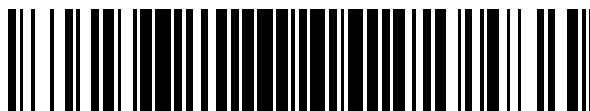


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 905**

51 Int. Cl.:
B23K 5/18 (2006.01)
B23K 9/04 (2006.01)
C23C 4/18 (2006.01)
C23C 26/02 (2006.01)
C23C 30/00 (2006.01)
C21D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04714692 .3**
96 Fecha de presentación: **26.02.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1597011**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.11.2005**

54 Título: **Un método de recubrimiento superficial duro de un miembro de acero y un miembro de acero endurecido mediante recubrimiento superficial duro**

30 Prioridad:
26.02.2003 AU 2003900883

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
03.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
03.04.2012

73 Titular/es:
**BRADKEN RESOURCES PTY LIMITED
2 MAUD STREET
MAYFIELD WEST, NEW SOUTH WALES, AU**

72 Inventor/es:
**MUIR, Darren y
MCCRACKEN, John**

74 Agente/Representante:
BALLESTER CAÑIZARES, Rosalia

ES 2 377 905 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

Ámbito de la invención

5 [0001] La presente invención se refiere a un método de recubrimiento superficial duro de un miembro de acero y un miembro de acero endurecido mediante recubrimiento superficial duro conforme a los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 17. Tal método y tal miembro de acero endurecido mediante recubrimiento superficial duro son conocidos por la patente EE.UU 6 374 704. En concreto, la invención se refiere a un método para el recubrimiento superficial duro de un producto de acero fundido o forjado que está sometido al desgaste en su uso, y fundamentalmente se describirá con referencia a este contexto. El método de la invención puede usarse en la producción de los miembros de acero endurecidos mediante recubrimiento superficial duro para todo tipo de explotación minera, ferrocarril y usos industriales.

Antecedentes de la Técnica

15 [0002] Los componentes de acero fundido o forjado para usar en material ferroviario, herramientas de minería y equipamiento y maquinaria industrial a menudo están sometidos a un desgaste excesivo y prematuro. El acero a partir del cual se fabrican estos componentes se elige normalmente por su disponibilidad y rentabilidad, y no necesariamente por una fuerza, dureza y resistencia óptimas contra el desgaste o la abrasión. Algunas aleaciones de acero tienen una microestructura mixta que no es propicia para usar en aplicaciones donde se requiere una gran fuerza, una gran resistencia a los impactos, y un reducido desgaste.

20 [0003] Se sabe "endurecer mediante recubrimiento superficial duro" los componentes de acero fundido o forjado de grado estándar mediante la soldadura de una matriz de material que incluye partículas duras, como las partículas de carburo de tungsteno, sobre una superficie del componente para proporcionar una capa exterior dura de material. Normalmente el carburo utilizado es un material de bajo coste proveniente de brocas y puntas prepulidas, y las partículas tienen un tamaño y forma aleatorios. Después de soldar en un proceso de recubrimiento superficial duro convencional, la región del componente de acero más cercana a la capa soldada a menudo está afectada por el calor, y puede tener una microestructura del metal diferente como resultado del calor aplicado durante la soldadura. Así, la superficie del componente puede volverse frágil y entonces perder dureza y resistencia a los impactos. Las grietas entre el componente de acero y el recubrimiento superficial exterior pueden propagarse bajo carga.

30 [0004] En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método de tratamiento de un miembro acero aleado que comprende los siguientes pasos: fijar mediante soldadura un recubrimiento superficial duro al miembro, el recubrimiento comprende una matriz de la aleación de soldadura y partículas duras en la matriz; calentar el producto por encima de la temperatura de austenización, enfriar el producto mediante inmersión en una solución acuosa para conseguir una estructura martensítica y revenir el producto y enfriar el producto, método mediante el cual se obtiene un producto de acero endurecido por recubrimiento superficial duro; caracterizado porque las partículas duras son redondeadas y sustancialmente de tamaño uniforme dentro del intervalo de aproximadamente 0,5 mm a aproximadamente 5 mm y porque la aleación de la matriz de soldadura es de la misma composición que el miembro de acero aleado, en el que el miembro de acero comprende una aleación de acero elegida a partir de un acero que comprende un acero aleado elegido a partir de un acero que tiene una composición por porcentaje de peso de:

- Carbono < aproximadamente 0,5%
- Manganeso < aproximadamente 1,2%
- 40 • Silicio < aproximadamente 2,0%
- Níquel < aproximadamente 3,0%
- Cromo < aproximadamente 2,5%
- Molibdeno < aproximadamente 1,0%

siendo el resto hierro, ingredientes incidentales y rastros de impurezas.

45 [0005] Si los extremos afilados de las partículas duras sobresalen de la superficie del recubrimiento duro, esto puede provocar la rotura o el astillamiento de estas partículas y también la posible erosión de la matriz de soldadura, lo que puede incrementar la tasa de desgaste del recubrimiento superficial duro.

50 [0006] Este tamaño uniforme permite una mejor densidad de empaquetamiento de las partículas duras en la matriz de soldadura del recubrimiento duro, de modo que pocas partículas, o ninguna, sobresaldrán de la superficie del recubrimiento duro, limitando así la posible erosión o la fractura de la matriz de soldadura.

[0007] Al utilizar aquí el término "miembro de acero" se incluye cualquier producto de acero fundido o cualquier tipo de producto de acero forjado, siendo los productos forjados formados mediante forja u otros procesos de formación

mecánica mientras se calientan. Tales productos pueden incluir una amplia variedad de componentes de muchas formas y tamaños, por ejemplo barras de acero, placas, pasadores, yugos, conectores, palas/cucharas, dientes de cuchillas, etc.

5 **[0008]** Al realizarse las fases de tratamiento térmico de endurecimiento y revenido tras la fase de soldadura, la microestructura del metal del miembro de acero puede transformarse de nuevo de forma que la microestructura del miembro en sí no se fragilice. Esto es así especialmente en la zona afectada por el calor localizada en la parte del miembro más cercana a la soldadura. La temperatura de austenización y la temperatura de revenido se seleccionan según la composición química del miembro de acero, como se describe a continuación con más detalle.

10 **[0009]** En general, el miembro se endurece calentándolo a una temperatura superior a la de austenización durante un intervalo mínimo calculado según el espesor del miembro.

[0010] En un modo de realización, la temperatura a la que se endurece el miembro es aproximadamente de 900-1000°C, y, una vez calentado, el miembro es enfriado mediante inmersión en una solución acuosa hasta que el miembro se enfría hasta la temperatura ambiente.

15 **[0011]** En general, el miembro se reviene calentándolo a la temperatura de revenido durante un intervalo mínimo calculado según el espesor del miembro.

[0012] En un modo de realización, la temperatura de revenido oscila entre aproximadamente 200°C y aproximadamente 650°C y el miembro se enfría tras el revendi mediante enfriamiento por inmersión en una solución acuosa hasta que el miembro se ha enfriado hasta la temperatura ambiente.

20 **[0013]** En un modo de realización, la sustancia particulada comprende partículas de un tamaño de diámetro de entre aproximadamente 0,5 milímetros y aproximadamente 5 milímetros. La sustancia particulada dura puede ser carburo de tungsteno sinterizado, o alternativamente la sustancia particulada dura puede ser carburo de tungsteno macrocristalino (o fundido).

25 **[0014]** La microestructura del metal de la región del miembro de acero cercano a la superficie puede alterarse en la fase de acoplamiento si se utiliza el calor, y puede dar lugar a una zona afectada por el calor en el miembro. Al llevar a cabo las fases de tratamiento térmico de endurecimiento y revenido después de la fase de acoplamiento del recubrimiento duro, la microestructura del metal del miembro de acero adyacente al recubrimiento resultante puede ser transformada para que no esté fragilizada o sea inferior. El enfriamiento por inmersión en una solución acuosa es una forma rápida de transformar de manera sustancial la microestructura del metal en martensita y de limitar la transformación incompleta en microestructuras no preferidas y de evitar la formación de propiedades no deseables asociadas con la fragilización del revenido. El enfriamiento de fluidos de otros tipos como aceite o incluso el aire ambiente no elimina el calor de las piezas de fundición de una forma tan rápida y uniforme como una solución acuosa.

30

35 **[0015]** El revenido del miembro llevado a cabo antes del recubrimiento superficial duro puede realizarse a una temperatura más elevada de la zona de fragilización del revenido del acero aleado que contiene cierta cantidad de metal de manganeso, cromo y níquel, que oscila típicamente entre 300°C-500°C. La temperatura del revenido que oscila entre aproximadamente 550°C y aproximadamente 700°C también es superior a la temperatura del revenido previa a la soldadura utilizada en los procesos de la técnica precedente de alrededor de 250°C-350°C. En este intervalo de temperaturas más altas, los inventores han descubierto que se produce un ablandamiento mayor, que sorprendentemente resulta en un refinamiento superior de la estructura del grano del metal y una mejor modificación de las tensiones residuales que los que se lograban a temperaturas de revenido y precalentamiento más bajas. En un modo de realización ventajoso, la temperatura de revenido utilizada antes del recubrimiento duro oscila entre aproximadamente 600°C y aproximadamente 650°C.

40

45 **[0016]** En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un miembro de acero endurecido por recubrimiento superficial duro, siendo el miembro de acero una pieza de fundición de acero aleado que tiene un recubrimiento superficial duro que comprende partículas duras en una matriz soldada a la fundición de acero, teniendo el miembro de acero una estructura correspondiente a calentar el miembro por encima de la temperatura de austenización, enfriar el miembro por inmersión en agua, revenir el producto y enfriar el miembro; caracterizado por el hecho de que las partículas duras son redondeadas y sustancialmente de un tamaño uniforme y dentro de un intervalo de aproximadamente 0,5 mm a aproximadamente 5 mm; y por el hecho de que la aleación de la matriz de soldadura tiene la misma composición que el miembro de acero aleado, en el que el miembro de acero aleado comprende un acero aleado escogido de un acero que tiene una composición de:

50

- Carbono < aproximadamente 0,5%
- Manganeso < aproximadamente 1,2%
- Silicio < aproximadamente 2,0%

- Níquel < aproximadamente 3,0%
- Cromo < aproximadamente 2,5%
- Molibdeno < aproximadamente 1,0%

siendo el resto hierro, ingredientes incidentales y rastros de impurezas.

- 5 **[0017]** La presente invención proporciona un método para el recubrimiento superficial duro de una pieza de fundición de acero o un producto fundido que comprende las fases de soldar un material de recubrimiento a la pieza de fundición seguido de tratamiento térmico para endurecer y revenir la pieza de fundición endurecida.
- 10 **[0018]** Para preparar la pieza de fundición, se funde una aleación de acero de una composición predeterminada generalmente en un horno de arco voltaico y se vierte en moldes de fundición a una temperatura de típicamente >1500°C, temperatura que se elige según el número de coladas y el tamaño de la sección de la pieza de fundición. Un modo de realización del acero aleado para la fundición tiene una composición que incluye por porcentaje de peso aproximadamente <0,5 de carbono; aproximadamente <1,2% de manganeso; aproximadamente <2,0% de silicio; aproximadamente <3,0% de níquel; aproximadamente <2,5% de cromo y aproximadamente <1,0% de molibdeno. El resto del acero aleado es hierro, y otros ingredientes incidentales y rastros de impurezas.
- 15 **[0019]** En cualquier modo de realización de la invención, una vez que se ha enfriado, el la pieza de fundición de metal recibe entonces un tratamiento térmico (o es "normalizada") en un horno a una temperatura que oscila entre 900-1000°C y es típicamente de alrededor de 930-950°C durante un periodo de tiempo (típicamente superior a aproximadamente 0,5-2,0 horas, dependiendo del espesor de la pieza de fundición), seguido de un periodo de enfriamiento por aire.
- 20 **[0020]** Después, se revene la pieza de fundición para obtener las propiedades mecánicas deseadas (grado de fuerza y ductilidad). Para ello, se colocan las piezas de fundición en un horno frío (menos de 250°C) y se aumenta la temperatura del horno. En un modo de realización, se revene la pieza de fundición calentándola tras el enfriamiento por aire a una temperatura de revenido de aproximadamente 600-650°C, aunque, según la pieza de fundición, es aceptable una temperatura de revenido que oscile entre aproximadamente 550°C y aproximadamente 700°C.
- 25 **[0021]** Entonces se mantiene la temperatura de revenido durante un intervalo mínimo calculado según el grosor de la pieza de fundición, que en un modo de realización es superior a un periodo de 6 horas. Después la fundición se enfría por aire de nuevo.
- 30 **[0021]** Las temperaturas de revenido de entre 550-700°C son más altas que las temperaturas de revenido utilizadas en los procesos de la técnica precedente en los que el revenido era seguido por la soldadura del recubrimiento superficial duro a la superficie de la pieza de fundición. En la técnica precedente de este tipo, la temperatura de revenido (o precalentamiento) es típicamente del orden de 250-350°C. Observando que las temperaturas de alrededor de 300-500°C se encuentran en la zona de fragilización del revenido para aceros aleados que contienen cierta cantidad de metal de manganeso, níquel y cromo, los inventores descubrieron sorprendentemente, tras utilizar temperaturas de revenido superiores a este orden, que el mayor ablandamiento de la pieza de fundición le hacía
- 35 **[0021]** poseer propiedades más homogéneas y produjo una pieza de fundición superior a la que se aplicó a continuación el material de recubrimiento duro. El producto endurecido por recubrimiento resultante fue, así, también superior a cualquier pieza de fundición de acero endurecida por recubrimiento conocida previamente.
- 40 **[0022]** En otros modos de realización de este proceso, el acero fundido de una composición seleccionada diferente puede normalizarse o ser revenido a diferentes temperaturas. Estas etapas de calentamiento se utilizan para el refinamiento de la estructura del grano, homogeneización y modificación de las tensiones residuales antes de la siguiente fase de soldadura del recubrimiento duro a la pieza de fundición y las fases de tratamiento térmico de endurecimiento y revenido.
- 45 **[0023]** A continuación, la pieza de fundición es o bien precalentada (si ha pasado algún tiempo tras el revenido) o enfriada por aire inmediatamente después del revenido a una temperatura de aproximadamente 200-270°C y se lleva a cabo la fase de recubrimiento superficial duro. Es preferible precalentar la pieza de fundición a esta temperatura para la soldadura para evitar la rotura en frío. En un modo de realización, que ahora se describirá en detalle, se aplica un material de recubrimiento superficial duro que comprende partículas de carburo de tungsteno, suspendidas en un baño de la matriz de soldadura, a la superficie de una pieza de fundición de acero mediante un robot de soldadura MIG que cuenta con una tolva de alimentación por la que fluyen las partículas de carburo de tungsteno. Las partículas se envían al baño de matriz de soldadura con una dosificación predeterminada, según la
- 50 **[0023]** distribución de carburo necesaria. La pieza de fundición que está siendo recubierta en superficie se mantiene en una plantilla u otro aparato de sujeción y es rotada o manipulada por un operario o un robot durante el proceso de soldadura. En algunos modos de realización, se ha descubierto que los robots pueden ayudar a proporcionar una aplicación consistente del recubrimiento duro en cada producto.
- 55 **[0024]** El resultado óptimo del recubrimiento superficial duro se logra cuando los parámetros operativos se controlan de forma que se minimice la disolución de partículas de carburo de tungsteno (u otras partículas duras) en el baño

de soldadura. Una disolución excesiva de los carburos puede reducir la eficacia del recubrimiento superficial duro a la hora de resistir al desgaste por abrasión en su uso, y también tiene un efecto perjudicial en la matriz de aleación soldada, ya que las concentraciones altas de carbono y tungsteno pueden provocar fragilización y un acortamiento de la vida del recubrimiento superficial duro. De este modo, tanto los parámetros físicos del aparato de soldadura como las características físicas de los carburos (u otras partículas duras) son controlados cuidadosamente por un operario.

[0025] En cuanto a los parámetros físicos del aparato de soldadura sobre la calidad del recubrimiento superficial resultante, las variables de control más importantes incluyen los amperios y voltios de la soldadura, velocidad de desplazamiento, distancia de la boquilla del soldador a la superficie de la pieza de fundición o producto forjado que está siendo recubierto. El ángulo del electrodo del soldador con la superficie también es una variable de control. En cuanto a la matriz de la aleación de la soldadura, el tipo de alambre de soldadura utilizado y la anchura, profundidad y velocidad de colocación de la pasada pendular (weave) de la soldadura también puede afectar en el recubrimiento duro resultante. En cuanto al reparto de las partículas duras, la velocidad de alimentación es controlable. Las características físicas de las partículas duras seleccionadas, por ejemplo el tamaño de las partículas, el tipo de carburo, etc., también son importantes, como se describe a continuación con más detalle.

[0026] En un modo de realización del proceso de recubrimiento superficial duro, se controlan los amperios en el intervalo de entre 200-400 amperios. Existe una compensación entre la conveniencia de utilizar mayor amperaje en este intervalo y el efecto que tiene en la disolución de partículas de carburo de tungsteno. Cuanto más alto es el amperaje, mayor es el calor en el baño de soldadura en fusión y más alta será la tasa de deposición de la matriz de soldadura, y por tanto, más alta será la tasa de producción posible del material de recubrimiento superficial. Sin embargo, demasiado calor en el baño de soldadura en fusión tiende a disolver el carburo de tungsteno en mayor medida y permite la formación de carburo de "eta"-tungsteno (W_2C) que es una forma más frágil y menos deseable.

[0027] Se puede refinar el control del calor en el baño de soldadura en fusión utilizando un alambre de soldadura de un diámetro menor a un voltaje más alto. En un modo de realización preferido, se utilizó un alambre de soldadura de acero sólido de 1,6 mm de diámetro en un soldador MIG. Sin embargo, se ha demostrado que también es adecuado un alambre de soldadura de un diámetro que oscile entre los 1,2 milímetros y los 2,4 milímetros. En general, un alambre de soldadura de menor anchura dentro de este intervalo produce menos calor durante la soldadura para reducir la disolución del carburo de tungsteno, su distribución y su fragilización al tiempo que permite usar un mayor intervalo de amperaje para lograr una tasa de deposición más rápida de la matriz de soldadura.

[0028] En algunos modos de realización, el alambre de soldadura puede ser un alambre de acero aleado de una composición similar a la pieza de fundición principal que está siendo endurecida mediante recubrimiento superficial duro, para una mejor adecuación a las características de endurecimiento de la pieza de fundición principal. Si una matriz de soldadura tiene una composición similar a la de la propia pieza de fundición, es probable que haya una mejor unión entre el recubrimiento y la pieza de fundición y una microestructura similar, por ejemplo si la matriz de soldadura y la pieza de fundición tienen ambas una composición que se transforma en una microestructura martensítica en gran parte, mediante endurecimientos y revenidos consecutivos.

[0029] En un modo de realización, el voltaje del soldador utilizado oscila entre 18-35 voltios, seleccionado para el precalentamiento óptimo del alambre de soldadura.

[0030] En un modo de realización, la velocidad de desplazamiento del soldador con respecto a la pieza de fundición oscila entre los 160-380 milímetros por minuto, una velocidad que se determina principalmente por la pasada pendular del cordón de soldadura o el ancho del cordón de una franja de matriz de soldadura colocada. El ancho de cordón de soldadura se mantiene en un intervalo preferido para optimizar las características de solidificación de la soldadura y la disolución/distribución de partículas duras en la matriz. En un modo de realización, el intervalo operativo preferido del ancho del cordón de soldadura es de 10-25 milímetros, y en un modo de realización preferido tiene una anchura de cordón de 16 milímetros. Del mismo modo, la altura del cordón de soldadura tiene un intervalo operativo preferido de 4-12 milímetros, en un modo de realización más preferido, la altura del cordón es de 6-7 milímetros. Puede obtenerse un recubrimiento superficial de baja calidad si la matriz de la soldadura y las partículas duras se colocan de forma que el cordón se vuelva excesivamente ancho.

[0031] En un modo de realización, se deposita el carburo de tungsteno en un baño de soldadura en fusión desde una boquilla que se sitúa a unos 4-10 milímetros de distancia del arco del soldador. Si el carburo de tungsteno entra demasiado cerca del arco calentado, esto puede tener un efecto perjudicial en su disolución. En un modo de realización, el ángulo del electrodo del soldador es de 0-40 grados de la vertical. El ángulo del electrodo controla la penetración del calor en el miembro de la fundición base que está siendo recubierto, además de permitir la flexibilidad de acceso a espacios o superficies reducidos.

[0032] La velocidad de alimentación de partículas duras al baño de soldadura se selecciona basándose en el tamaño de las partículas y el amperaje seleccionado del soldador MIG. En el caso del carburo de tungsteno, se miden las partículas en el baño de soldadura en fusión para lograr una fracción de volumen y una distribución del carburo óptimas en el depósito de soldadura. En un modo de realización, el carburo de tungsteno es añadido al baño de soldadura en fusión a una velocidad de entre 0,25-1,35 kilogramos por minuto.

- 5 **[0033]** Los procesos de recubrimiento superficial duro convencionales han hecho uso de metales duros reciclados de brocas y puntas de cuchillas o similares. Los inventores han descubierto que utilizar tales materiales reciclados puede provocar una distribución no uniforme de partículas duras en la matriz de soldadura resultante, y que es preferible el uso de partículas duras redondeadas y/o sustancialmente esféricas. Se supone que esto se debe a que los extremos afilados de las partículas duras pueden sobresalir de la superficie de recubrimiento duro, y esto puede llevar a roturas de estas partículas y una posible erosión o rotura de la matriz de soldadura, que a su vez puede aumentar la tasa de desgaste del recubrimiento superficial duro.
- 10 **[0034]** Por ejemplo, en un modo de realización de la invención, el material de recubrimiento superficial duro incluye una sustancia particulada como un carburo de tungsteno sinterizado. El carburo de tungsteno sinterizado tiene un alto nivel de pureza, teniendo presente solo una forma de carburo y generalmente un nivel bajo de aglutinante de cobalto. Estas propiedades otorgan un comportamiento fiable en el baño de soldadura. En otros modos de realización, los inventores han descubierto que el carburo de tungsteno (WC) macro-cristalino es una forma de carburo de tungsteno altamente pura que presenta una resistencia superior a la disolución en el baño de soldadura. Se ha observado que esta forma de carburo, en comparación con otras, tiene unas características de reprecipitación mejoradas que ayudan a reforzar la microestructura de la matriz.
- 15 **[0035]** En cuanto al tamaño de las partículas de carburo de tungsteno utilizadas, los inventores han descubierto que en algunos modos de realización las partículas de carburo de tungsteno que tenían un tamaño de entre 0,5 milímetros aproximadamente y 5 milímetros aproximadamente en diámetro resultaban más satisfactorias. Este es un intervalo de tamaños posibles de material de carburo más gruesos y anchos que los conocidos en la técnica precedente, en el que el carburo utilizado se encuentra generalmente en el intervalo de tamaños de partículas de entre unos 0,7 milímetros y unos 1,5 milímetros de ancho. En el intervalo de tamaños seleccionado, es probable que las partículas de carburo de tungsteno tengan una tasa de disolución reducida en la matriz de soldadura, y una densidad de empaquetamiento mejorada en la matriz de soldadura.
- 20 **[0036]** En algunos modos de realización, se ha descubierto que el uso de partículas de carburo de tungsteno de un tamaño sustancialmente uniforme dentro de ese intervalo de tamaño de las partículas (por ejemplo, todas 3,0 milímetros de diámetro) permite una densidad de empaquetamiento aún más mejorada de las partículas duras en la matriz de soldadura del recubrimiento superficial duro. El tamaño óptimo de las partículas duras se selecciona teniendo en cuenta las exigencias de uso del miembro endurecido final. En los modos de realización preferidos, el intervalo de tamaños seleccionado tiene en cuenta la posible reducción en la sección transversal de la partícula de carburo como resultado de la disolución en el baño de soldadura.
- 25 **[0037]** Los inventores también han descubierto que el uso de partículas duras redondeadas o sustancialmente esféricas puede dar como resultado un empaquetamiento mejorado de esas partículas en la matriz de soldadura. Se ha descubierto que, ya que menos de esas partículas tienen filos que tiendan a sobresalir de la superficie del recubrimiento, y puesto que las partículas duras están más sostenidas por su superficie completamente por la matriz, esto limita la posible erosión o rotura de la matriz de soldadura en uso.
- 30 **[0038]** Las sustancias duras distintas del carburo de tungsteno sinterizado o macrocristalino se encuentran en el ámbito de la invención, como los carburos de cromo y los carburos de titanio.
- 35 **[0039]** Una vez que el recubrimiento superficial duro está en su lugar, la pieza de fundición es post calentada a una temperatura superior de 200°C aproximadamente. A continuación, se somete la pieza de fundición al endurecimiento y revenido mediante tratamiento térmico. En primer lugar, se endurece la fundición calentándola a una temperatura superior a la temperatura de austenización del acero (TA). La TA depende de la composición de la pieza de fundición elegida y se calcula como:
- 40
$$TA (^{\circ}C) = [910] - [203 \times \sqrt{\%C}] - [15,2 \times \%Ni] + [44,7 \times \%Si] + [104 \times \%V] + [31,5 \times \%Mo].$$
- 45 **[0040]** En un modo de realización, la temperatura a la que se endurece la pieza de fundición es de aproximadamente 900-930°C y se mantiene la pieza de fundición a esa temperatura durante un intervalo mínimo calculado según el espesor de la pieza de fundición. En un modo de realización, el intervalo mínimo es de unas 2 horas. Un tiempo de permanencia más largo tiene en cuenta el calentamiento máximo de fundiciones especialmente espesas. En otros modos de realización, las piezas de fundición pueden calentarse a temperaturas algo superiores (hasta aproximadamente 1000°C) y mantenidas a esa temperatura durante un intervalo más corto, aunque esto puede causar unas microestructuras menos que óptimas en el producto final (p.ej., un tamaño de grano grande, propiedades mecánicas pobres).
- 50 **[0041]** A continuación, las piezas de fundición se enfrían por inmersión en una solución acuosa hasta que se enfrían preferentemente hasta la temperatura ambiente. A temperaturas por debajo de 150-180°C aproximadamente, la microestructura del metal se transformará sustancialmente en martensita (y no ocurrirá una transformación incompleta en bainita, por ejemplo). Después, se sacan las piezas de fundición del líquido de enfriamiento para
- 55

minimizar el agrietamiento por tensión. Otros líquidos de enfriamiento de otros tipos como aceite o incluso aire ambiente no eliminan el calor de las fundiciones de una forma tan rápida y uniforme como una solución acuosa.

5 **[0042]** La pieza de fundición de acero aleado exige entonces el revenido para obtener las propiedades mecánicas deseadas (grado de fuerza y ductilidad). Se colocan las piezas de fundición en un horno frío (a menos de 250°C) y se eleva la temperatura del horno. En los modos de realización del proceso de revenido de la presente invención, el acero endurecido es revenido calentándolo a una temperatura de revenido que oscila entre los 200°C aproximadamente y 650°C aproximadamente. En un modo de realización, se calienta la pieza de fundición a 550°C durante cierto periodo de tiempo y es después enfriada por inmersión en agua. En otro modo de realización, se calienta la pieza de fundición a 250°C aproximadamente durante cierto periodo de tiempo y se enfría después por aire. La temperatura de revenido y el método subsiguiente de enfriar la pieza de fundición se escogerá según la dureza final deseada del material primario de la pieza de fundición.

10 **[0043]** La temperatura de revenido se mantiene durante un intervalo mínimo calculado según el espesor de la pieza de fundición. En un modo de realización, las piezas de fundición se mantienen a la temperatura de revenido final durante 2 horas por pulgada del espesor de la pieza de fundición en su punto más amplio, por ejemplo una pieza de fundición de seis pulgadas de espesor se reviene durante 12 horas. En otros modos de realización de este proceso, el acero de una composición elegida diferente puede ser revenido a una temperatura diferente.

15 **[0044]** El revenido del acero es un proceso para redistribuir los átomos de carbono en la retícula de martensita y reducir la tensión o fragilidad del acero. Normalmente, se consigue una optimización del equilibrio entre las propiedades de fuerza y ductilidad del acero de forma que el acero cuenta con propiedades deseables de ambos. Los aceros muy frágiles carecen de dureza y pueden fallar cuando se les aplica una carga.

20 **[0045]** En referencia a la fase de enfriamiento de la pieza de fundición por inmersión tras el revenido, el enfriamiento por inmersión en agua es un enfriamiento rápido que lleva la pieza de fundición a través de las zonas de transformación de la fragilización metalúrgica (que se encuentran aproximadamente entre los 300-500°C) lo más rápido posible para evitar la formación de propiedades no deseables asociadas con la fragilización del revenido. Generalmente, la solución acuosa utilizada para el enfriamiento por inmersión de la pieza de fundición se encuentra a una temperatura de entre 20-30°C. Si una pieza de fundición que está siendo revenida a temperaturas tan elevadas como unos 500-600 °C se enfría por aire, puede producirse la fragilización de la pieza de fundición debido a posibles velocidades de enfriamiento de la pieza de fundición irregulares, que no ocurren en el enfriamiento por inmersión en solución acuosa.

25 **[0046]** Estas fases de tratamiento térmico se llevan a cabo para producir un resultado metalúrgico deseado en la microestructura de la pieza de fundición. Aunque ya es sabido como endurecer mediante recubrimiento duro piezas de fundición de acero mediante la aplicación de soldadura de un material duro a una parte del exterior de la pieza de fundición, en el pasado a menudo se hacía después de las fases de los tratamientos térmicos de endurecimiento y revenido. La microestructura del metal de la región de la pieza de fundición cercana a la superficie puede verse alterada por el proceso de soldadura, dando lugar a una zona afectada por el calor. Al realizar las fases de tratamiento térmico de endurecimiento y revenido después de la fase de soldadura, los inventores han demostrado que la microestructura del metal de la pieza de fundición puede ser transformada de forma que la microestructura de la pieza de fundición misma no se fragilice sino que se vuelva similar a la del resto de la pieza de fundición. Sin fragilización, es menos probable que la parte de la pieza de fundición de la zona afectada por el calor sufra propagación de grietas, que llevaría a la larga al fallo de la capa de recubrimiento superficial duro y de la pieza de fundición principal.

30 **[0047]** Sorprendentemente, los inventores han descubierto que la capa de recubrimiento duro que es soldada a la pieza de fundición de acero no se agrieta cuando la pieza de fundición se somete a gradientes de temperatura extremos de los procesos de endurecimiento y revenido, por ejemplo, cuando se endurece la pieza de fundición calentándola por encima de la temperatura de austenización del acero y después se enfría rápidamente mediante enfriamiento por inmersión en una solución acuosa, como se ha descrito. De hecho, la transformación de la microestructura del metal de la pieza de fundición en la zona afectada por el calor puede ayudar en la adhesión de la capa de recubrimiento duro a la pieza de fundición.

35 **[0048]** La resistencia superior del miembro de acero de la invención endurecido mediante recubrimiento duro al desgaste abrasivo es probable que resulte de gran valor en la minería y usos industriales en los que sea deseable una fuerza y una resistencia al impacto altas. Las fases de endurecimiento y revenido de la invención se pueden realizar de forma que produzcan un producto de acero con cualquier requisito mecánico conveniente, según su aplicación. Los procesos descritos no deben considerarse como limitados a las piezas de fundición de acero, y pueden aplicarse a cualquier tipo de acero o miembros de acero aleados.

40 **[0049]** Se debe entender que, si se hace referencia aquí a cualquier técnica precedente, dicha referencia no constituye una admisión de que la información forme parte del conocimiento general común en la técnica, en Australia o en cualquier otro país.

5 **[0050]** En las reivindicaciones que siguen y en la descripción precedente de la invención, excepto donde el contexto lo exija de otro modo debido a su lenguaje expreso o implicación necesaria, la palabra “comprender” o sus variaciones como “comprende” o “comprendiendo/que comprende” se usan con un sentido inclusivo, es decir, para especificar la presencia de las características mencionadas pero no excluye la presencia o adición de otras características en varios de modos de realización de la invención.

[0051] Aunque la invención se haya descrito en referencia a los modos de realización preferidos, debe apreciarse que la invención puede realizarse en muchos otros modos.

REIVINDICACIONES

1. Un método para tratar un miembro de acero aleado que comprende los siguientes pasos:

5 fijar por soldadura un recubrimiento superficial duro al miembro, el recubrimiento superficial duro comprende una matriz de aleación de soldadura y partículas duras en la matriz; calentar el producto por encima de la temperatura de austenización, enfriar el producto por inmersión en una solución acuosa para conseguir una estructura martensítica, y revenir el producto y enfriar el producto, mediante el cual se obtiene un miembro de acero endurecido mediante recubrimiento; **caracterizado porque** las partículas duras son redondeadas y sustancialmente de tamaño uniforme en el intervalo de aproximadamente 0,5 mm a aproximadamente 5 mm y **porque** la matriz de aleación de soldadura es de la misma composición que el miembro de acero aleado, en el que el miembro de acero comprende un acero aleado elegido de un acero que tiene una composición por porcentaje de peso de:

- Carbono < aproximadamente 0,5%
- Manganeso < aproximadamente 1,2%
- Silicio < aproximadamente 2,0%
- 15 • Níquel < aproximadamente 3,0%
- Cromo < aproximadamente 2,5%
- Molibdeno < aproximadamente 1,0%

siendo el resto hierro, ingredientes incidentales y rastros de impurezas.

2. El método de la reivindicación 1 en el que las partículas duras son sustancialmente esféricas.

20 3. El método de la reivindicación 1 en el que el miembro es endurecido mediante su calentamiento a una temperatura superior de la de austenización durante un intervalo mínimo calculado en función del espesor del miembro.

4. El método de la reivindicación 1 en el que la temperatura a la que se endurece el producto oscila entre aproximadamente 900°C y aproximadamente 1000°C.

25 5. El método de la reivindicación 1, en el que el producto se enfría por inmersión en la solución acuosa hasta que el producto se enfría a una temperatura ambiente.

6. El método de la reivindicación 1, en el que el producto se revene calentándolo a la temperatura de revenido durante un intervalo mínimo calculado en función del espesor del producto.

30 7. El método de la reivindicación 6, en el que la temperatura de revenido oscila en un intervalo de aproximadamente 200°C a aproximadamente 650°C.

8. El método de la reivindicación 1, en el que las partículas duras son del grupo que comprende carburo de tungsteno sinterizado y carburo de tungsteno macrocristalino.

35 9. El método de la reivindicación 1 y que comprende además la fase de revenido del miembro previa al recubrimiento superficial duro del miembro a una temperatura que oscila entre aproximadamente 550°C a aproximadamente 700°C.

10. El método de la reivindicación 9 en el que la temperatura de revenido utilizada antes de la soldadura del recubrimiento superficial duro oscila entre aproximadamente 600°C y aproximadamente 650°C.

40 11. El método de la reivindicación 1, en el que el miembro se normaliza a una temperatura que oscila entre aproximadamente 900°C y aproximadamente 1000°C y después se somete a un periodo de enfriamiento por aire, antes de la soldadura del recubrimiento superficial duro.

12. El método de la reivindicación 1, en el que la soldadura se realiza mediante soldadura MIG y las partículas duras se aplican a un baño de fusión de la matriz de soldadura a una velocidad medida predeterminada.

13. El método de la reivindicación 12, en el que la corriente de suministro eléctrico, voltaje, velocidad de desplazamiento y distancia de la boquilla del soldador MIG se controlan en relación a la superficie del producto.

45 14. El método de la reivindicación 1, en el que las partículas duras comprenden carburo de tungsteno y el método incluye controlar la corriente de suministro al soldador MIG para controlar la temperatura de la matriz de fusión para eludir sustancialmente la formación de carburo de eta-tungsteno.

15. El método de la reivindicación 1, en el que el miembro se normaliza a una temperatura que oscila entre aproximadamente 900°C y aproximadamente 1000°C, seguido de un periodo de enfriamiento por aire y un revenido a una temperatura de 600°C a 650°C, antes de soldar;

5 la temperatura de austenización posterior a la soldadura es de 900°C a 1000°C y el revenido oscila entre 200°C y 650°C;

las partículas duras oscilan entre 0,7 mm y 1,5 mm y son de carburo de tungsteno; y

la soldadura se lleva a cabo mediante soldadura MIG con las partículas de carburo de tungsteno suspendidas en un baño de fusión de la matriz de soldadura.

10 16. Un miembro de acero endurecido mediante recubrimiento superficial duro, siendo el miembro de acero una pieza de fundición de acero aleado que tiene un recubrimiento superficial duro que comprende partículas duras en una matriz soldada a la pieza de fundición de acero, teniendo el miembro de acero una estructura que corresponde a calentar el miembro por encima de la temperatura de austenización, enfriar el miembro por inmersión en agua, revenir el producto y enfriar el miembro; **caracterizado porque** las partículas duras son redondeadas y sustancialmente de tamaño uniforme y oscilan entre aproximadamente 0,5 mm y aproximadamente 5 mm; y **porque**
15 la aleación de la matriz de soldadura es de la misma composición que el miembro de acero aleado, en el que el miembro de acero aleado comprende un acero aleado elegido a partir de un acero que tiene una composición de:

- Carbono < aproximadamente 0,5%
- Manganeso < aproximadamente 1,2%
- Silicio < aproximadamente 2,0%
- Níquel < aproximadamente 3,0%
- Cromo < aproximadamente 2,5%
- Molibdeno < aproximadamente 1,0%

20

siendo el resto hierro, ingredientes incidentales y rastros de impurezas.

17. El miembro de la reivindicación 16, en el que las partículas son de carburo de tungsteno.