir, en términos de microestructura y tamaño de las grietas) han mejorado simultáneamente.

40 La invención también tiene el objetivo de proporcionar un método de recubrimiento de larga duración para rodillos de trabajo, así como propiedades mecánicas mejoradas de las capas de recubrimiento por láser (p. ej., resistencia a la fatiga térmica y degradación superficial).

Sumario de la invención

45 La presente invención se refiere a un método para la fabricación de un rodillo de molino de laminación en caliente para el recubrimiento por láser de un sustrato de núcleo de acero reutilizable que presenta un eje de simetría rotacional con una capa exterior de recubrimiento metálico tal como se define en la reivindicación 1, en donde dicha capa externa de recubrimiento metálico presenta una composición de acero para herramienta de trabajo y el método comprende las etapas de:

50 - rotación del sustrato reutilizable en torno a su eje de simetría rotacional,
 - realización de un recubrimiento por láser sobre el sustrato en rotación, mediante la formación de un charco de fundido sobre la superficie del sustrato en rotación mediante un haz láser y fijación de la capa de recubrimiento mediante alimentación de un material de polvos en el charco de fundido inducido por láser,
 - sometimiento del sustrato recubierto a un tratamiento térmico posterior al recubrimiento,

55 en donde la composición para dicha capa exterior de recubrimiento metálico comprende entre 0,5 % y 3,5 % de C, entre 2 % y 18 % de Cr, entre 0,5 % y 7 % de Mo, entre 0,5 % y 8 % de V, entre 0,2 % y 7 % de W, entre 0 % y 5 % de Nb, entre 0 % y 1 % de Ti, entre 0,5 % y 2 % de Mn, entre 0,2 % y 3 % de Si y entre 0 % y 3 % de Ni, en donde el resto es Fe e impurezas inevitables,

en donde se lleva a cabo un precalentamiento del sustrato mediante un cabezal de recubrimiento que combina el calentamiento por inducción con un procedimiento de recubrimiento por láser,

60 en donde la tasa de recubrimiento está comprendida en el intervalo de entre 2,35 kg/h y 18 kg/h, y

en donde dicha capa de recubrimiento exterior está constituida por múltiples subcapas de recubrimiento añadidas y presenta un grosor total comprendido entre 1 y 30 mm, en donde el grosor de cada subcapa de recubrimiento externa individual está comprendido entre 0,1 y 2,5 mm, en donde el método comprende, además:

65 - la selección de una composición para dicha capa externa de recubrimiento metálico que comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad comprendida en el intervalo de entre 200 y 2500 ppm, de manera que se incrementa la resistencia a la abrasión y en la que la suma de los contenidos atómicos (% en masa) de elementos

formadores de carburo CM, seleccionados del grupo que consiste en Ti, Nb y V, +3/8 de la suma de los contenidos atómicos (% en masa) de elementos formadores de $M_{23}C_6$ y/o M_2C , seleccionados del grupo que consiste en Mo, W y Cr, es inferior a la suma de los contenidos atómicos (% en masa) de los elementos intersticiales C y N, +0,01, de manera que se alcanza una dureza homogénea en el caso de un recubrimiento multicapa,

- 5 - el secado o calentamiento de los polvos utilizados para el recubrimiento, bajo control estricto de la humedad ambiental y realizando el procedimiento de recubrimiento bajo una atmósfera protectora controlada, de manera que se obtiene un contenido final de hidrógeno en la capa exterior de recubrimiento metálico inferior a 1 ppm, permite la supresión de grietas.
- 10 Según realizaciones preferentes de la invención, el método está adicionalmente limitado a una o una combinación adecuada de las características siguientes:
- la composición de dicha capa exterior de recubrimiento metálico comprende nitrógeno en una cantidad comprendida en el intervalo de entre 200 y 400 ppm,
 - el punto de rocío ambiental durante el recubrimiento es de entre -5 °C y +15 °C,
 - 15 - la atmósfera protectora controlada está compuesta de N_2 o Ar,
 - la potencia del láser se fija en un valor comprendido en el intervalo de entre 10 y 80 W/mm²,
 - el método comprende una etapa preliminar de preparación del sustrato reutilizable mediante limpieza y/o mecanización de la superficie del sustrato reutilizable,
 - la rugosidad superficial del sustrato antes del recubrimiento está comprendida entre 1 y 8 μ m,
 - 20 - se aplica un desengrasado superficial antes del recubrimiento para obtener menos de 1 mg/m² de carbono orgánico superficial a fin de reducir la producción de humos durante el recubrimiento a alta temperatura y para reducir adicionalmente la oxidación del recubrimiento,
 - la composición de dicha capa exterior de recubrimiento metálico comprende, además, nitrógeno en el intervalo de entre 200 y 1500 ppm,
 - 25 - el precalentamiento del sustrato se lleva a cabo en el intervalo de entre 20 °C y 500 °C, y preferentemente en el intervalo de entre 200 °C y 300 °C,
 - el tratamiento térmico posterior al recubrimiento es un enfriamiento controlado, o un tratamiento de temple que comprende un calentamiento hasta una temperatura comprendida en el intervalo de entre 500 °C y 650 °C seguida de un mantenimiento a esta temperatura durante un tiempo comprendido entre 2 y 5 horas, con el fin de reblandecer la martensita y los carburos precipitados,
 - 30 - la composición del núcleo de acero comprende entre 0,2 % y 0,5 % de C y entre 0,5 % y 5 % de Cr, entre 0 % y 1 % de Mo, entre 0 % y 1 % de Mn y entre 0 % y 0,4 % de Si, siendo el resto de Fe y las impurezas inevitables,
 - la composición del núcleo de acero comprende 0,4 % de C y entre 1 % y 2 % de Cr.

35 Descripción de realizaciones preferentes de la invención

La presente invención se refiere a un método de recubrimiento por láser mejorado para el recubrimiento de un rodillo que presenta un sustrato de núcleo (o eje o husillo) de acero con el depósito de una "capa" de acero para herramienta de trabajo en caliente o en frío, que puede obtenerse a partir de subcapas sucesivas. Los aceros para herramientas utilizados son similares a los grados de rodillo de trabajo HSS y/o con un contenido de carburo más alto.

Los inventores han estudiado ampliamente diversas opciones para permitir la aplicación industrial completa y la mejora del método de fabricación mediante recubrimiento por láser de rodillos de molino de laminación descrito en el documento n.º EP 3 006 124 B1.

Varios parámetros influyen en la integridad de las capas recubiertas por láser, caracterizadas por un número reducido (o nulo) de grietas, porosidades y oxidación. La porosidad debería ser inferior a la observada en productos obtenidos mediante laminación por centrifugación medida mediante el método DGS (por sus siglas en inglés, tamaño de aumento de distancia) tal como se describe en la norma ISO 16811:2012(en) (Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Sensitivity and range setting) [Ensayos no destructivos. Ensayos con ultrasonidos. Sensibilidad y configuración de intervalos] y la norma ISO 5577:2017(en) (Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Vocabulary) [Ensayos no destructivos. Ensayos con ultrasonidos. Vocabularios].

En la interfaz entre la capa recubierta por láser y el sustrato, no se acepta ningún defecto mayor que el DGS (medio) de 4 mm. En la capa recubierta por láser, no se acepta ningún defecto mayor que el DGS (medio) de 0,5 mm, con un máximo de 5 indicaciones <4 mm en una superficie de 10 cm x 10 cm.

Según algunas realizaciones de la presente invención:

- el contenido de hidrógeno de las capas recubiertas por láser es inferior a 1 ppm,
- 60 - el contenido de hidrógeno de los polvos utilizados para el recubrimiento es inferior a 1 ppm, gracias al secado o calentamiento preliminar de los polvos,
- el punto de rocío ambiental durante el recubrimiento es de entre -5 °C y +15 °C,
- el enfriamiento o calentamiento posterior al recubrimiento está controlado,
- el sustrato es precalentado,
- 65 - la potencia del láser está comprendida en el intervalo de entre 10 y 80 W/mm².

ES 3 013 558 T3

En particular, el contenido de hidrógeno debe ser lo más bajo posible durante todo el procedimiento. En la presente aplicación de aceros difíciles de soldar, el hidrógeno podría causar el debilitamiento en los límites de grano y, de esta manera, producir grietas, lo que debe evitarse en la presente invención.

5 Podría haber hidrógeno presente en trazas de agua o en el ambiente y en la humedad de los polvos de recubrimiento. De esta manera, según la invención, los polvos de recubrimiento se secan o se calientan, y se controla estrictamente la humedad ambiental, y además el procedimiento de recubrimiento se lleva a cabo bajo una atmósfera protectora controlada, preferentemente compuesta de N₂ o Ar.

10 Además, algunos parámetros deberían presentar valores que tienen un efecto positivo sobre un recubrimiento de larga duración. Según algunas realizaciones de la invención:

- la rugosidad superficial del sustrato está comprendida entre 0,2 y 8 μm,
- se aplica un desengrasado superficial antes del recubrimiento a fin de obtener menos de 1 mg/m² de carbono orgánico superficial. Es muy importante realizar un desengrasado adecuado, ya que la producción de humos durante el recubrimiento a alta temperatura conduciría a una oxidación perjudicial del recubrimiento.

20 Finalmente, varios parámetros más particularmente influyen sobre las propiedades mecánicas de las capas recubiertas por láser. Una característica esencial de la presente invención es que la composición de las capas de recubrimiento deben cumplir una relación especial que depende de la proporción de carbono (o más generalmente, de los elementos intersticiales)/elementos generadores de carburo.

Según algunas realizaciones de la invención:

- con el fin de conseguir una dureza homogénea en un recubrimiento multicapa, debe cumplirse una relación (es decir, una inecuación) específica entre elementos intersticiales y los elementos formadores de carburo. Según la invención, el contenido atómico (% en masa) de elementos formadores de carburo CM (tales como Ti, Nb, V, Ta, etc.) + 3/8 del contenido atómico (% en masa) de elementos formadores de M₂₃C₆ y/o M₂C (tales como Mo, W, Cr, etc.) debe ser inferior al contenido atómico (%) de los elementos intersticiales (tales como C, N, B, etc.) + 0,01,
- el contenido de Mn es de entre 0 % y 2 % y el contenido de W es de entre 0,2 % y 7 %,
- se proporciona una resistencia incrementada a la abrasión mediante la adición de nitrógeno en el intervalo de entre 200 y 2500 ppm, y preferentemente comprendida en el intervalo de entre 200 y 400 ppm.

35 La relación anterior entre los elementos formadores de carburo y los elementos intersticiales se ilustra en la Tabla 1 para una serie de once aleaciones de recubrimiento obtenidas mediante la presente invención. Para cada caso, se comprobó la homogeneidad de la dureza y se comparó con el cumplimiento o no de la inecuación. La dureza se consideró homogénea si la desviación era inferior a 50HV (normas n.º EN ISO 6507-1 a 6507-4).

	(Ti+Nb+V)+3/8(Mo+W+Cr) (% atómico)		(C+N) (% atómico) + 0,01	Homogeneidad de la dureza
Aleación 1	0,0954	>	0,0939	No aceptable
Aleación 2	0,0954	<	0,0957	Aceptable
Aleación 3	0,1193	>	0,1189	No aceptable
Aleación 4	0,1193	<	0,1207	Aceptable
Aleación 5	0,1334	>	0,1139	No aceptable
Aleación 6	0,1334	>	0,1157	No aceptable
Aleación 7	0,1391	>	0,1165	No aceptable
Aleación 8	0,1396	<	0,1506	Aceptable
Aleación 9	0,1396	<	0,1524	Aceptable
Aleación 10	0,1432	<	0,1589	Aceptable
Aleación 11	0,1432	<	0,1607	Aceptable

ES 3 013 558 T3

Las características del método de recubrimiento por láser utilizado en la presente invención son las siguientes:

- elevada adhesión metalúrgica,
- baja o ninguna porosidad, y beneficio de una elevada tasa de enfriamiento que conduce a una microestructura muy fina,
- composición homogénea,
- grosor de recubrimiento: 0,1 a 2 mm por (sub)capa,
- se obtienen recubrimientos más gruesos mediante la adición de múltiples capas, y el grosor de la capa exterior total está comprendido entre 1 y 30 mm, y preferentemente es de aproximadamente 20 mm,
- la tasa de recubrimiento es de entre 2,35 kg/h y 18 kg/h con cabezales especiales (combinación de calentamiento por inducción con el procedimiento de recubrimiento por láser),
- precalentamiento del sustrato en caso necesario,
- tratamiento térmico posterior (p. ej., temple).

REIVINDICACIONES

1. Método para fabricar un rodillo de laminación en caliente mediante recubrimiento por láser de un sustrato de núcleo de acero reutilizable que presenta un eje de simetría rotacional con una capa externa de recubrimiento metálico, en donde dicha capa externa de recubrimiento metálico presenta una composición de acero para herramientas de trabajo, que comprende las etapas de:
- rotación del sustrato reutilizable en torno a su eje de simetría rotacional,
 - realización de un recubrimiento por láser sobre el sustrato en rotación, mediante la formación de un charco de fusión sobre la superficie del sustrato en rotación mediante un haz láser y fijación de la capa de recubrimiento mediante alimentación de un material de polvos al charco de fusión inducido por láser,
 - someter el sustrato recubierto a un tratamiento térmico posterior al recubrimiento, en donde la composición para dicha capa externa de recubrimiento metálico comprende 0,5 % a 3,5 % de C, 2 % a 18 % de Cr, 0,5 % a 7 % de Mo, 0,5 % a 8 % de V, 0,2 % a 7 % de W, 0 % a 5 % de Nb, 0 % a 1 % de Ti, 0,5 % a 2 % de Mn, 0,2 % a 3 % de Si y 0 % a 3 % de Ni, en donde el resto es Fe e impurezas inevitables, en donde el precalentamiento del sustrato se lleva a cabo mediante un cabezal de recubrimiento que combina el calentamiento por inducción con un procedimiento de recubrimiento por láser, en donde la velocidad de recubrimiento está comprendida en el intervalo de entre 2,35 kg/h y 18 kg/h, y en donde dicha capa de recubrimiento externo está constituida de múltiples subcapas añadidas de recubrimiento y presenta un grosor total comprendido entre 1 y 30 mm, en donde el grosor de cada subcapa de recubrimiento externo individual está comprendido entre 0,1 y 2,5 mm, caracterizado porque comprende, además, las etapas siguientes:
 - selección de una composición para dicha capa externa de recubrimiento metálico que comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad comprendida en el intervalo de entre 200 y 2500 ppm, de manera que se incrementa la resistencia a la abrasión y en la que la suma del contenido atómico (% en masa) de elementos formadores de carburos CM, seleccionados del grupo que consiste en Ti, Nb y V, $+3/8$ de la suma de contenidos atómico (% en masa) de elementos formadores de $M_{23}C_6$ y/o M_2C , seleccionados del grupo que consiste en Mo, W y Cr, es inferior a la suma de contenidos atómicos (% en masa) de los elementos intersticiales C y N, $+0,01$, de manera que se consigue una dureza homogénea en el caso de un recubrimiento multicapa,
 - secado o calentamiento de los polvos utilizados para el recubrimiento, bajo control estricto de la humedad ambiental y llevando a cabo un procedimiento de recubrimiento bajo una atmósfera protectora controlada, de manera que se obtiene un contenido final de hidrógeno en la capa externa de recubrimiento metálico inferior a 1 ppm, permitiendo suprimir las grietas.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la composición seleccionada para dicha capa externa de recubrimiento metálico comprende nitrógeno en una cantidad comprendida en el intervalo de entre 200 y 400 ppm.
3. Método según la reivindicación 1, en el que el punto de rocío ambiental durante el recubrimiento es de entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. Método según la reivindicación 1, en el que la atmósfera protectora controlada está compuesta de N_2 o Ar.
5. Método según la reivindicación 1, en el que la potencia del láser se ha fijado en un valor comprendido en el intervalo de entre 10 y 80 W/mm^2 .
6. Método según la reivindicación 1, que comprende una etapa preliminar de preparación del sustrato reutilizable mediante limpieza y/o mecanizado de la superficie del sustrato reutilizable.
7. Método según la reivindicación 6, en el que la rugosidad superficial del sustrato antes del recubrimiento es de entre 1 y $8\text{ }\mu\text{m}$.
8. Método según la reivindicación 6, en el que se aplica un desengrasado superficial antes de la operación de recubrimiento a fin de obtener menos de 1 mg/m^2 de carbono orgánico superficial a fin de reducir la producción de humos durante el recubrimiento a alta temperatura y, además, para reducir la oxidación del mismo.
9. Método según la reivindicación 1, en el que la composición para dicha capa externa de recubrimiento metálico comprende adicionalmente nitrógeno en una cantidad comprendida en el intervalo de entre 200 y 1500 ppm.
10. Método según la reivindicación 1, en el que el precalentamiento del sustrato se lleva a cabo a una temperatura comprendida en el intervalo de entre $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, y preferentemente comprendida en el intervalo de entre $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.
11. Método según la reivindicación 1, en el que el tratamiento térmico posterior al recubrimiento es un enfriamiento controlado, o un tratamiento de temple que comprende un calentamiento hasta una temperatura comprendida en el

ES 3 013 558 T3

intervalo de entre 500 °C y 650 °C, seguido de un mantenimiento a dicha temperatura durante un tiempo comprendido entre 2 y 5 horas, con el fin de reblandecer la martensita y los carburos precipitados.

5 12. Método según la reivindicación 1, en el que la composición del núcleo de acero comprende entre 0,2 % y 0,5 % de C y entre 0,5 % y 5 % de Cr, entre 0 % y 1 % de Mo, entre 0 % y 1 % de Mn y entre 0 % y 0,4 % de Si, en donde el resto es Fe y las impurezas inevitables.

13. Método según la reivindicación 12, en el que la composición del núcleo de acero comprende 0,4 % de C y entre 1 % y 2 % de Cr.