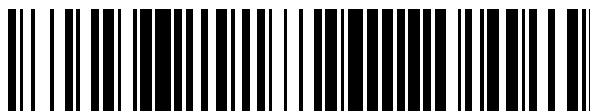


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 439 447**

51 Int. Cl.:

C21D 1/10 (2006.01)

C21D 9/28 (2006.01)

C22C 38/22 (2006.01)

C22C 38/24 (2006.01)

C21D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.03.2011 E 11156907 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2013 EP 2495340**

54 Título: **Un cilindro forjado que cumple los requisitos de la industria de la laminación en frío y un método para la producción de dicho cilindro**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.01.2014

73 Titular/es:

**AKERS AB (100.0%)
Bruksallén
647 51 Akers Styckebruk, SE**

72 Inventor/es:

**GASPARD, CLAUDE;
VERGNE, CATHERINE y
BATAZZI, DANIEL**

74 Agente/Representante:

GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro

ES 2 439 447 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

Un cilindro forjado que cumple los requisitos de la industria de la laminación en frío y un método para la producción de dicho cilindro.

5

Campo de la invención

Esta invención se refiere, en general, al campo de cilindros forjados y a la producción de cilindros forjados. Más particularmente la presente invención se refiere a cilindros forjados que cumplen los requisitos de, y que están destinados principalmente al uso en, la industria de la laminación en frío.

10 **Antecedentes***Antecedentes generales*

La tendencia general para el desarrollo en laminación en frío para las industrias de metales tanto ferrosos como no ferrosos es laminar más rápido, más fino y con más amplitud. El actual desafío es hacer esto mientras se consigue un perfecto control de la planitud, el grosor y los aspectos de superficie compatible con una alta productividad. Por lo tanto, esta tendencia requiere el uso de tecnologías de laminación avanzadas que controlen parámetros de laminación clave.

15

Algunos parámetros clave tales como retención de rugosidad y aspectos de superficie pueden garantizarse a través del cromado de los cilindros de trabajo. Esta práctica es eficaz y eficiente, pero se está volviendo cada vez más cuestionable y en un futuro próximo inaceptable debido a restricciones medioambientales.

20

Hoy en día los cilindros de trabajo forjados (del 2 al 6% de Cr) con cromado en superficie se usan habitualmente en procesos de laminación en frío. El cromado de dichos cilindros se aplica para mejorar la resistencia al desgaste en términos de retención de la textura superficial que, a su vez, garantizará, por ejemplo, un brillo uniforme y superior de las carrocerías de automóviles después de pintarlas. Las técnicas de depósito electrolítico duro tales como el cromado se desarrollaron inicialmente para aplicaciones de laminador endurecedor/acabador. En estas aplicaciones, los cilindros de trabajo cromados muestran vidas útiles de 2 a 8 veces más largas que los cilindros no recubiertos, principalmente debido a una mejor retención de rugosidad. La implementación de esta técnica se extendió progresivamente a los laminadores.

25

También existen cilindros forjados hechos de acero de alta velocidad (HSS) que se fabrican destinados a un uso sin recubrimiento, pero existe una necesidad de un cilindro con bajos esfuerzos internos residuales y también existe una necesidad de un proceso industrial para producir dicho cilindro, que se usará sin recubrimiento en un laminador mientras da una retención de rugosidad que es al menos equivalente a la de los cilindros recubiertos.

30

Antecedentes específicos

Los cilindros producidos para usarlos en la industria de la laminación en frío tienen que manejar las condiciones de procesamiento o las tensiones operativas específicas durante el uso sin formar grietas o ser propensos a explotar. La explosión de un cilindro puede implicar la seguridad de los operarios y daños colaterales en el laminador. Por lo tanto, existe una necesidad de un cilindro con bajos esfuerzos internos residuales.

35

Técnica anterior

Ejemplos de técnica anterior que desvelan el desarrollo hacia cilindros de HSS sin recubrimiento con el propósito de laminación en frío:

40

C. Gaspard, C. Vergne, D. Batazzi, T. Nylén, P.H. Bolt, S. Mul, K.M. Reuver:

"Implementation of in-service key parameters of HSS work roll grade dedicated to advanced cold rolling", Conferencia IST 3-6 de mayo de 2010, Pittsburgh, Pa, Estados Unidos

45

C. Gaspard, S. Bataille, D. Batazzi, P.Thonus: "Improvement For Advanced Cold Rolling Reduction Mills By Using Semi-HSS and HSS Rolls", 7ª Conferencia Internacional sobre Laminación de Acero (ISIJ), Makuhari, Chiba, Japón, 1998

P.H. Bolt, D. Batazzi, N.P. Belfiore, C. Gaspard, L. Goiset, M. Laugier, O. Lemaire, D. Matthews, T. Nylén, K. Reuver, D. Stocchi, F. Stork, J. Tensen, M. Tornicelli, R. Valle, E. van den Elzen, C. Vergne, I.M. Williams: "Damage Resistance and Roughness Retention of work Rolls in cold Rolling Mills", 5ª Conferencia Europea sobre Laminación, 23-25 de junio de 2009, Londres, Reino Unido

Otros ejemplos de técnica anterior se muestran en las publicaciones: JP09003603, JP531077821, JP57047849, JP2002285284, JP2002285285, JP10317102, JP1208437, EP0395477 y JP08158018 que describen cilindros de trabajo para laminación en frío para mejorar la resistencia al desgaste y a la descamación.

5 Sin embargo, estas piezas de la técnica anterior carecen de la divulgación de parámetros y propiedades necesarias para conseguir y permitir dicho cilindro de HSS que es operativo durante las condiciones en un laminador de laminación en frío.

Objeto de la invención

Objeto general

10 El objeto general de la invención es proporcionar un cilindro y un proceso industrial para producir dicho cilindro que es operativo durante las condiciones en un laminador de laminación en frío, preferentemente en una forma no recubierta. Un objeto más específico es proporcionar dicho cilindro y un proceso para producir dicho cilindro mientras se mantienen propiedades tribológicas tales como bajo coeficiente de fricción, elevada retención de rugosidad, sin contaminación de polvo por finos de hierro al menos equivalente a los cilindros recubiertos de la
15 técnica anterior y que muestran rendimientos de laminación mejorados en términos de mayor resistencia al agrietamiento y mayor seguridad en funcionamiento en comparación con los cilindros conocidos.

Problemas parciales

La invención busca, además, resolver los problemas parciales de:

- Mejorar la superficie del cilindro, lo que da al cilindro un mayor rendimiento.
- 20 - Evitar accidentes de descamación del cilindro
- Evitar procesos de producción de cilindros no respetuosos con el medio ambiente
- Mejorar la distancia de laminado o la vida útil de un cilindro, permitiendo series más largas por campaña del laminador.

Resumen de la invención

25 La solución al problema, los problemas parciales y aspectos enumerados anteriormente es un cilindro de acuerdo con la invención con resistencia al agrietamiento térmico mejorada y baja propagación de grietas que reducirán la sensibilidad a incidentes en el laminador mientras mantienen una resistencia al desgaste más elevada.

La presente invención proporciona un cilindro forjado para uso en la industria de la laminación en frío y un método para la producción de dicho cilindro. El cilindro está, preferentemente, no recubierto pero también puede estar
30 recubierto.

La invención se refiere a un cilindro forjado de acuerdo con las presentes reivindicaciones.

En otras realizaciones de la invención, el cilindro de la invención comprende una red abierta de carburos eutécticos que delimita un patrón de celdas eutécticas similar a una celda.

35 Variedades adicionales del cilindro que comprende cualquiera de los siguientes aspectos opcionales, individuales o combinables:

El documento JP 3122251 A desvela un cilindro compuesto para laminar metal y su producción.

El documento JP 6145886 A desvela material para un cilindro de laminación.

El documento GB 2367075 A desvela un cilindro para laminación.

El documento GB 2262745 A desvela el uso de acero para laminadores en frío

40 El documento JP 3219048 A desvela un cilindro de laminación hecho de acero forjado.

El documento JP 6017196 A desvela un cilindro de trabajo para laminación de acabado superficial.

El documento JP 1208437 A desvela un material de acero con alto contenido en cromo de cortabilidad mejorada.

El documento JP6212253 A producción de acero para herramientas en frío.

45 El documento JP59179762 A desvela un acero para herramientas en frío.

El documento EP0869196 A2 desvela una colada para herramientas en frío y un método para producirla

Un cilindro en el que la red abierta de carburos eutécticos de dicho cilindro comprende brazos dendríticos.

Un cilindro en el que la red abierta de carburos eutécticos de dicho cilindro está formada como partes sustancialmente aisladas de la red de carburos eutécticos.

- 5 Un cilindro en el que la microestructura de dicho cilindro está presente al menos en la capa de trabajo del cilindro.
- Un cilindro con una composición de acero constituida por, en términos de % en peso;
- del 0,8 a menos de (<) 1% de C,
- del 0,2 al 0,5% de Mn,
- del 0,2 al 2,0% de Si,
- 10 del 7,0 al 13,0% de Cr,
- del 0,6 al 1,6% de Mo,
- más del (>) 1,0 al 3,0% de V,
- menos del (>) 0,015% de P, y
- menos del (>) 0,015% de S, y
- 15 menos del (>) 1% de Ni
- menos de 30 ppm de O₂, y
- menos de (>) 100 ppm de N₂, y
- menos de (>) 3 ppm de H₂
- menos del (>) 2% de W, y
- 20 menos del (>) 1% de Nb, y
- menos del (>) 1% de Ti, y
- menos del (>) 0,5% de Ta, y
- menos del (>) 0,5% de Zr,
- siendo la parte restante del acero sustancialmente Fe y posibles impurezas fortuitas y/o posiblemente inevitables;
- 25 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de C en la composición de acero está entre el 0,8 y el 0,99% de C en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de C en la composición de acero está entre el 0,85 y el 0,9% de C en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 30 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Mn en la composición de acero está entre el 0,4 y el 0,5% de Mn en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Si en la composición de acero está entre el 0,2 y el 1,5% de Si en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Si en la composición de acero está entre el 0,85 y el 1,15% de Si en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 35 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Cr en la composición de acero está entre el 7,0 y el 11% de Cr en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Cr en la composición de acero está entre el 7,3 y el menos del (>) 8,0% Cr en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 40 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Mo en la composición de acero está entre el 1,45 y el 1,55% de Mo en términos de % en peso del peso total del cilindro.

El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Ni en la composición de acero es menos del (>) 0,3 de Ni en términos de % en peso del peso total del cilindro.

El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de V en la composición de acero está entre el 1,3 y el 2,1% de V en términos de % en peso del peso total del cilindro.

5 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de V en la composición de acero está entre el 1,3 y el 1,6% V en términos de % en peso del peso total del cilindro.

Un cilindro de acuerdo con la invención, en el que la composición de acero está constituida por, en términos de % en peso:

- del 0,8 al 0,99% de C, y
- 10 del 0,4 al 0,5% de Mn, y
- del 0,2 al 1,5% de Si, y
- del 7,0 al 11% de Cr, y
- del 0,6 al 1,6% de Mo, y
- menos del (>) 1,0% de Ni, y
- 15 del 1,0 al 2,1% de V, y
- menos del (>) 0,015% de P, y
- menos del (>) 0,015% de S, y
- menos de (>) 30 ppm de O₂, y
- menos de (>) 100 ppm de N₂, y
- 20 menos de (>) 3 ppm de H₂, y

siendo la parte restante del cilindro sustancialmente Fe y posibles impurezas fortuitas y/o posiblemente inevitables.

Un cilindro de acuerdo con la invención, en el que la composición de acero está constituida por, en términos de % en peso:

- del 0,85 al 0,9% de C, y
- 25 del 0,4 al 0,5% de Mn, y
- del 0,85 al 1,15% de Si, y
- del 7,3 a menos del (>) 8,0% de Cr, y
- del 1,45 al 1,55% de Mo, y
- menos del (>) 0,3% de Ni, y
- 30 del 1,3 al 1,6% de V y
- menos del (>) 0,015% de P, y
- menos del (>) 0,015% de S, y
- menos de (>) 30 ppm de O₂, y
- menos de (>) 100 ppm de N₂, y
- 35 menos de (>) 3 ppm de H₂, y

siendo la parte restante del cilindro sustancialmente Fe y posibles impurezas fortuitas y/o posiblemente inevitables.

Un cilindro de acuerdo con la invención que está configurado, además, para uso como un cilindro de trabajo en laminación en frío.

Un cilindro de acuerdo con la invención que tiene, además, un peso de más de 400 kg.

Un cilindro de acuerdo con la invención que tiene, además, un diámetro en el intervalo de 215 a 800 mm.

Un aspecto adicional de la invención proporciona un proceso para fabricar un cilindro de acuerdo con la invención, comprendiendo el proceso las etapas de:

- a. Proporcionar una composición de acero de acuerdo con la reivindicación 1.
- 5 b. Fabricar un lingote que conserva una velocidad de solidificación mayor de 15°C/min en la capa de trabajo del lingote, equivalente a la capa de trabajo del cilindro, en el intervalo de solidificación;
- c. Forjar el lingote en un cilindro;
- d. Endurecer el cilindro mediante calentamiento por inducción;
- e. Revenir el cilindro a una temperatura entre 450 a 530°C para alcanzar una dureza entre 780 HV y 840 HV;
- 10 consiguiendo de este modo una microestructura del cilindro (1) que comprende:
 - martensita revenida con una tasa de austenita residual menor del (>) 5% en volumen; y
 - una red abierta de carburos eutécticos con carburos eutécticos de menos del (>) 5% en volumen;

y en la que el cilindro (1) muestra:

- una dureza de entre 780 HV y 840 HV; y
- 15 - esfuerzos de compresión internos entre -300 y -500 MPa.

Variedades adicionales del cilindro que comprenden cualquiera de los siguientes aspectos opcionales, individuales o combinables mencionados a continuación.

- 20 Un proceso de acuerdo con la invención en el que el lingote se fabrica manteniendo una velocidad de solidificación en la capa de trabajo así como en el núcleo en el intervalo de 15°C/min a 55°C/min, o como alternativa de 17°C/min a 50°C/min, o como alternativa de 35°C/min a 55°C/min, o como alternativa de 45°C/min a 55°C/min.

Un proceso de acuerdo con la invención, en el que el lingote se fabrica manteniendo una velocidad de solidificación mayor de 35°C/min en la capa de trabajo o superficie del lingote en el intervalo de solidificación.

Un proceso de acuerdo con la invención, en el que el intervalo de solidificación está entre 1400 y 1200°C para dicho lingote.

- 25 Un proceso de acuerdo con la invención, en el que el lingote se fabrica manteniendo una velocidad de solidificación predeterminada en un proceso de técnica en horno de afino por electroescoria (ESR) controlando el suministro de amperios de corriente de acuerdo con una función predeterminada de la velocidad de solidificación.

Un proceso, en el que la etapa de forjar el lingote a un cilindro comprende las etapas de:

- 30 a. Calentar el lingote a una temperatura de aproximadamente 850 a 1100°C o entre 800 y 1000°C preferentemente durante un periodo de aproximadamente 6 horas;
- b. Forjar el lingote a una temperatura por encima de aproximadamente 800°C o por encima de 850°C;
- c. Repetir las etapas a-b hasta que el lingote se ha formado en un cilindro que tiene la forma y el tamaño deseados.

- 35 Un proceso adicional, después de la terna de forjado, que comprende una etapa de tratamiento térmico preliminar, aplicado sobre el lingote desbastado del cilindro, preferentemente a una temperatura de aproximadamente 700 a 1100°C o entre 800 y 900°C, lo que puede incluir tratamiento por difusión de oxígeno.

Un proceso que comprende además una etapa de endurecimiento superficial mediante calentamiento por inducción progresivo, preferentemente a una temperatura de aproximadamente 900-1150°C.

Un proceso en el que la etapa de revenir el cilindro comprende las etapas de:

- 40 d. Calentar el cilindro a aproximadamente de 450 a 530°C o entre 450 y 520°C, preferentemente 3 veces,
- e. Enfriar al aire el cilindro entre las etapas de calentamiento.

Un proceso que comprende además maquinar el cilindro para texturizar una capa blanca que comprende carburos eutécticos.

Un aspecto adicional de la invención proporciona el uso de un cilindro forjado de acuerdo con la invención para laminar el frío material que requiere una carga de laminación elevada.

Otras realizaciones de la invención proporcionan el uso de un cilindro forjado para la laminación en frío de materiales de alta resistencia como grados de calidad de acero AHSS.

5 El uso de un cilindro forjado de acuerdo con la invención para una selección de:

- laminadores de reducción por laminación en frío para montantes del laminador tempranos y de acabado, montantes del laminador reversibles y no reversibles para hojalata, chapa fina, acero al silicio, acero inoxidable, aluminio y cobre; o

- laminadores endurecedores y/o acabadores de laminación en frío; o

10 - configuraciones de laminador como montantes del laminador de 2 alturas, 4 alturas y 6 alturas con superficie texturizada o no texturizada.

El uso de un cilindro forjado de acuerdo con la invención como un cilindro de trabajo.

15 El cilindro de acuerdo con la invención es útil en muchas aplicaciones como un cilindro no recubierto. Sin embargo, en aspectos y realizaciones adicionales de la invención, el cilindro también puede estar provisto de un recubrimiento seleccionado para cualquier aplicación actual o específica. El recubrimiento puede ser, por ejemplo, un recubrimiento de cromo. El cilindro también puede usarse en aplicaciones de laminado en caliente.

Breve descripción de las figuras

La invención se describirá adicionalmente por medio de realizaciones ejemplificantes en las que:

La figura 1 muestra una imagen esquemática de un cilindro de acuerdo con la invención.

20 La figura 2 muestra una vista esquemática del proceso de producción de cilindros de acuerdo con la invención.

La figura 3 muestra una imagen esquemática de un lingote de acuerdo con la invención.

La figura 4 muestra un proceso de fabricación de un lingote de acuerdo con la invención.

25 La figura 5 A-B muestra una microestructura de la colada de calidad de cilindro fabricada usando un proceso de producción de acuerdo con la invención. La calidad de cilindro se muestra en vista de sección de las capas de trabajo de la calidad de cilindro.

La figura 6 A-B muestra una microestructura de la colada de calidad de cilindro fabricada usando un proceso de producción de acuerdo con la invención. La calidad de cilindro se muestra en vista de sección de las capas de trabajo de la calidad de cilindro.

30 La figura 7 muestra una microestructura de la colada de calidad de cilindro fabricada usando un proceso de producción de acuerdo con la invención pero con la desviación producida cuando se usa una velocidad de solidificación demasiado lenta. La calidad de cilindro se muestra en vista de sección de las capas de trabajo de la calidad de cilindro.

La figura 8 muestra un primer conjunto de ejemplos de velocidades de solidificación para el proceso de producción de cilindros de acuerdo con la invención.

35 La figura 9 muestra un segundo conjunto de ejemplos de velocidades de solidificación para el proceso de producción de cilindros de acuerdo con la invención.

Las figuras 10A-B muestran una microestructura de la colada de un lingote fabricado en condiciones de laboratorio cuando se usa el proceso de producción de acuerdo con la invención.

40 Las figuras 11A-B muestran una microestructura de la colada de un lingote fabricado en condiciones de laboratorio cuando se usa el proceso de producción de acuerdo con la invención pero con la desviación producida cuando se usa un contenido de Mo demasiado elevado.

La figura 12 muestra una vista esquemática de forjado de acuerdo con la invención.

La figura 13 muestra una vista esquemática de las etapas de formación del lingote forjándolo a un cilindro de acuerdo con la invención.

45 La figura 14 muestra una vista esquemática de endurecimiento progresivo por inducción con diferentes frecuencias del cilindro de acuerdo con la invención.

La figura 15A-B muestra una microestructura de la superficie de un cilindro de acuerdo con una calidad estándar después de la texturización superficial (texturización EDT).

La figura 15C-D muestra una microestructura de la superficie de un cilindro de acuerdo con la invención después de la texturización superficial (texturización EDT).

5 La figura 16A-D muestra defectos perjudiciales sobre un cilindro generado durante la fabricación de cilindros con bajo contenido de cromo y alto contenido de molibdeno.

La figura 17A muestra una realización de una microestructura de acuerdo con la invención con una red eutéctica abierta.

10 La figura 17B muestra un ejemplo de una microestructura con una red eutéctica cerrada en la que los carburos eutécticos 200 forman una red eutéctica cerrada con celdas eutécticas claramente separadas 212.

La figura 18 muestra un ejemplo que representa la microestructura de la superficie de un cilindro de acuerdo con la invención después de texturización por electrodescarga.

La figura 19 muestra la microestructura de cilindro de una profundidad de 4 mm sobre la superficie de cilindro después del revenido y el endurecimiento por inducción del cilindro.

15 Descripción detallada

Introducción

20 La invención se refiere, en general, a un cilindro forjado 1 que tiene, preferentemente, un peso de más de 400 kg o, como en realizaciones para aplicaciones comunes por ejemplo un peso de más de 1000 kg. El cilindro de acuerdo con la invención se produce de acuerdo con un método de producción de cilindros forjados que, en sus etapas generales, es conocido *per se* pero está adaptado específicamente de acuerdo con el concepto de la invención para ser capaz de producir un cilindro de acuerdo con la invención.

25 La invención se refiere principalmente a cilindros con un peso entre 400 kg y 10000 kg. El cilindro de acuerdo con la invención tiene un diámetro 2 de típicamente más de 200 mm y, por ejemplo entre 215 y 800 mm, y una longitud del cuerpo del cilindro 8 típicamente entre 1 y 3 metros y una longitud máxima típicamente de aproximadamente 6 metros incluyendo los cuellos 10. El cilindro 1 tiene una capa de trabajo 4 que corresponde a una parte de la capa externa y típicamente varía entre 20 mm y 120 mm de diámetro, dependiendo de la aplicación del cilindro específico y/o dependiendo del diámetro total del cilindro 2. Habitualmente, la parte del 1/6 externo 6 del diámetro 2 del cilindro se denomina como la capa de trabajo 4 del cilindro 1, véase la figura 1. La parte del 1/6 externo 6 del diámetro 2 del lingote 34 también se denomina como la capa de trabajo 4 del lingote 34 en el texto.

30 Existen problemas y desafíos especiales implicados en la fabricación de cilindros forjados grandes debido a los esfuerzos internos implicados cuando se forman estas grandes piezas de los cilindros. Un cilindro con un diámetro más pequeño no necesitaría el mismo tratamiento dado que los esfuerzos internos son menores y esos cilindros no son tan propensos a, por ejemplo, explotar durante el endurecimiento.

35 El proceso de producción de cilindros 12 de acuerdo con la invención es crucial para fabricar un cilindro 1 de este tamaño de acuerdo con la invención. Las propiedades mecánicas mejoradas tales como bajos esfuerzos internos residuales del cilindro de la invención resultan del proceso de producción de cilindros 12. Para conseguir el bajo nivel de esfuerzos internos residuales del cilindro resultante, los esfuerzos internos inducidos por gradiente térmico y transformación alotrópica tienen que minimizarse en todas las fases de los procesos de producción a través de colada, forja, tratamientos térmicos y maquinado. La microestructura del cilindro 1 de acuerdo con la invención comprende martensita revenida con una tasa de austenita residual inferior al 5% en volumen debido al proceso de producción del cilindro y debido a la composición química de acuerdo con la invención.

40 El proceso de producción de cilindros de acuerdo con la invención comprende una selección de las siguientes etapas básicas mostradas esquemáticamente en el diagrama de flujo de la figura 2:

- 14. Proporcionar una composición de acero
- 45 16. Fabricar un lingote 34
- 18. Forjar dicho lingote 34 en un cilindro 1
- 20. Tratamiento térmico preliminar de dicho cilindro 1
- 22. Desbastar dicho cilindro 1
- 24. Endurecer por inducción dicho cilindro 1

26. Tratamiento térmico de templado de dicho cilindro 1

28. Maquinar dicho cilindro 1

Se obtienen productos intermedios después de las etapas respectivas. Parámetros de control específicos así como una composición química del cilindro se seleccionan para producir un cilindro de acuerdo con la invención.

5 **Proceso de producción de cilindros**

La presente invención se refiere a un cilindro forjado (1) producido mediante un proceso que comprende las etapas de:

- 10
- a. Proporcionar una composición de acero de acuerdo con la reivindicación 1;
 - b. Fabricar un lingote manteniendo una velocidad de solidificación superior a 15°C/min en la capa de trabajo del lingote en el intervalo de solidificación;
 - c. Forjar el lingote en un cilindro;
 - d. Endurecer el cilindro mediante calentamiento por inducción;
 - e. Revenir el cilindro;

consiguiendo de este modo una microestructura del cilindro (1) que comprende:

- 15 - martensita revenida con una tasa de austenita residual menor del (>) 5% en volumen;

y

- una red abierta de carburos eutécticos con carburos eutécticos de menos del (>) 5% en volumen;

y en la que el cilindro (1) muestra:

- 20 - una dureza de más de 780 HV; y
- esfuerzos de compresión internos de menos de -500 MPa en valores absolutos.

En el que la composición química provista de acuerdo con la invención usada en combinación con las etapas del proceso descritas de acuerdo con la invención da al cilindro de acuerdo con la invención las propiedades deseadas en la microestructura del cilindro de acuerdo con la invención.

Un proceso de fabricación de un cilindro forjado de acuerdo con la invención comprende las siguientes etapas:

25 **Etapas 14: Provisión de una composición de acero.**

En una realización de la invención, la composición de acero comprende una aleación que comprende o está constituida por los siguientes constituyentes indicados en % en peso tal como se enumeran en la tabla 1. En la tabla 1, se explican el impacto de los constituyentes y el efecto del cilindro de la invención que se consigue mediante los constituyentes seleccionados y los intervalos específicos.

30

Tabla 1

Elementos de la composición química	Aleación de acuerdo con realizaciones: de la presente invención - % en peso.	Impacto (efecto) del intervalo de acuerdo con la invención
C	0,8 - 0,99	<p>El carbono es el elemento de aleación más importante e influyente en el acero. Además del carbono, sin embargo, cualquier acero no aleado contendrá silicio, manganeso, fósforo y azufre, que se producen involuntariamente durante la fabricación. La adición de elementos de aleación adicionales para conseguir efectos especiales y un incremento intencionado de los contenidos de manganeso y silicio da como resultado acero de aleación. Con el incremento del contenido de C, la resistencia y endurecibilidad del acero se incrementan, pero su ductilidad, forjabilidad, soldabilidad y maquinabilidad (usando herramientas de máquina de corte) se reducen. En la invención, el nivel de C es menor del 1% para evitar la formación de una red cerrada de carburos eutécticos demasiado grande.</p>
Mn	0,2 - 0,5	<p>El manganeso desoxida. Se mezcla con el azufre para formar sulfuro de Mn, reduciendo de este modo el efecto no deseable del sulfuro de hierro. Esto es de particular importancia en acero de decoletaje; reduce el riesgo de fragilidad al rojo. El Mn reduce de forma muy pronunciada la velocidad de enfriamiento crítica, incrementando de este modo la endurecibilidad. El límite de fluencia y la resistencia se incrementan mediante la adición de Mn y, además, el Mn afecta de forma favorable a la forjabilidad y la soldabilidad e incrementa de forma pronunciada profundidad de penetración del temple. En la invención Mn se mantiene por debajo del 0,5% para evitar una fragilidad excesiva.</p>

Si	0,2 -2,0	<p>El silicio está contenido en todo el acero de la misma manera que el manganeso, dado que los minerales de hierro incorporan una cantidad de éste de acuerdo con su composición. En la propia producción del acero, el silicio se absorbe en el fundido de los revestimientos de hornos refractarios. Pero solamente se denominan aceros al silicio aquellos aceros que tienen un contenido de Si > 0,40%. El Si no es un metal, sino un metaloide como lo son también, por ejemplo, el fósforo y el azufre. El Si desoxida. Habida cuenta la significativa reducción de la conductividad eléctrica, la intensidad del campo coercitiva y la baja pérdida de vataje, el Si se usa en aceros para chapa fina de calidad eléctrica. Por consiguiente, en la invención, un nivel demasiado elevado de Si influye en la respuesta a la Corriente de Eddy durante la inspección del cilindro que conduce a una posible lectura incierta y debe mantenerse por debajo del 1,5%</p>
S	< 0,015	<p>El azufre produce la segregación más pronunciada de todos los elementos adjuntos del acero. El sulfuro de azufre, conduce a fragilidad al rojo o fragilidad en caliente, dado que los eutécticos de sulfuro de bajo punto de fusión rodean a los granos de forma reticular, de modo que solamente se produce una ligera cohesión de estos últimos y, durante la formación en caliente, los límites de los granos tienden a romperse. Esto se incrementa adicionalmente mediante la acción del oxígeno. Dado que el azufre posee una afinidad considerable por el manganeso, se combina en forma de sulfuro de Mn, dado que éste es la menos peligrosa de todas las inclusiones existentes, estando presente distribuido en forma de puntos en el acero. La tenacidad en dirección transversal es reducida significativamente por el S. Debe mantenerse al nivel más bajo.</p>

P	< 0,015	<p>El fósforo se considera habitualmente como un parásito del acero, dado que P produce una segregación primaria pronunciada en la solidificación del fundido y la posibilidad de segregación secundaria en estado sólido debido a la restricción pronunciada de la fase gamma. Como resultado de la velocidad de difusión relativamente baja, tanto en el cristal alfa como en el gamma, la segregación que se ha producido solamente puede corregirse con dificultad. De acuerdo con la invención, el P debe mantenerse al nivel más bajo, preferentemente <0,015% en peso.</p>
Cr	7,0 - 13,0	<p>El cromo hace a los aceros endurecibles en aceite y al aire. Mediante la reducción de la velocidad crítica de refrigeración necesaria para la formación de martensita, incrementa la endurecibilidad, mejorando de este modo su susceptibilidad al endurecimiento y el revenido. La tenacidad al entalle se reduce sin embargo, pero la ductilidad sufre sólo muy ligeramente. La resistencia a la tracción del acero se incrementa en 80-100 N/mm² por 1% de Cr. El Cr es formador de carburos. Sus carburos incrementan la capacidad de corte y la resistencia al desgaste. La propiedad de resistencia a alta temperatura es promovida por el cromo. El elemento restringe la fase gamma y, de este modo, amplía el intervalo de ferrita.</p> <p>Con un contenido de Cr superior al 13%, tienden a formarse carburos eutécticos extendidos.</p> <p>Con un contenido de Cr inferior al 7%, el nivel de dureza sigue siendo demasiado bajo para aplicación de laminación en frío debido a un déficit de mecanismos de endurecimiento secundario.</p>

<p>Mo</p>	<p>0,6 -1,6</p>	<p>El molibdeno se alea habitualmente junto con otros elementos. La reducción de la velocidad de enfriamiento crítica mejora la endurecibilidad. El Mo reduce significativamente fragilidad del revenido y promueve la formación de grano fino. El incremento del límite de fluencia y la resistencia. Formador de carburos pronunciado; las propiedades de corte con acero de alta velocidad mejoran de este modo. Restricción muy grave de la fase gamma. Resistencia a temperatura elevada incrementada. Con un contenido de Mo incrementado, la forjabilidad se reduce. Por consiguiente, su contenido se mantiene por debajo del 1,6% para evitar la formación perjudicial de ferrita delta.</p>
<p>Ni</p>	<p><1,0</p>	<p>El níquel en acero produce un aumento significativo de la tenacidad al entalle, incluso en el intervalo de baja temperatura, y se alea por lo tanto para incrementar la tenacidad en aceros carburizados, tratables térmicamente y de tenacidad a temperatura bajo cero. El Ni no es formador de carburos.</p>
<p>V</p>	<p>>1-3</p>	<p>El vanadio refina el grano primario y de este modo la estructura de la colada. Formador de carburos pronunciado, proporcionando de este modo un nivel de dureza compatible con el proceso de laminación en frío, incremento de la resistencia al desgaste, elevada capacidad de corte y resistencia a temperatura elevada. Se usaba, por lo tanto, principalmente como elemento de aleación adicional en aceros de alta velocidad, formación en caliente y resistentes a la deformación por fluencia. Mejora significativa de la retención del revenido, reducción de la sensibilidad al sobrecalentamiento. El V restringe la fase gamma y desplaza el punto de Curie a temperaturas elevadas.</p> <p>Con un contenido de V inferior al 1%, el nivel de dureza permanece bajo respecto al proceso de laminación en frío.</p> <p>Con un contenido de V mayor del 3%, la maquinabilidad del acero se vuelve prohibitiva para el proceso de laminación en frío.</p>

W	0,0 - 2,0	<p>El tungsteno es un formador de carburos muy pronunciado (sus carburos son muy duros) y restringe la fase gamma. Mejora la tenacidad e impide el crecimiento del grano. El W incrementa la resistencia a temperatura elevada y la retención del revenido así como la resistencia al desgaste a temperaturas elevadas (calor al rojo) y por lo tanto la capacidad de corte. Se alea, por lo tanto, principalmente a aceros para herramientas de alta velocidad y de formación en caliente, así como tipos de acero resistentes a la deformación por fluencia y a aceros ultraduros.</p>
Ti	0,0 - 1,0	<p>El titanio debido a su muy fuerte afinidad por oxígeno, nitrógeno, azufre y carbono, el Ti tiene una acción desoxidante pronunciada, desnitrificante pronunciada y de formación de carburos pronunciada. Usado ampliamente como formador de carburos. También posee propiedades de afino de grano. El Ti restringe la fase gamma de forma muy pronunciada. A concentración elevada, conduce a procesos de precipitación y se añade a aleaciones magnéticas permanentes a causa de la consecución de intensidad de campo coercitiva elevada. El Ti incrementa la resistencia a la rotura por deformación por fluencia a través de la formación de nitruros esféricos. Finalmente, el Ti tiende de forma pronunciada a la segregación y la formación de bandas.</p>
Nb	0,0 - 0,5	<p>El niobio (Nb) y el tántalo (Ta) se producen casi</p>
Ta	0-0-0,5	<p>exclusivamente juntos y son muy difíciles de separar uno del otro, de modo que habitualmente se usan juntos. Formadores de carburo muy pronunciados, por lo tanto se aleaban particularmente como estabilizantes de aceros resistentes a productos químicos. Ambos elementos son formadores de ferrita y, por lo tanto, reducen la fase gamma. A causa del incremento de resistencia a temperatura elevada y resistencia a la rotura por deformación por fluencia debido a Nb.</p>

Zr	0,0 - 0,5	El circonio es un formador de carburos; uso metalúrgico como elemento de aleación para desoxidación, desnitrificación y desulfuración, dado que deja mínimos productos de desoxidación tras de sí. Las adiciones de Zr a aceros de decoletaje portadores de azufre completamente desoxidados tienen un efecto favorable sobre la formación sulfuro y, por lo tanto, la prevención de fragilidad al rojo. Incrementa la vida de materiales conductores de calentamiento y produce restricción de la fase gamma.
----	-----------	--

y que comprende opcionalmente además, H₂, N₂, O₂, Al, Cu, cada uno en cantidades inferiores al 0,4% en peso; y en el que la parte restante de la composición de acero es adecuadamente Fe, aparte de elementos fortuitos e impurezas posiblemente inevitables.

- 5 En una realización de la invención, la composición de acero comprende, en términos de % en peso,
- del 0,8 a menos del (>) 1% de C,
 - del 0,2 al 0,5% de Mn,
 - del 0,2 al 2,0% de Si,
 - del 7,0 al 13,0% de Cr,
- 10 del 0,6 al 1,6% de Mo,
- más del (>) 1,0 al 3,0% de V,
- en la que la parte restante del acero es sustancialmente Fe, aparte de impurezas inevitables.
- Un cilindro con una composición de acero constituida por, en términos de % en peso;
- del 0,8 a menos del (>) 1% de C,
- 15 del 0,2 al 0,5% de Mn,
- del 0,2 al 2,0% de Si,
 - del 7,0 al 13,0% de Cr,
 - del 0,6 al 1,6% de Mo,
 - más del (>) 1,0 al 3,0% de V,
- 20 menos del (>) 0,015% de P, y
- menos del (>) 0,015% de S, y
 - menos del (>) 1% de Ni
 - menos de 30 ppm de O₂, y
 - menos de (>) 100 ppm de N₂, y
- 25 menos de (>) 3 ppm de H₂
- menos del (>) 2% de W, y
 - menos del (>) 1% de Nb, y
 - menos del (>) 1% de Ti, y

menos del (>) 0,5% de Ta, y

menos del (>) 0,5% de Zr,

siendo la parte restante del acero sustancialmente Fe e impurezas inevitables;

- 5 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de C en la composición de acero está entre el 0,8 y el 0,99% de C en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de C en la composición de acero está entre el 0,85 y el 0,9% de C en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Mn en la composición de acero está entre el 0,4 y el 0,5% de Mn en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 10 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Si en la composición de acero está entre el 0,2 y el 1,5% de Si en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Si en la composición de acero está entre el 0,85 y el 1,15% de Si en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 15 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Cr en la composición de acero está entre el 7,0 y el 11% de Cr en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Cr en la composición de acero está entre el 7,3 y menos del (>) 8,0% de Cr en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Mo en la composición de acero está entre el 1,45 y el 1,55% de Mo en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 20 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de Ni en la composición de acero es menos del (>) 0,3 de Ni en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de V en la composición de acero está entre el 1,3 y el 2,1% de V en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 25 El cilindro de acuerdo con la invención, en el que el contenido de V en la composición de acero está entre el 1,3 y el 1,6% de V en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- Un cilindro de acuerdo con la invención, en el que la composición de acero está constituida por, en términos de % en peso:
- del 0,8 al 0,99% de C, y
- del 0,4 al 0,5% de Mn, y
- 30 del 0,2 al 1,5% de Si, y
- del 7,0 al 11% de Cr, y
- del 0,6 al 1,6% de Mo, y
- menos del (>) 1,0% de Ni, y
- del 1,0 al 2,1% de V, y
- 35 menos del (>) 0,015% de P, y
- menos del (>) 0,015% de S, y
- menos de 30 ppm de O₂, y
- menos de (>) 100 ppm de N₂, y
- menos de (>) 3 ppm de H₂, y
- 40 siendo la parte restante del cilindro sustancialmente Fe y posibles impurezas fortuitas y/o posiblemente inevitables.

Un cilindro de acuerdo con la invención, en el que la composición de acero está constituida por, en términos de % en peso:

del 0,85 al 0,9% de C, y

del 0,4 al 0,5% de Mn, y

del 0,85 al 1,15% de Si, y

del 7,3 a menos del (>) 8,0% de Cr, y

5 del 1,45 al 1,55% de Mo, y

menos del (>) 0,3% de Ni, y

del 1,3 – 1,6% de V y

menos del (>) 0,015% de P, y

menos del (>) 0,015% de S, y

10 menos de 30 ppm de O₂, y

menos de (>) 100 ppm de N₂, y

menos de (>) 3 ppm de H₂, y

siendo la parte restante del cilindro sustancialmente Fe y posibles impurezas fortuitas y/o posiblemente inevitables.

15 Etapa 16: Fabricación 16 de un lingote de forma cilíndrica 34

En una aplicación típica de la invención, un producto intermedio, el lingote 34 producido de acuerdo con el método de la invención preferentemente tiene un diámetro 32 de entre 450 y 1100 mm, una longitud 30 de hasta 6 metros y un peso entre 400 y 30000 kg, véase la figura 3. El método de fabricación de un lingote 34 de acuerdo con la invención implica usar una técnica que permita una rápida refrigeración durante la fabricación del lingote 34. Por ejemplo, el lingote 34 puede producirse usando diferentes técnicas de formación de lingotes. Las técnicas de fabricación adecuadas son aquellas que son capaces de ser controladas para conseguir y mantener una velocidad de solidificación mínima específica.

25 De acuerdo con realizaciones de la invención, la velocidad de solidificación promedio está controlada para ser superior a 15°C/min en la superficie y, preferentemente, también superior a 10°C/min en el núcleo durante la formación del lingote. Preferentemente, esta velocidad de solidificación se mantiene mientras se controla la refrigeración del material del lingote en el intervalo de solidificación que puede estar, por ejemplo, entre 1400°C y 1200°C. En otras realizaciones de la invención, la velocidad de solidificación promedio está controlada para ser superior a 35°C /min en la capa de trabajo en el intervalo de solidificación.

30 Desde un punto de vista práctico generalmente es difícil conseguir velocidades de solidificación muy elevadas cuando se implementa la invención. Realizaciones adicionales de la invención comprenden la velocidad de solidificación promedio en la capa de trabajo así como en el núcleo que está controlada para estar en el intervalo de 15°C/min a 55°C /min, o como alternativa de 35°C /min a 55°C/min, o como alternativa de 45 °C /min a 55°C/min.

35 Técnicas que se usan en la invención para controlar el proceso con respecto a los parámetros de solidificación de acuerdo con la invención son, por ejemplo, diferentes tipos de horno de afino por electroescoria (ESR), por ejemplo mover fusión de ESR moldeada o revestimiento de ESR o técnicas de formación por pulverización, etc.

Un lingote fabricado usando una velocidad de solidificación y una composición química tal como se describe en cualquiera de las realizaciones anteriores de acuerdo con la invención tiene las siguientes características:

- Macroestructura dendrítica muy fina.
- Uniformidad de composición química.
- 40 - Carencia de segregaciones macroscópicas y vetas oscuras en las capas intermedias.
- Sin segregaciones secundarias.

Además, un lingote fabricado usando un proceso de acuerdo con la invención tiene las siguientes ventajas en el producto laminado:

- 45 - Eliminación del efecto de "piel de naranja" (está constituido por el aspecto de los patrones de dendrita debido a la diferencia de desgaste de la zona interdendrítica).

- Sin problemas de poros.
- Acabado de superficie muy brillante.
- Homogeneidad de la textura obtenida mediante texturización.
- Ausencia de marcas relacionadas con la heterogeneidad de la estructura.

5 En una realización de la invención, se usa un horno de afino por electroescoria (ESR) para la fabricación del lingote 34 de acuerdo con la invención, para una vista esquemática véase la figura 4. El horno de afino por electroescoria (ESR) es capaz de fundir aproximadamente 300-1100 kg/h, y comprende una pinza de electrodo 36, un lanzador 38, un electrodo 40, una salida de la camisa de refrigeración 42, una entrada de la camisa de refrigeración 50 para enfriar el agua. En el ESR, el lingote se forma fundiendo el electrodo 40 y, por lo tanto, se forman diferentes capas en el material del lingote 48 tal como un baño de escoria 44, que está ubicado cerca del electrodo, y un baño de metal fundido 46.

10 El ESR también comprende una placa de partida 52 que está refrigerada con agua 54, véase la figura 4. La técnica del ESR puede requerir un lingote de partida (electrodo 40) obtenido mediante un proceso de fusión convencional que se fundirá de nuevo para formar un lingote 48 de acuerdo con la invención. La refusión usando el ESR está controlada cuidadosamente para conseguir la velocidad de solidificación promedio de acuerdo con realizaciones de la invención, por ejemplo una velocidad de solidificación promedio superior a 15°C/min en la capa de trabajo y también en el núcleo del lingote durante la formación del lingote.

15 El electrodo 40 en el proceso del ESR se calienta de este modo mediante una corriente eléctrica, por ejemplo una corriente de alto amperaje para refundir el acero del electrodo para formar un lingote de acuerdo con la invención. La corriente de alto amperaje del electrodo 40 está controlada cuidadosamente para controlar la velocidad de refundido y esto también afecta a la velocidad de refrigeración y de este modo a la velocidad de solidificación. La velocidad de solidificación depende del amperaje de la corriente suministrada al electrodo de acuerdo con una función predeterminada. Básicamente, cuando mayor sea el amperaje de la corriente, mayor será la potencia suministrada para refundir el electrodo 40 (véase la ley de Ohm). Cuanto mayor sea la potencia suministrada, mayor será la temperatura de la escoria y menor será la velocidad de solidificación.

20 Manteniendo la velocidad de refusión correcta y temperatura de la escoria, puede conseguirse solidificación direccional con una velocidad de solidificación de acuerdo con la invención en el núcleo y en la capa de trabajo mientras se enfría el lingote en ciertos intervalos. Por ejemplo, en una realización, una velocidad de solidificación que de promedio es superior a 15°C/min tanto en el núcleo como en la capa de trabajo del lingote mientras se enfría el lingote en el intervalo de solidificación de 1400°C a 1200°C.

25 De acuerdo con la invención y como consecuencia de la combinación de la composición de acero y el proceso del concepto de la invención, el contenido de carburos eutécticos en el lingote se mantiene por debajo del 5% en volumen. Esto proporciona una buena maquinabilidad del cilindro resultante. La maquinabilidad del cilindro es importante dado que, durante el uso del cilindro final, el rectificado es un procedimiento importante para conseguir la rugosidad adecuada del cilindro respecto al proceso de laminación en frío. Se sabe que una concentración de carburos eutécticos superior al 5% da una maquinabilidad insatisfactoria de dicho cilindro.

30 Además, otro efecto del bajo contenido de carburos eutécticos es una baja tendencia del cilindro a formar polvo durante el funcionamiento en el laminador. En contraste, puede generarse formación de polvo en cilindros que tienen elevadas concentraciones de carburos, lo que es negativo para los productos laminados así como el entorno de trabajo en el laminador.

35 Es especialmente importante controlar la velocidad de solidificación cuando se fabrica un lingote a partir de composiciones que comprenden niveles elevados de Cr (por ejemplo 7-13%). La elevada segregación que se obtiene si la velocidad de solidificación es demasiado lenta produce lingotes con alto contenido en cromo.

40 Una velocidad de solidificación superior a 15°C/min durante el intervalo de solidificación cuando se fabrica el lingote da una baja velocidad de segregación que da como resultado un contenido de carburos eutécticos inferior al 5% en volumen.

45 La presente invención se entenderá más fácilmente en referencia a los siguientes ejemplos. Sin embargo, estos ejemplos pretenden ilustrar variantes de realización de la etapa de formación del lingote de la invención y no debe interpretarse que limitan el alcance de la invención.

50 Ejemplos comparativos

El ejemplo 1 demuestra el efecto que el método de la invención tiene sobre la microestructura del cilindro 1 de acuerdo con la invención. El ejemplo 2 es un ejemplo comparativo. Los ejemplos se realizan durante la producción de prototipos de cilindro a escala natural. Los experimentos muestran la importante variación de la distribución de carburos eutécticos y la forma de la red en el lingote después de la colada dependiendo de la velocidad de

solidificación usada, véase los ejemplos y 2 a continuación y la tabla 2. La distribución de carburos eutécticos y la forma de la red que se ve en el lingote permanece en el cilindro final después del forjado y el revenido de acuerdo con la invención.

Ejemplo 1

5 Este ejemplo muestra el efecto sobre la microestructura en el cilindro de acuerdo con la invención cuando se usa una velocidad de solidificación superior a 15°C/min durante la formación del lingote 34 de acuerdo con la invención.

10 Las figuras 5A-B muestran un ejemplo de una microestructura de LINGOTE 1 de acuerdo con la invención que se fabrica usando un proceso con una velocidad de solidificación de 50°C/min de promedio (en 90 mm de profundidad del lingote) mientras se enfría el lingote de 1400°C a 1200°C. Las celdas eutécticas en el LINGOTE 1 ejemplar de acuerdo con la invención son pequeñas (940, 942), la figura 5B muestra la red fragmentada con una red eutéctica abierta. Véase también la figura 8 para los diferentes intervalos de solidificación en las diferentes partes del lingote durante la solidificación que muestra la velocidad de temperatura en el núcleo 82, la parte media del radio 84, 90 mm 86, 50 mm 88, 30 mm 90 y la superficie 92. La figura 5B es una ampliación de la figura 5A. Véase también la tabla 2.

15 Las figuras 6A-B muestran un ejemplo de una microestructura de LINGOTE 2 de acuerdo con la invención que se fabrica usando un proceso con una velocidad de solidificación de 18°C/min de promedio (en 90 mm de profundidad del lingote) mientras se enfría el lingote de 1400°C a 1200°C. La figura 6 muestra las celdas eutécticas en el LINGOTE 2 ejemplar de acuerdo con la invención, y estas son pequeñas, véase por ejemplo la distancia de sección transversal 1024. Véase también la figura 9 para los diferentes intervalos de solidificación en las diferentes partes del lingote durante la solidificación 80, que muestra la velocidad de temperatura en el núcleo 100, la parte media del radio 102, 90 mm 104, 50 mm 106, 30 mm 108 y la superficie 110. La figura 6B es una ampliación de la figura 6A. Véase también la tabla 2.

Conclusión

25 El método de acuerdo con la invención garantiza la ausencia de segregación en la parte media del radio del lingote. La ausencia de segregación en la parte media del radio (o 5/6 de la parte interna del diámetro del cilindro cilíndrico) garantiza la integridad del cilindro durante el proceso de endurecimiento. Una velocidad de solidificación superior a 15°C/min en las capas de trabajo genera, por lo tanto, una microestructura digitiforme que, tal como se ha explicado anteriormente, es mejor en términos de rectificado y contaminación por polvo, véase las figuras 5A-B y la figura 6A-B.

Ejemplo 2

30 Este ejemplo muestra el efecto de usar una velocidad de solidificación inferior a 15°C/min durante la formación del lingote TEST 1.

35 Las figuras 7A-C muestran un ejemplo de una microestructura del lingote TEST 1 que se fabrica usando un proceso con una velocidad de solidificación de menor de 15 (de hecho incluso inferior a 10)°C/min mientras se enfría el lingote en el intervalo de solidificación de 1400°C a 1200°C. Las celdas 700 del lingote TEST 1 comparativo en la figura 7A-C son de mayor tamaño, véase por ejemplo la sección transversal 708 que tiene una longitud de sección transversal 708 es mayor que la sección transversal más grande en, por ejemplo, el lingote 1 en el ejemplo 1 de acuerdo con la invención. El lingote TEST 1 también muestra porosidades debidas a la contracción 704. La red eutéctica conglomerada gruesa 702 también puede verse en la figura 7A-C. Véase también la tabla 2. La figura 7B-C es una ampliación de la figura 7A.

Conclusión:

45 Una velocidad de solidificación inferior a 15°C/min dentro del intervalo de solidificación da una elevada segregación de los carburos y una red de carburos gruesa 702 la parte media del radio de la estructura del lingote TEST 1 y también porosidades 704, véase la figura 7A-C. Una elevada segregación de los carburos y una red de carburos gruesa hace un cilindro de lingote desbastado blanco o un cilindro acabado fabricado mediante un lingote de acuerdo con TEST 1 frágil y, por lo tanto, propenso a explotar durante el endurecimiento por inducción (un cilindro de lingote desbastado blanco) o en el laminador en frío (cilindro acabado).

50 El ejemplo 2 también muestra que una velocidad de solidificación inferior a 15°C/min también hace al tamaño de la estructura de celdas eutécticas mayor y más gruesa en comparación con cuando se fabrica un lingote usando velocidades de solidificación superiores a 15°C/min de acuerdo con la invención.

Una velocidad de solidificación superior a 15°C/min durante el intervalo de solidificación cuando se fabrica el lingote da una baja velocidad de segregación que da como resultado un contenido de carburos eutécticos inferior al 5% en volumen.

Tabla 2

	Velocidad de solidificación promedio*	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	Efecto sobre la segregación/formación de carburos eutécticos	Efecto sobre la microestructura
LINGOTE 1	50°C/min	0,8	0,5	1,0	7,2	1,4	<1	1,8	Baja velocidad de segregación+ control sobre los carburos eutécticos	Véase la figura 5A-B
LINGOTE2	18°C/min	0,8	0,5	1,0	7,2	1,4	<1	1,8	Baja velocidad de segregación+ control sobre los carburos eutécticos	Véase la figura 6A-B
TEST 1	<15°C/min	0,8	0,5	1,0	7,2	1,4	<1	1,8	Alta velocidad de segregación –Sin control sobre los carburos eutécticos	Véase la figura 7A-C

La tabla 2 muestra datos experimentales para ensayo de lingotes con diferente velocidad de solidificación promedio (*) mientras se enfría el lingote de 1400°C a 1200°C en 90 mm de profundidad del lingote.

Ejemplos comparativos

5 El ejemplo 3 demuestra, por ejemplo, el efecto que el método de la invención y la composición química del lingote tienen sobre la microestructura del lingote y, por lo tanto, también sobre el cilindro de la invención. El ejemplo 4 es un ejemplo comparativo. Los ejemplos 3 y 4 muestran microestructura de lingotes producidos mediante experimentación en el laboratorio con dispositivo de solidificación controlado y velocidades de refrigeración controladas.

10 La forma de la red de carburos eutéctica en el lingote resulta afectada dependiendo de la composición química usada, véase también la tabla 3.

Ejemplo 3

15 Este ejemplo muestra la microestructura de un LINGOTE 1 producido de acuerdo con el método de la invención mediante experimentación en el laboratorio con dispositivo de solidificación controlado y velocidades de refrigeración controladas superiores a 15°C/min en el intervalo de solidificación. Cuando se usa una composición química que comprende Mo al 1,4% de acuerdo con la invención, se consigue un sistema de carburos eutécticos abierto 750 en la estructura del lingote, véase la figura 10A-B. Véase también la tabla 3. Este sistema de carburos eutécticos abierto 750 tal como se ve en el cilindro 1 de acuerdo con la invención se caracteriza como un patrón de dendritas y las estructuras de carburos eutécticos 752 no está formando red de carburos eutécticos cerrada (tal como en el ejemplo comparativo 4, TEST2) sino que en su lugar forma brazos de dendrita en una red, véase la figura 10A-B que muestra una imagen de la microestructura de un lingote con el 1,4% de Mo se produce de acuerdo con el proceso de la invención. Este sistema de carburos eutécticos abierto de acuerdo con la invención hace al cilindro más fácil de rectificar en comparación con cilindros fabricados usando cantidades superiores al 1,6% de Mo.

Ejemplo 4.

25 Un lingote TEST2 se fabrica usando un proceso de la invención y una composición donde los principales constituyentes son de acuerdo con las realizaciones anteriores pero con la diferencia de que la composición química difiere de la invención respecto a la cantidad de Mo. Este lingote TEST2 se produce de acuerdo con el método de la invención mediante experimentación en el laboratorio con dispositivo de solidificación controlado y velocidades de refrigeración controladas superiores a 15°C/min en el intervalo de solidificación. En TEST2 la cantidad de Mo es el 2,77%, véase también la tabla 3. Usar una composición química que comprende Mo al 2,77% en el proceso de la invención para producir un lingote hace que el sistema de carburo eutéctico del lingote tenga forma de celda de carburos eutécticos cerrados, véase la figura 11 A-B, y los carburos eutécticos 852 forman partes sustancialmente aisladas 850, como islas o estructuras de celdas segregadas en la figura 11A-B que muestra la microestructura de TEST2. Las zonas blancas en la figura 11A-B representan una matriz; principalmente hierro, la parte de color negro son carburos secundarios.

35 La excesiva adición de elementos de aleación en TEST2 conduce a la formación de una red de carburos gruesa vinculada a la segregación de carburos. Véase también la tabla 3.

Tabla 3

	Velocidad de solidificación promedio *	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	Efecto sobre la microestructura
TEST2	18°C/min	0,8	0,6	1,11	7,19	2,77	<1	0,44	La figura 11 A-B muestra una red de carburos eutécticos cerrada
LINGOTE 1	18°C/min	0,8	0,5	1,0	7,2	1,4	<1	1,8	La figura 10 A-B muestra una red abierta de carburos eutécticos.

La tabla 3 muestra datos experimentales para ensayo de lingotes con diferente velocidad de solidificación promedio(*) mientras se enfría el lingote de 1400°C a 1200°C. Los constituyentes diferentes de Mo están dentro de los intervalos tal como se ha descrito anteriormente.

Etapa 18: Forja de dicho lingote 34 en un cilindro

En una aplicación típica de la invención, el lingote 34 fabricado de acuerdo con la etapa anterior de la invención se forja a continuación. En una realización de la invención, el lingote 34 se forja en caliente por compresión usando un proceso conocido *per se* para reducir simultáneamente el área de sección transversal y cambiar la forma haciéndolos pasar entre un martillo y un yunque que forman el lingote en un cilindro 1 de acuerdo con la invención. El lingote se calienta en un horno dedicado, véase la figura 12 para una vista esquemática de la etapa de forja.

La etapa de forja 18 de acuerdo con la invención incluye las siguientes etapas, véase la figura 12; precalentamiento 56 del lingote 34 durante aproximadamente 6 h a una temperatura de entre 800 y 1200°C o entre 850 y 1100°C. La etapa de precalentamiento 56 implica calentar el lingote 34 desde la superficie todo el recorrido al interior del núcleo del lingote. La temperatura durante la forja se ajusta dentro del intervalo de 800 y 1200°C o entre 850 y 1100°C dado que una temperatura superior a 1200°C conduce a defectos de la estructura del lingote debido a combustión del cilindro. Las razones para mantener la temperatura del lingote en el intervalo de temperatura indicado son que una temperatura por debajo de 800°C conduce a la formación de grietas en el lingote. A medida que el lingote 34 se enfría, se vuelve más resistente y menos dúctil, lo que puede inducir la aparición de grietas si la deformación continúa.

Después del precalentamiento (etapa 56) del lingote 1, éste es forjado (etapa 60) usando una relación de forja de 1,35 a 2,0. La etapa de forja 60 y la etapa de precalentamiento 56 se repiten, denominándose este ciclo de forja habitualmente como un periodo de forjadura 58. Un periodo de forjadura 58 se repite tantas veces como sea necesario para formar un cilindro de acuerdo con la invención, véase la figura 12.

En una realización, el cilindro 1 de acuerdo con la invención se forja usando 3-6 periodos de forjadura 58 para forjar el lingote en un lingote desbastado del cilindro. Un lingote desbastado del cilindro es un cilindro que tiene la forma de un cilindro pero aún con un cuerpo del cilindro que carece de los tratamientos finales para convertirse en un cilindro utilizable en el laminador.

En otra realización, el lingote 34 se forja en varios periodos de forjadura 58, véase la figura 13 para una vista esquemática de la forja de un cilindro:

- a) en primer lugar, el lingote 34 se ajusta en área de sección transversal en unos pocos o 1-2 periodos de forjadura 58,
- b) un cuello del cilindro se fabrica en un periodo de forjadura,
- c) el otro cuello del cilindro se forja en el siguiente periodo de forjadura.

La forja de una composición de acero de acuerdo con la invención es más difícil de realizar, debido al elevado contenido de aleación de acuerdo con la invención que comparado con la forja de grados de calidad de acero convencionales ejemplares.

Durante la forja, el diámetro 32 del lingote 34 se reduce en el 30-50% mientras se forja en un cilindro 1 de acuerdo con la invención. Por ejemplo, un cilindro 1 de acuerdo con la invención tiene, preferentemente, un diámetro 2 entre 250 y 800 mm, véase la figura 1 y un lingote 34 de acuerdo con la invención tiene preferentemente un diámetro 32 entre 400 y 1000 mm o entre 450 y 1100 mm.

5 Es importante que el lingote 34 tenga la microestructura de carburos eutécticos deseada formada durante el proceso de fabricación del lingote 34 durante la etapa de solidificación 80. Se muestra que los lingotes 34 con la microestructura de carburos eutécticos de acuerdo con la invención con cantidades de carburos eutécticos inferiores al 5% en volumen son posibles de forjar usando técnicas de forjado en caliente por compresión. Usando un lingote formado con otro proceso, por ejemplo con una velocidad de solidificación inferior a 15°C/min hace que estos grandes cilindros conduzcan a explosión durante endurecimiento por inducción o en el laminador.

Etapa 20: Tratamiento térmico preliminar de dicho cilindro

10 En el proceso de fabricación de la invención, el cilindro se trata con una etapa preliminar de tratamiento térmico. En una realización de la invención, el cilindro se calienta a entre 700°C y 1100°C durante el tratamiento térmico preliminar 20 de acuerdo con la invención en un horno y a continuación el cilindro se mantiene a esa temperatura durante cierto tiempo hasta que se ha producido una difusión de hidrógeno satisfactoria. El tratamiento térmico preliminar (normalización y recocido esferoidal) se realiza para mejorar la maquinabilidad del cilindro.

Etapa 22: Desbastado 22 de dicho cilindro

15 En el proceso de fabricación de la invención, el cilindro se trata mediante una etapa de desbastado 22. El desbastado 22 del cilindro formado 1 de acuerdo con la invención significa retirar la capa externa del cilindro forjado. En una realización de la invención, la capa externa se retira durante el desbastado. El cilindro se denomina un lingote desbastado negro antes de ser tratado para el desbastado. Retirando la capa de oxidación en la superficie del cilindro, el cilindro de lingote desbastado negro se transforma a continuación en un lingote desbastado blanco.

Etapa 24: Endurecimiento por inducción de dicho cilindro 1

20 En el proceso de fabricación de la invención, el cilindro se trata mediante endurecimiento por inducción. Durante el endurecimiento por inducción del cilindro, se forma la superficie dura del cilindro. Véase la figura 14 para una vista esquemática de la etapa de endurecimiento por inducción.

25 En una realización de la invención, el cilindro se mueve lentamente hacia abajo mientras se aplica una corriente eléctrica o frecuencia de voltaje entre 50 y 1000 Hz a través de la disposición de inductores 70 durante la etapa de endurecimiento por inducción. El cilindro 1 se enfría usando refrigeración por agua 72 después de la etapa de calentamiento, véase la figura 14. La superficie dura formada también se denomina la capa de trabajo 4 del cilindro y es aproximadamente 1/6 (véase la figura 1, número 6) del diámetro total 2 del cilindro 1. La superficie del cuerpo del cilindro se calienta rápidamente cuando desciende a través de una serie de inductores que comprenden bobinas eléctricas que conducen a una caja de enfriamiento. La rápida penetración del calor del calentamiento por inducción y el enfriamiento rápido inmediato usando agua produce una capa definida de dureza uniforme de la superficie del cilindro. Tanto los cuellos como el núcleo del cilindro permanecen a baja temperatura durante todo el proceso. Durante el endurecimiento por inducción, frecuencias típicamente entre 50 y 1000 Hz se aplican sobre la superficie del cilindro 1 y una frecuencia seleccionada entre las partes inferiores de ese intervalo da una capa de trabajo más profunda 4 del cilindro 1. Otros factores que afectan a la profundidad de la capa de trabajo formada son el espacio entre inductores 70 (si se usan varios inductores). También el espacio o la distancia entre el inductor 70 y el cilindro 1 afecta a la profundidad de la capa de trabajo formada 4. La etapa de endurecimiento por inducción 24 de acuerdo con la invención podría ser de frecuencia individual, doble o de más frecuencias.

40 El cilindro de acuerdo con la invención explota usando técnicas de endurecimiento convencionales y el calentamiento por inducción es la técnica más adecuada para el endurecimiento del cilindro de acuerdo con la invención. El enfriamiento del cilindro 1 durante el endurecimiento por inducción 24 se realiza mediante un flujo elevado de agua fría.

45 En una realización de la invención, el endurecimiento por inducción 34 se realiza mediante doble endurecimiento por inducción y el enfriamiento del cilindro 1 después del endurecimiento por inducción 24 se realiza mediante un flujo elevado de agua que tiene una temperatura de 40°C y es transportada a un flujo de aproximadamente 300 m³/h y el cilindro se mueve hacia abajo a una velocidad de 0,3 mm a 1 mm/s.

En una realización, la etapa endurecimiento por inducción 24 dura entre 0,5 y 2 h.

Etapa 26: Revenido de dicho cilindro

50 En el proceso de fabricación de la invención, el cilindro 1 es revenido. El propósito de la etapa de revenido es reducir la fragilidad del cilindro y ajustar el nivel de dureza. La etapa de revenido 26 es una etapa crucial durante la formación del cilindro, dado que reduce los esfuerzos internos. Durante la etapa de revenido, el cilindro alcanza su microestructura final mediante difusión y precipitación secundaria de carburos. Se aplica refrigeración por aire entre las etapas de calentamiento de revenido. Los cilindros se revenen preferentemente 3 veces a de 450 a 530°C. La etapa de revenido hace que el cilindro obtenga el nivel de dureza requerido superior a 780 HV o entre 780 y 840 HV. El control preciso del tiempo y la temperatura durante el proceso de revenido son críticos para conseguir un metal con microestructura bien equilibrada ejemplo martensita revenida, de modo que el cilindro fabricado de acuerdo con

el proceso de la invención después del revenido comprende martensita revenida con una tasa de austenita residual inferior al 5% en volumen.

Etapa 28: Maquinado de dicho cilindro

5 En el proceso de fabricación de la invención, el cilindro es tratado preferentemente mediante una etapa de maquinado 28 antes de usarlo en el laminador. Por ejemplo en el laminador, se realiza un tratamiento de superficie específico de aplicación del cilindro mediante rectificado y otros tratamientos de superficie para conseguir la rugosidad deseada y la fricción relacionada en la superficie del cilindro. Los ejemplos de tratamientos de superficie del cilindro son, por ejemplo: Texturización por rayo láser (LBT), Texturización por haz de electrones (EBT) o texturización por electrodescarga (EDT).

10 En una realización, el cilindro se trata mediante tratamiento de superficie por rectificado y texturización por electrodescarga (EDT). Las figuras 15 A-B muestran la microestructura de la superficie de un cilindro que comprende una composición baja en cromo después de la texturización por electrodescarga. Las figuras 15C-D muestran la microestructura de la superficie del cilindro de acuerdo con la invención después de la texturización por electrodescarga. Debajo de la capa blanca 300 en la figura 15 D, están la capa re-austenitada y una zona ablandada más fina, dado que este grado tiene una temperatura de revenido elevada. También se observa que dentro de la capa blanca en la figura 15 D, los carburos eutécticos 302 no han resultado afectados por la energía de arco eléctrico. Para comparación, estas clases de carburos no están presentes en el cilindro descrito en la figura 15 A-B. El cilindro de acuerdo con la invención tiene mejores propiedades y rendimiento que un cilindro de grado convencional (véase la figura 15 A-B) debido a la presencia de los carburos eutécticos duros en la capa blanca.

20 La figura 18 muestra una figura más esquemática de la figura 15D, que representa la microestructura de la superficie de un cilindro de acuerdo con la invención en la que los carburos eutécticos recién formados 302, formados debido a la refusión, están presentes dentro de la capa blanca 304. También se muestran los carburos eutécticos formados previamente 300 en la figura 18. La superficie del cilindro en la figura 18 ilustra qué aspecto tiene la superficie después de la texturización por electrodescarga de acuerdo con la invención. La escala 306 representa 5 μm .

Un cilindro 1 de acuerdo con la invención fabricado mediante el proceso descrito anteriormente

25 Un cilindro típico de acuerdo con la invención tiene un diámetro de entre 215 y 800 mm o entre 250 y 700 mm, la longitud total incluyendo los cuellos es de hasta 6 metros, en la que la longitud del cuerpo del cilindro está entre 1-3 metros. El peso típico del cilindro está entre 400 y 10000 kg. La microestructura de un cilindro de acuerdo con una realización de la invención se caracteriza por comprender martensita revenida con una tasa de austenita residual inferior al 5% en volumen, y en la que el cilindro comprende una red abierta de carburos eutécticos de menos del 5% en volumen de carburos eutécticos; y el cilindro (1) muestra una dureza entre 780 y 840 HV; y esfuerzos de compresión internos de entre -300 y -500 MPa. Estas propiedades del cilindro se deben al proceso de producción de cilindros de la invención y también se deben a la composición química del cilindro de acuerdo con la composición química de la invención.

35 El cilindro de acuerdo con la invención está diseñado para usarlo en un laminador de bandas en frío que requiere cilindros que soporten presiones elevadas. El cilindro de acuerdo con la invención está diseñado para usarlo en el laminador de bandas en frío como un cilindro de trabajo y es adecuado en cualquier montante del laminador en el proceso de laminación y es adecuado en laminadores de 2alturas a 6alturas y puede tener una rugosidad en la superficie de 0,3-0,5 μm que se requiere en los montantes del laminador de acabado a una rugosidad de 1,5-2,5 μm que se requiere en los montantes del laminador iniciales.

La presente invención se entenderá más fácilmente mediante referencia a los siguientes ejemplos. Sin embargo, estos ejemplos pretenden ilustrar las propiedades del cilindro de la invención y no debe interpretarse que limitan el alcance de la invención.

45 En la tabla 4, se comparan diferentes cilindros con el cilindro de acuerdo con la invención. Todos los cilindros comprenden Mn en cantidades entre el 0,2-0,5% en peso.

Dos ejemplos de la invención

50 El CILINDRO 1 de acuerdo con la invención en la tabla 4 se fabrica usando el proceso de acuerdo con la invención, usando una velocidad de solidificación de más de 15°C/min en la capa de trabajo durante el intervalo de solidificación y también usando el calentamiento por inducción usando una frecuencia de 50 a 250 HZ y reviniendo 3 veces a de 450 a 530°C.

55 El CILINDRO 2 de acuerdo con la invención en la tabla 4 se fabrica usando el proceso de acuerdo con la invención, usando una velocidad de solidificación de 18°C/min en la capa de trabajo durante el intervalo de solidificación y también usando el calentamiento por inducción usando una frecuencia de 50 a 250 HZ y reviniendo 3 veces; en primer lugar a 490°C, a continuación a 490°C y en el último revenido a 480°C. La figura 19 muestra la microestructura de un cilindro después del revenido y el endurecimiento por inducción, muestreado a una

profundidad de 4 mm de la superficie del CILINDRO 2. La microestructura 1034 con la red eutéctica abierta y los carburos eutécticos 1032 del cilindro también se muestra en la figura 19.

Tabla 4

Cilindro	C	Cr	Mo	V	Nivel promedio de dureza (HV)	Pico de endurecimiento secundario	Notas
TEST4	0,6	5	1,1	0,25	700	No	A ablandar para cilindro de trabajo en aplicación de laminación en frío
TEST5	0,8	10	1,1	0,25	730	Ligeramente	A ablandar para montante del laminador tardío-conveniente en montante del laminador temprano
TEST6	0,7	5	2	0,5	750	Ligeramente	Imposible de producir. Rechazo debido a la formación de ferrita delta a temperatura elevada durante el periodo de forjadura. Véase la figura 16 A-D que muestra defectos perjudiciales 502 en un cilindro generado durante la fabricación de cilindros con bajo contenido en cromo. Los efectos perjudiciales 502 son, por ejemplo, porosidades y contracción.

TEST7	0,9	8	2	2	820	Abruptamente	Adaptado para laminación en frío (requerido para laminación de aluminio)
CILINDRO1	0,9	8	1,5	1,45	800	Abruptamente	Adaptado para laminación en frío y fácil de rectificar en comparación con TEST 7, por ejemplo.
CILINDRO2	0,87	7,8	1,5	1,5	800	Abruptamente	Adaptado para laminación en frío y fácil de rectificar en comparación con TEST 7, por ejemplo.
El contenido de Mn para los cilindros en la tabla 4 están todos dentro del intervalo de 0,4 a 0,5, el contenido de Si para los cilindros en la tabla 4 están todos dentro del intervalo de 0,2 a 2,0, Ni está siempre por debajo del 1%.							

Aplicaciones del cilindro

Las aplicaciones en las que los cilindros son adecuados son:

Industria del aluminio:

- 5 - Montantes del laminador individuales de 4 alturas sin laminador inverso

Industria del acero:

- Inversión de montante del laminador individual 4 alturas
- 4 y 5 montantes del laminador en tándem 4 alturas para chapa fina en proceso continuo y discontinuo
- 4 y 5 montantes del laminador en tándem 4 alturas para hojalata
- 10 - Laminador en tándem 6 alturas para chapa fina

Uso del cilindro

El cilindro forjado de acuerdo con la invención es adecuado para usarlo, por ejemplo, como un cilindro de trabajo o cilindro intermedio en laminadores de laminación en frío o, por ejemplo, en;

- 15 - laminadores de reducción por laminación en frío para montantes del laminador tempranos y de acabado, montantes del laminador reversibles y no reversibles para hojalata, chapa fina, acero al silicio, aluminio o cobre.
- Laminadores endurecedores y/o acabadores de laminación en frío ;
- Configuraciones de laminador tales como montantes del laminador de 2 alturas, 4 alturas y 6-altura con superficie texturizada o sin texturizar.
- 20 - Laminación en frío de grados de calidad de acero AHSS.

Superficie del cilindro

Textura de la superficie

Un problema con los cilindros conocidos es que la textura de superficie se desgasta durante el uso del cilindro. La textura de superficie es importante, dado que garantiza el coeficiente de fricción para evitar deslizamiento y/o descarrilamiento de la banda. Además, determina la textura de la superficie de la banda que da las propiedades superficiales cruciales para el dibujo en profundidad y el pintado de la banda laminada. Los cilindros de acuerdo con la invención muestran una capacidad incrementada de mantener su textura de superficie debido a una capa blanca del cilindro y en la que la capa blanca comprende carburos eutécticos duros tales como M_7C_3 . En la capa de trabajo; la microestructura del cilindro de la invención después del tratamiento térmico final está constituida por martensita revenida con una tasa de austenita residual inferior al 5% en volumen y carburos tales como MC y M_2C (M = metal, C = carbono) distribuidos de forma fina y homogénea en la matriz. Este tipo de microestructura ha demostrado ser importante para mantener la textura de superficie del cilindro.

Transferencia de rugosidad

La transferencia de rugosidad de la superficie del cilindro cambia durante el uso del cilindro. Los cilindros de acuerdo con la invención muestran una capacidad incrementada de mantener la transferencia de rugosidad constante durante la laminación, lo que es importante para la vida útil del cilindro. Esto se debe a la composición especial reivindicada y también se debe al método de producción usado cuando se fabrican los cilindros.

Laminación sin programa en el laminador

Un problema durante el uso de cilindros es que la suciedad que se acumula en la superficie del cilindro deja una línea de tránsito en la banda. En la capa de trabajo, el cilindro de acuerdo con la invención tiene una superficie resistente debido a que la microestructura del cilindro de la invención comprende martensita revenida con una tasa de austenita residual inferior al 5% en volumen y carburos tales como MC y M_2C distribuidos de forma fina y homogénea en la matriz, donde M indica metal y C indica carbono. Esta microestructura especial incrementa las posibilidades de una laminación sin programa.

Descamación

Otro problema con los cilindros conocidos es que la propagación de grietas dentro de los cilindros está controlada por los esfuerzos acumulativos, inducidos por la operación de laminación y el campo de esfuerzos internos residuales del cilindro. Un cilindro en funcionamiento está sometido a un complejo conjunto de esfuerzos. El cilindro de acuerdo con la invención muestra un nivel bajo de esfuerzos internos residuales y, por lo tanto, una mejor resistencia a la descamación y esto hace que la tasa de incidentes del laminador sea baja.

La resistencia mecánica del cilindro de la invención es mejor en comparación con un cilindro con la misma composición de aleación que el cilindro de la invención pero fabricado usando otro método de producción. La resistencia mecánica del cilindro de acuerdo con la invención se debe a la red eutéctica abierta formada en la capa de trabajo del cilindro. Esta red eutéctica abierta se forma durante la etapa de refrigeración en el proceso de fabricación del cilindro. Una velocidad de solidificación superior a $15^\circ\text{C}/\text{min}$ durante la etapa de refrigeración cuando se fabrica el lingote es crucial para la formación de la red abierta que está presente en los cilindros de acuerdo con la invención.

También, la acumulación de diversos tratamientos de revenido a temperatura elevada después del endurecimiento, por ejemplo entre $450\text{-}530^\circ\text{C}$ durante la producción del cilindro, induce una importante relajación de esfuerzos internos del cilindro. Los esfuerzos internos se minimizan usando calentamiento diferencial de la capa externa. La profundidad de penetración del temple del cilindro de acuerdo con la invención puede estar controlada entre 20 y 120 mm de diámetro medida desde la superficie de cilindro y hacia el interior. Los esfuerzos de compresión internos del cilindro de la invención están preferentemente entre -300 y -500 MPa en valor absoluto o por ejemplo menores de -400 MPa.

Microestructura del cilindro

La figura 17A muestra una vista esquemática de una microestructura del cilindro ejemplificada de acuerdo con la invención. En la figura 17A se ven los brazos de dendrita 210, compuestos por carburos eutécticos que forman las estructuras de celda eutéctica 204 formando una red de carburos abierta. La red eutéctica abierta compuesta por brazos de dendrita 210 que forman celdas eutécticas 204, que pueden verse en la figura 17A, se forma en el proceso debido a la composición química específica de acuerdo con la invención. La escala 208 representa $100\ \mu\text{m}$.

En una realización de la invención, la microestructura del cilindro de la invención comprende una red eutéctica abierta que solamente se extiende por un grano o dos granos de las estructuras de las celdas.

En comparación, la figura 17B muestra una red eutéctica cerrada en la que los carburos eutécticos 200 forman una red eutéctica cerrada con celdas eutécticas claramente separadas 212. Este tipo de red no se desea en el cilindro de acuerdo con la invención debido a la fragilidad del cilindro si éste comprende este tipo de microestructura. La escala 214 representa $100\ \mu\text{m}$.

La invención se ha explicado por medio de diferentes realizaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un cilindro forjado (1), que comprende una composición de acero que comprende, en términos de % en peso, del 0,8 a menos del (>) 1% de C,
- 5 del 0,2 al 0,5% de Mn,
del 0,2 al 2,0% de Si,
del 7,0 al 13,0% de Cr,
del 0,6 al 1,6% de Mo,
de más del (>) 1,0 al 3,0% de V,
- 10 que comprende además;
menos del (>) 1% de Ni
menos del (>) 2% de W, y
menos del (>) 1% de Nb, y
menos del (>) 1% de Ti, y
- 15 menos del (>) 0,5% de Ta, y
menos del (>) 0,5% de Zr, y
menos del (>) 0,015% de P, y
menos del (>) 0,015% de S, y
menos de (>) 30 ppm de O₂, y
- 20 menos de (>) 100 ppm de N₂, y
menos de (>) 3 ppm de H₂
menos del (>) 0,4% de Cu
menos del (>) 0,4% de Al
siendo la parte restante del acero Fe e impurezas inevitables;
- 25 y en el que la microestructura del cilindro (1) comprende:
- martensita revenida con una tasa de austenita residual de menos del (>) 5% en volumen; y
 - una red abierta de carburos eutécticos con carburos eutécticos a menos del (>) 5% en volumen;
- y en el que el cilindro (1) muestra:
- una dureza de entre 780 y 840 HV; y
- 30 - esfuerzos de compresión internos de entre -300 y -500 MPa.
2. El cilindro de la reivindicación anterior, en el que la red abierta de carburos eutécticos delimita un patrón de celdas eutécticas similar a una celda.
- 35 3. El cilindro de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la red abierta de carburos eutécticos comprende brazos dendríticos.

4. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la microestructura está presente al menos en una capa de trabajo del cilindro.
- 5 5. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de C en la composición de acero está entre el 0,8 y el 0,99% de C en términos de % en peso del peso total del cilindro.
6. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de C en la composición de acero está entre el 0,85 y el 0,9% de C en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 10 7. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de Mn en la composición de acero está entre el 0,4 y el 0,5% de Mn en términos de % en peso del peso total del cilindro.
8. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de Si en la composición de acero está entre el 0,2 y el 1,5% de Si en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 15 9. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de Si en la composición de acero está entre el 0,85 y el 1,15% de Si en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 20 10. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de Cr en la composición de acero está entre el 7,0 y el 11% de Cr en términos de % en peso del peso total del cilindro.
11. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de Cr en la composición de acero está entre el 7,3 y menos del (>) 8,0% de Cr en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 25 12. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de Mo en la composición de acero está entre el 1,45 y el 1,55% de Mo en términos de % en peso del peso total del cilindro.
13. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de Ni en la composición de acero es menos del (>) 0,3 de Ni en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 30 14. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de V en la composición de acero está entre el 1,3 y el 2,1% de V en términos de % en peso del peso total del cilindro.
- 35 15. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de V en la composición de acero está entre el 1,3 y el 1,6% de V en términos de % en peso del peso total del cilindro.
16. Un cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la composición de acero está constituida por, en términos de % en peso:
- 40 del 0,8 al 0,99% de C, y
del 0,4 al 0,5% de Mn, y
del 0,2 al 1,5% de Si, y
del 7,0 al 11% de Cr, y

del 0,6 al 1,6% de Mo, y
menos del (>) 1,0% de Ni, y
del 1,0 al 2,1% de V, y
menos del (>) 0,015% de P, y
5 menos del (>) 0,015% de S, y
menos de (>) 30 ppm de O₂, y
menos de (>) 100 ppm de N₂, y
menos de (>) 3 ppm de H₂, y

siendo la parte restante del cilindro sustancialmente Fe y posibles impurezas fortuitas y/o posiblemente inevitables.

10

17. Un cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la composición de acero está constituida por, en términos de % en peso:

del 0,85 al 0,9% de C, y
del 0,4 al 0,5% de Mn, y
15 del 0,85 al 1,15% de Si, y
del 7,3 a menos del (>) 8,0% de Cr, y
del 1,45 al 1,55% de Mo, y
menos del (>) 0,3% de Ni, y
del 1,3 al 1,6% de V y
20 menos del (>) 0,015% de P, y
menos del (>) 0,015% de S, y
menos de (>) 30 ppm de O₂, y
menos de (>) 100 ppm de N₂, y
menos de (>) 3 ppm de H₂, y

25

siendo la parte restante del cilindro sustancialmente Fe y posibles impurezas fortuitas y/o posiblemente inevitables.

18. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que está configurado, además, para su uso como un cilindro de trabajo en laminación en frío.

30

19. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene, además, un peso de más de 400 kg.

20. El cilindro de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene, además, un diámetro en el intervalo de 215-800 mm.

35

21. Un proceso para fabricar un cilindro forjado, comprendiendo el proceso las etapas de:

- a. Proporcionar una composición de acero de acuerdo con la composición de acero mencionada en la reivindicación 1
- b. Fabricar un lingote manteniendo una velocidad de solidificación superior a 15°C/min tanto en la capa de trabajo como también en el núcleo del lingote en el intervalo de solidificación;

- c. Forjar el lingote a un cilindro;
- d. Endurecer el cilindro mediante calentamiento por inducción;
- e. Revenir el cilindro a una temperatura entre 450-530°C para alcanzar una dureza entre 780 y 840 HV;

consiguiendo de este modo una microestructura del cilindro (1) que comprende:

- 5 - martensita revenida con una tasa de austenita residual de menos del (>) 5% en volumen; y
- una red abierta de carburos eutécticos con carburos eutécticos de menos del (>) 5% en volumen;

y en el que el cilindro (1) muestra:

- una dureza de entre 780 y 840HV; y
- esfuerzos de compresión internos de entre -300 y -500 MPa.

10

22. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 21, en el que el lingote se fabrica manteniendo una velocidad de solidificación en la capa de trabajo así como en el núcleo en el intervalo de 15°C/min a 55°C /min, o como alternativa de 17°C /min a 50°C/min, o como alternativa de 35°C /min a 55°C/min, o como alternativa de 45°C /min a 55°C/min.

15

23. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21 a 22, en el que el lingote se fabrica manteniendo una velocidad de solidificación superior a 35°C/min en la capa de trabajo del lingote en el intervalo de solidificación.

20

24. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 23, en el que el intervalo de solidificación está entre 1400 y 1200°C para dicho lingote.

25

25. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 24, en el que el lingote se fabrica manteniendo una velocidad de solidificación predeterminada en un proceso técnico con un horno de afino por electroescoria (ESR) controlando el suministro de amperios de corriente de acuerdo con una función predeterminada de la velocidad de solidificación.

30

26. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 25, en el que la etapa de forjar el lingote a un cilindro comprende las etapas de:

- a. Calentar el lingote a una temperatura de entre 800 - 1200°C o entre 850 - 1100°C, preferentemente durante un periodo de aproximadamente 6 horas;
- b. Forjar el lingote a una temperatura por encima de 800°C o por encima de 850°C;
- c. Repetir las etapas a-b hasta que el lingote se ha formado en un cilindro que tiene la forma y el tamaño deseados.

35

27. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 26, que comprende además, después de la etapa de forja, una etapa de tratamiento térmico preliminar, preferentemente a una temperatura de entre 700 y 1100°C o entre 800 y 900°C, que puede incluir tratamiento por difusión de oxígeno.

40

28. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 27, en el que la etapa de revenido del cilindro comprende las etapas de:

- a. Calentar el cilindro a aproximadamente 450 - 530 °C, preferentemente 3 veces,
- b. Refrigerar al aire el cilindro entre las etapas de calentamiento.

29. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 28, que comprende, además, maquinar el cilindro para texturizar una capa blanca que comprende carburos eutécticos.
- 5 30. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 29, en el que dichos carburos eutécticos en la capa blanca se seleccionan entre M_7C_3 .
31. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 21 a 30, que comprende, además, las características de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21.
- 10 32. Uso de un cilindro de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, para laminar en frío material que requiere una carga de laminación elevada.
33. Uso de un cilindro de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, para la laminación en frío de materiales de alta resistencia como grados de calidad de acero AHSS.
- 15 34. Uso de un cilindro de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20 para una selección de:
- laminadores de reducción por laminación en frío para montantes del laminador tempranos y de acabado, montantes del laminador reversibles y no reversibles para hojalata, chapa fina, acero al silicio, acero inoxidable, aluminio y cobre; o
 - 20 - laminadores endurecedores y/o acabadores de laminación en frío ; o
 - configuraciones de laminadores tales como montantes del laminador de 2 alturas, 4 alturas y 6 alturas con superficie texturizada o no texturizada.
35. Uso de un cilindro de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, como un cilindro de trabajo.
- 25 36. Un cilindro de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cilindro no está recubierto.
- 30 37. Un cilindro de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cilindro está recubierto con un recubrimiento seleccionable, por ejemplo un recubrimiento de cromo.

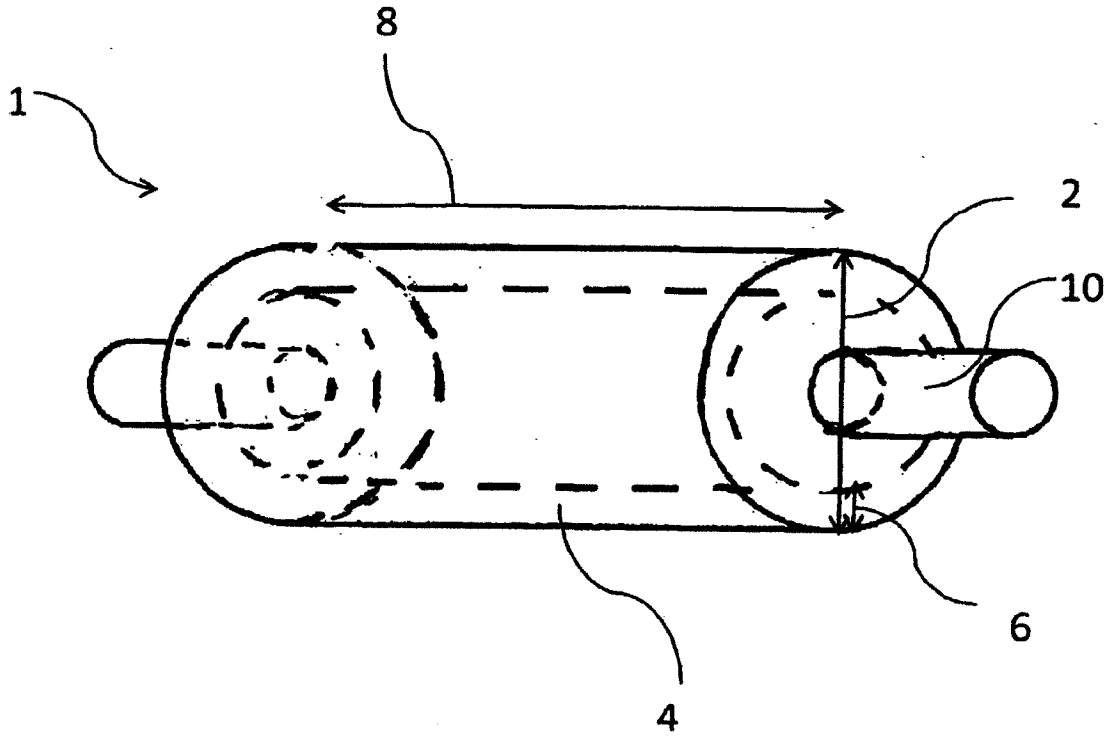


FIG.1

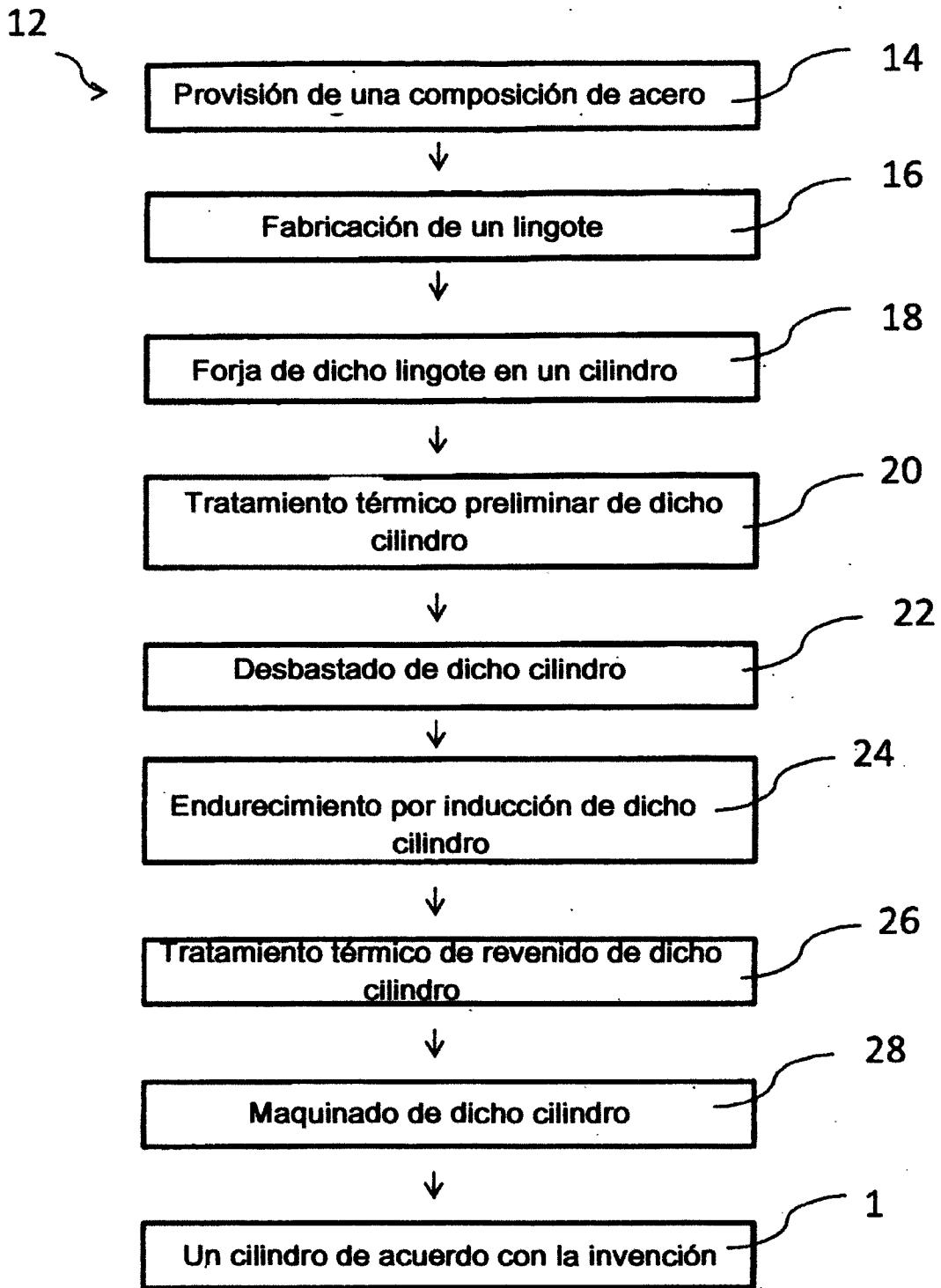


FIG.2

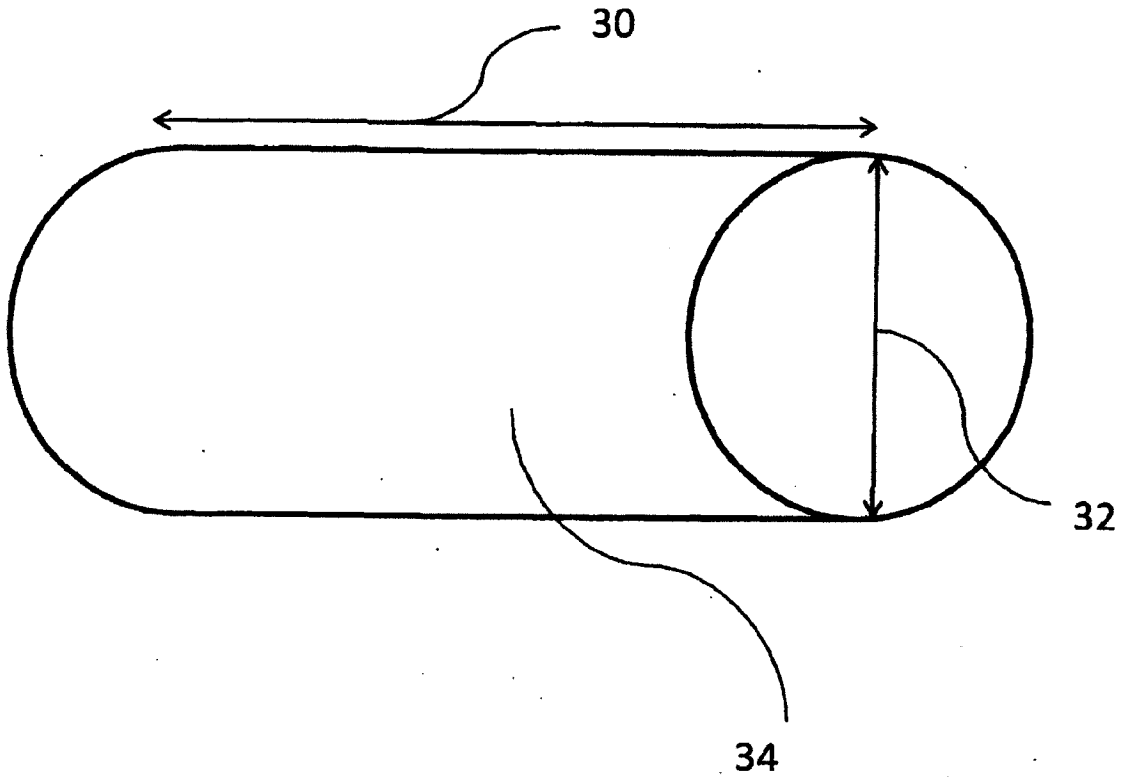


FIG.3

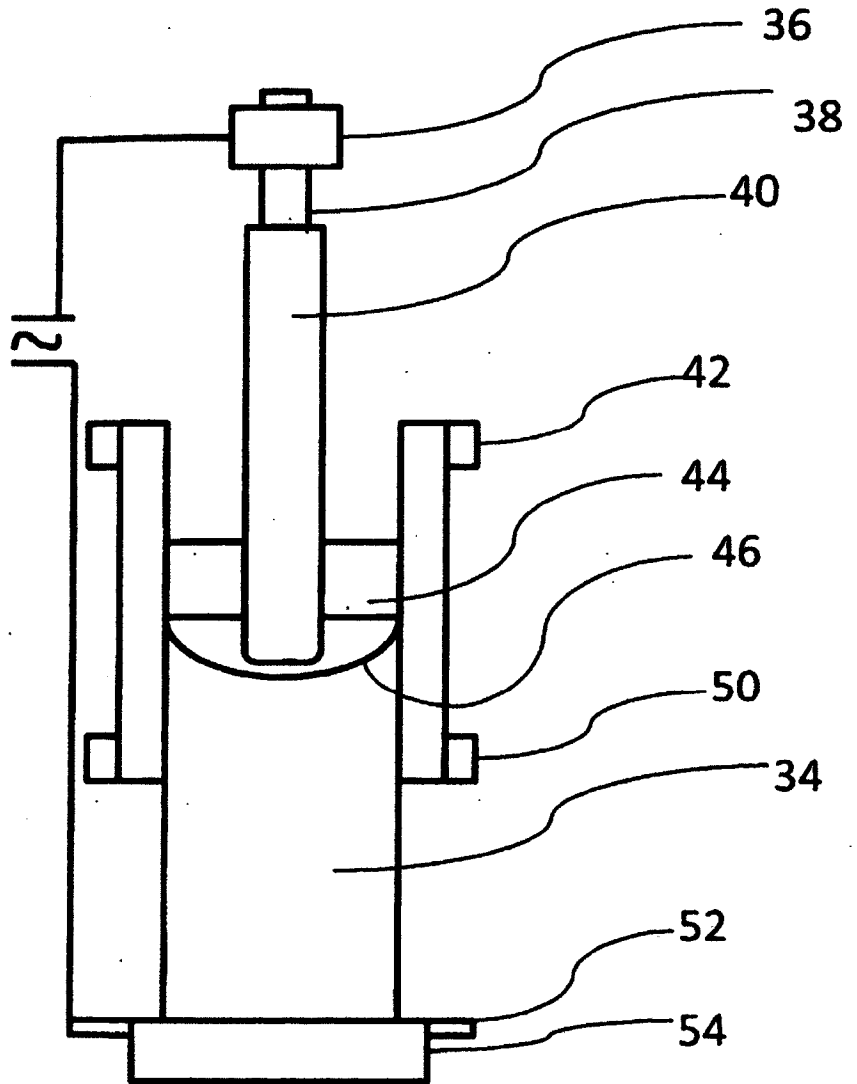


FIG.4

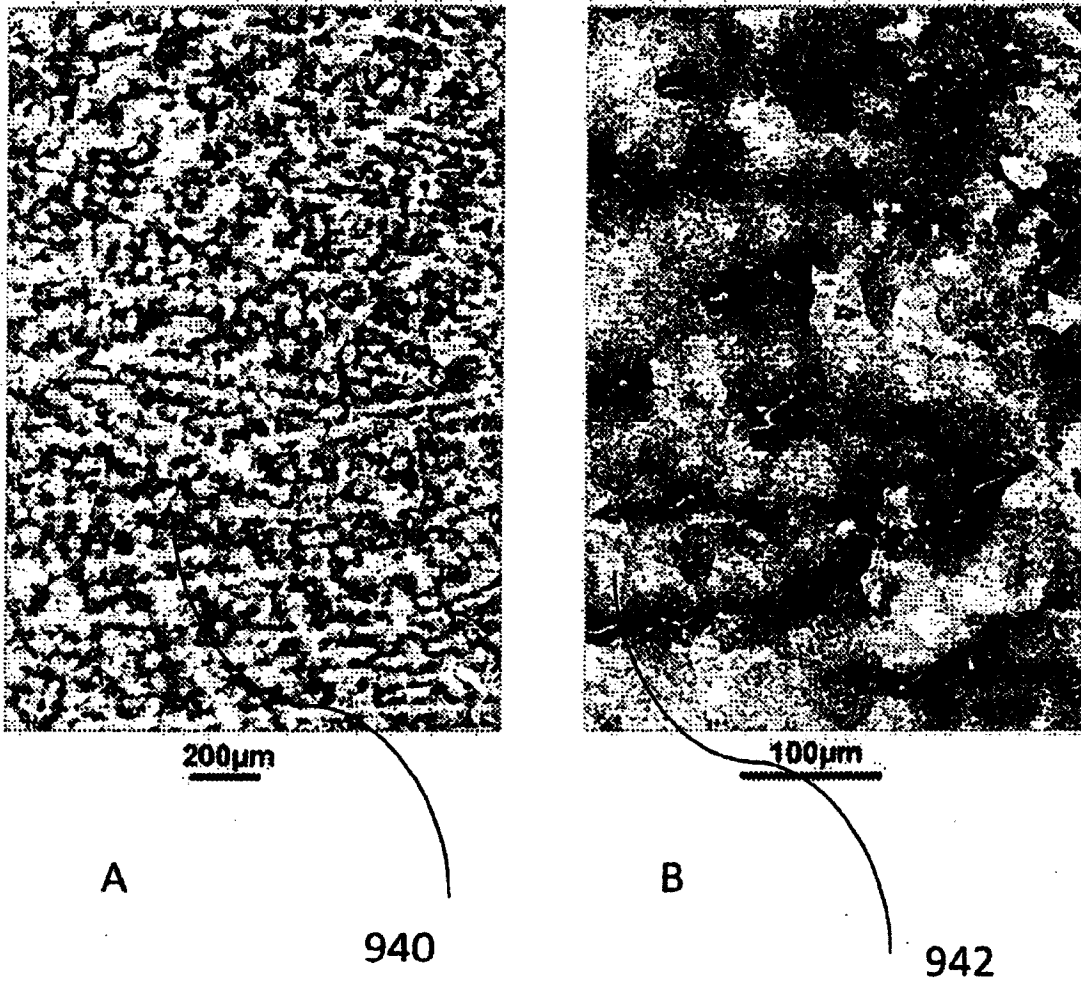


FIG. 5

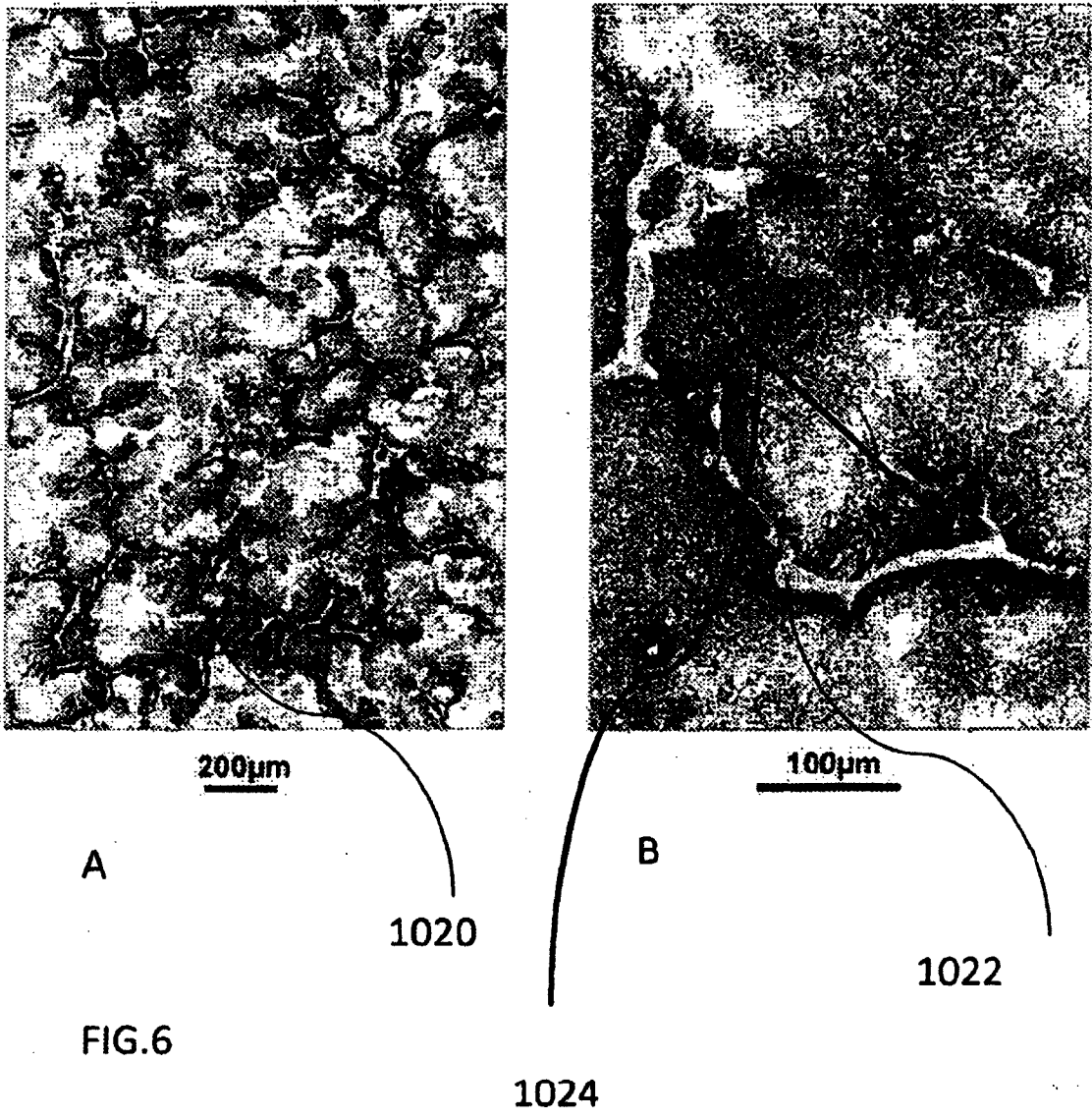


FIG.6

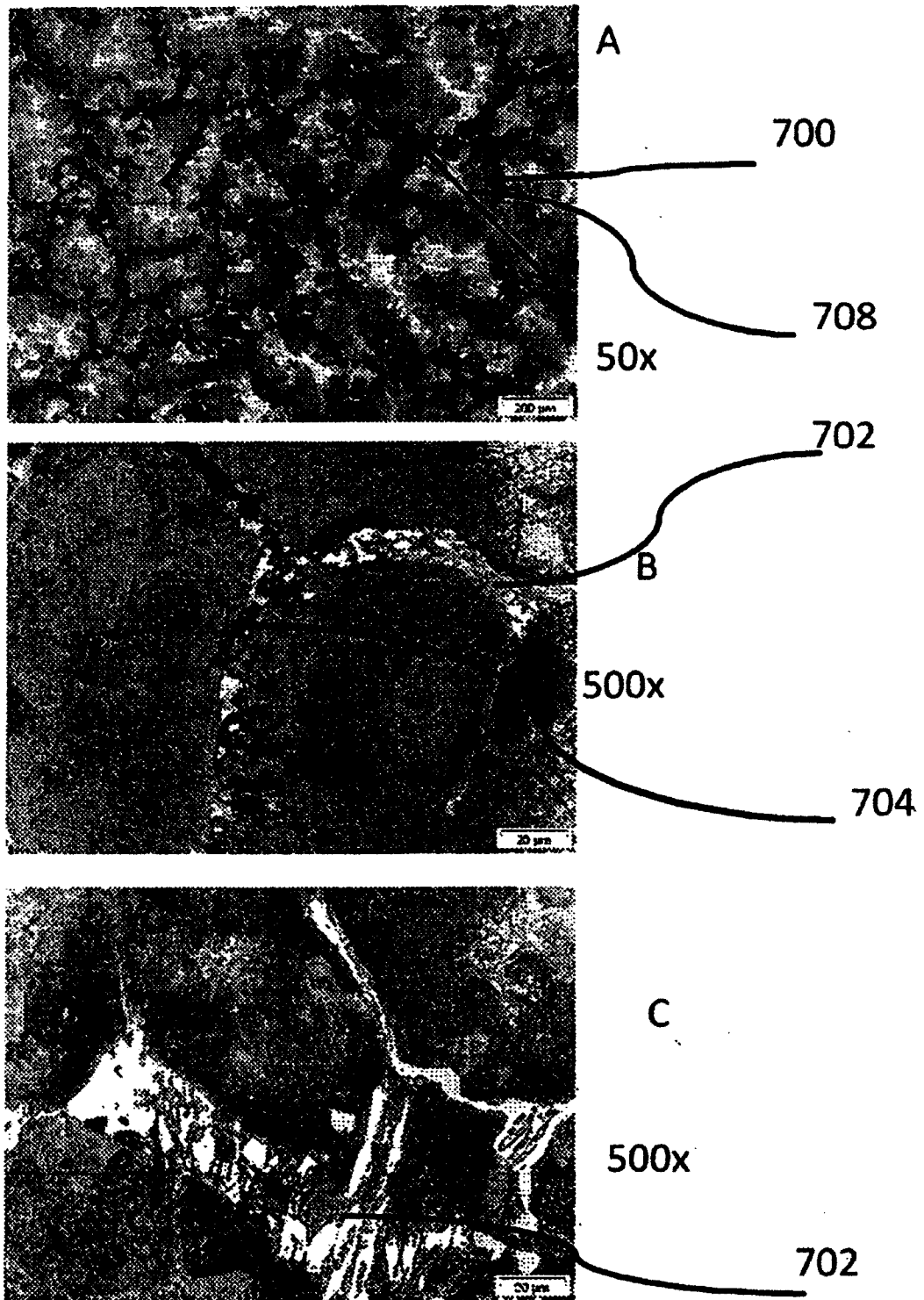


FIG.7

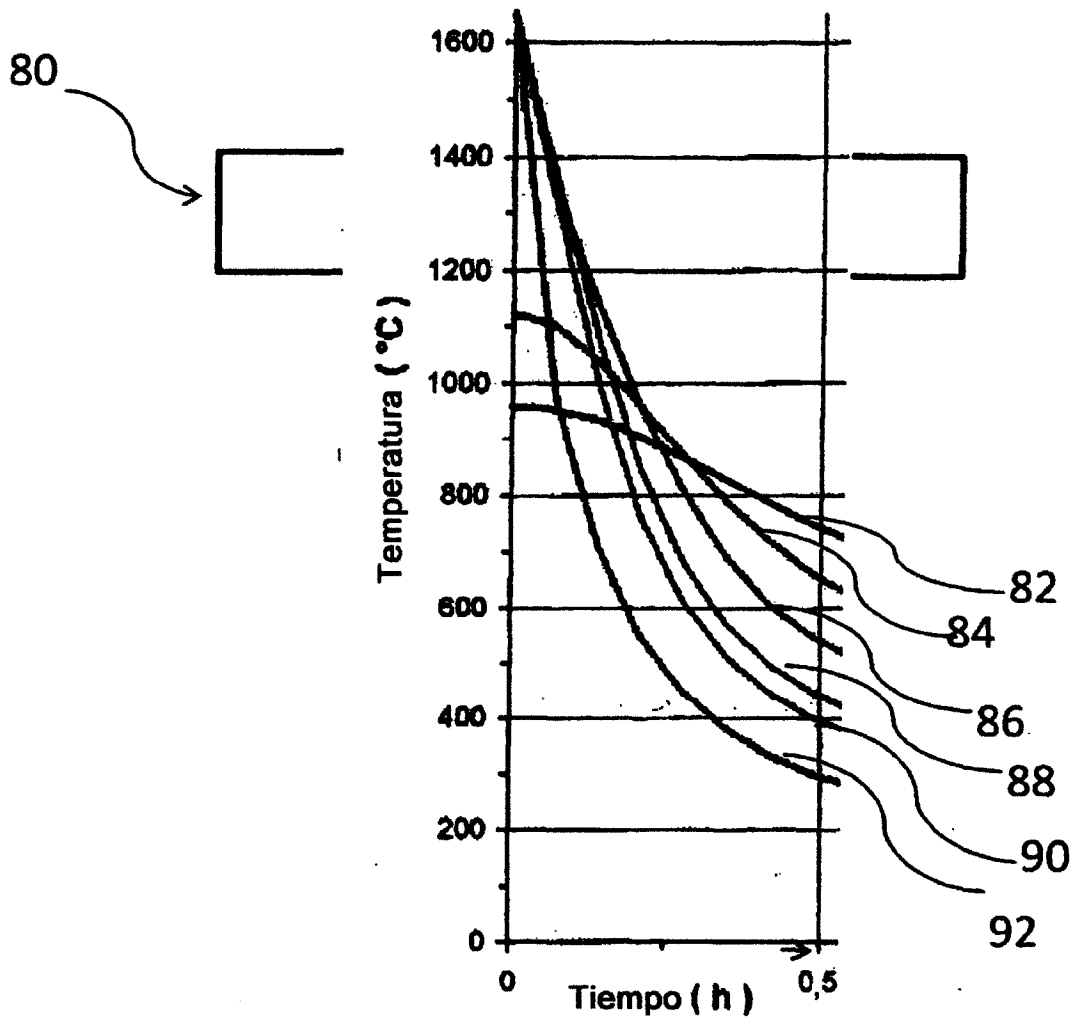


FIG.8

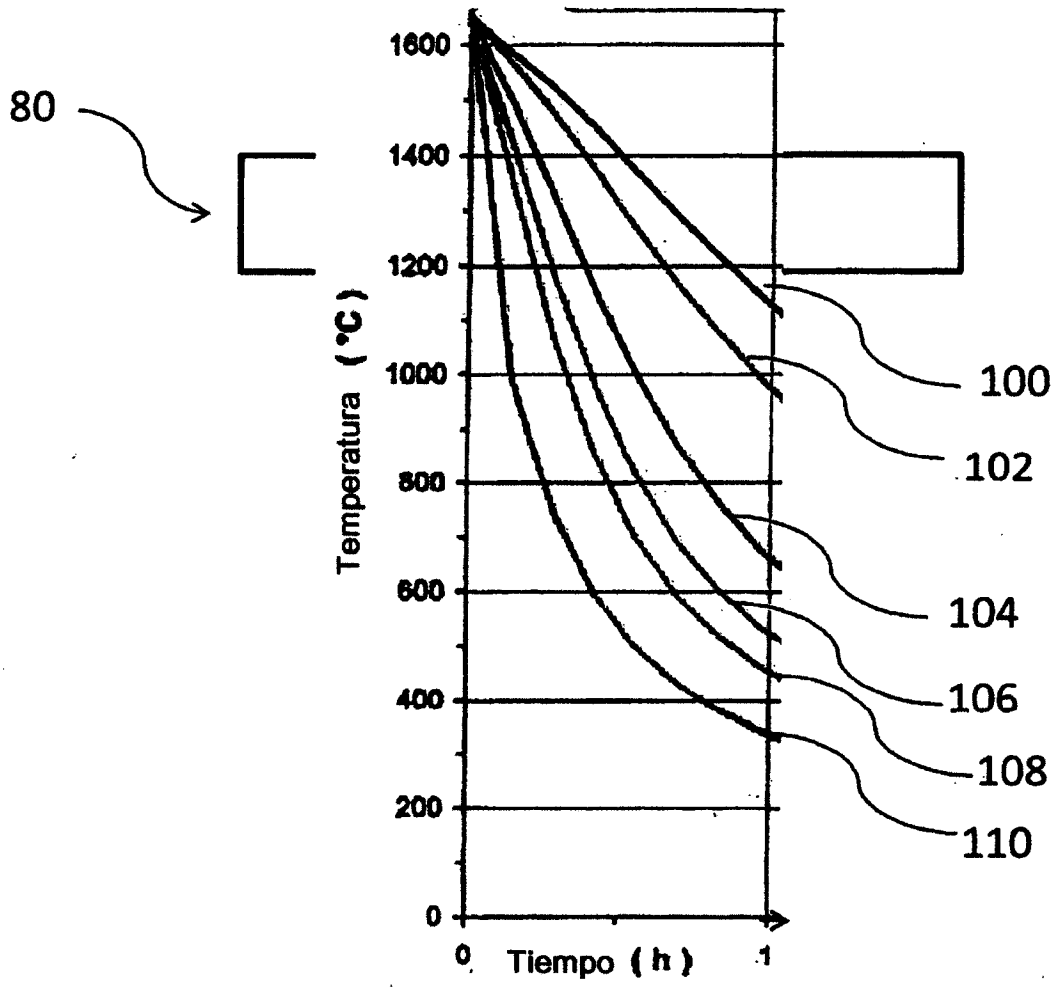


FIG. 9

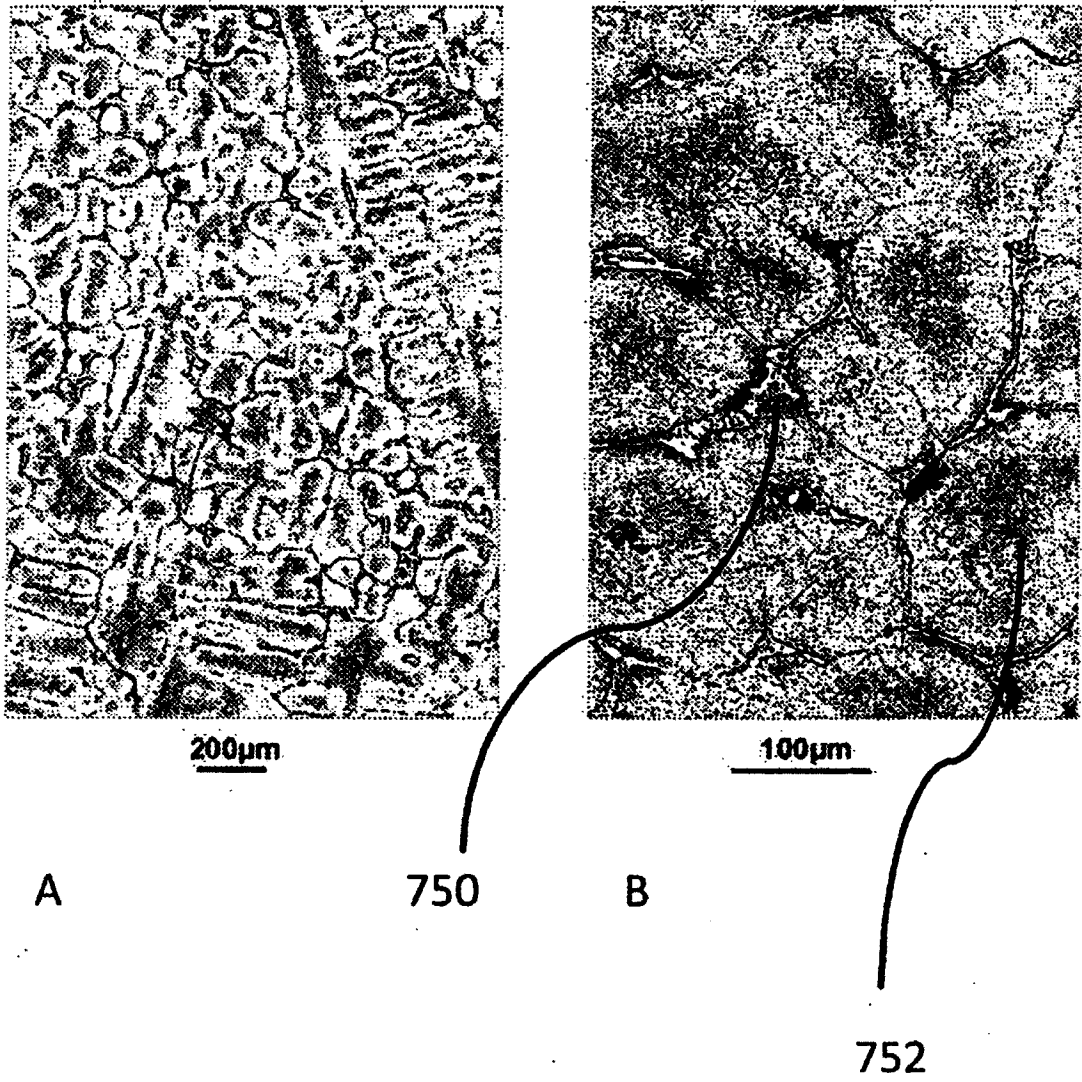


FIG.10

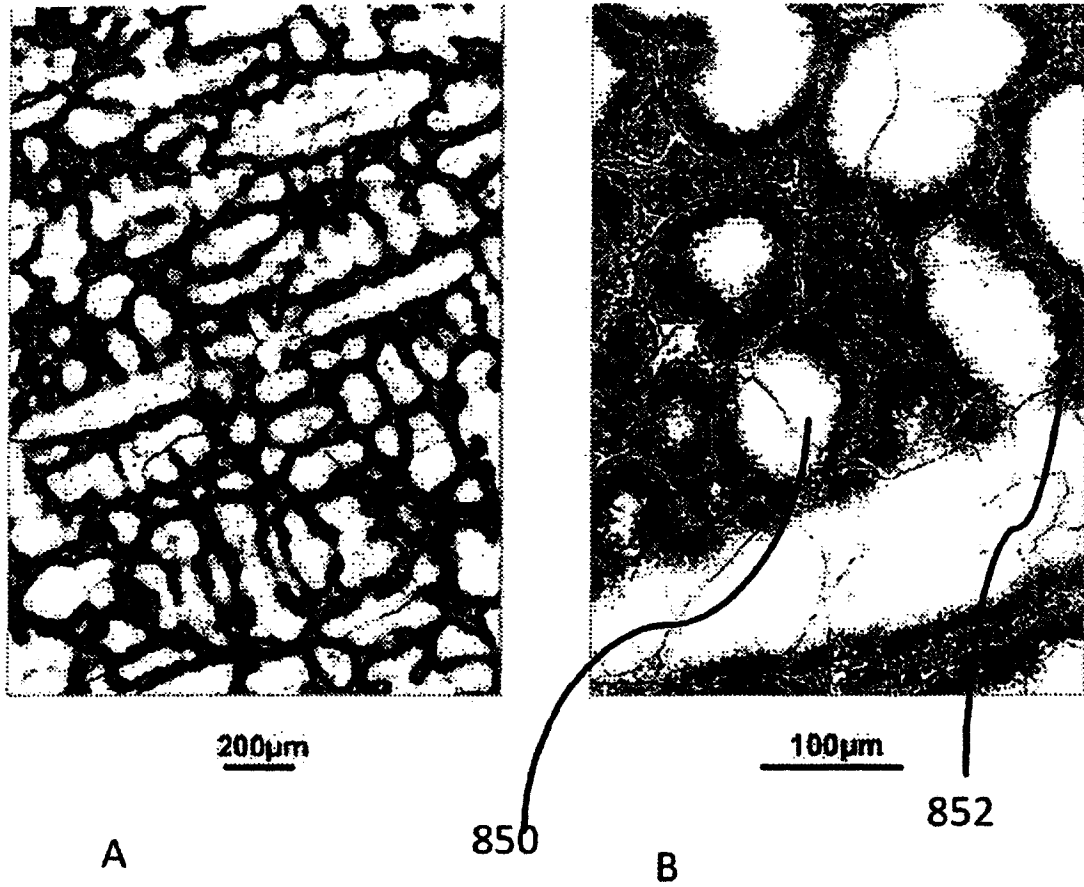


FIG.11

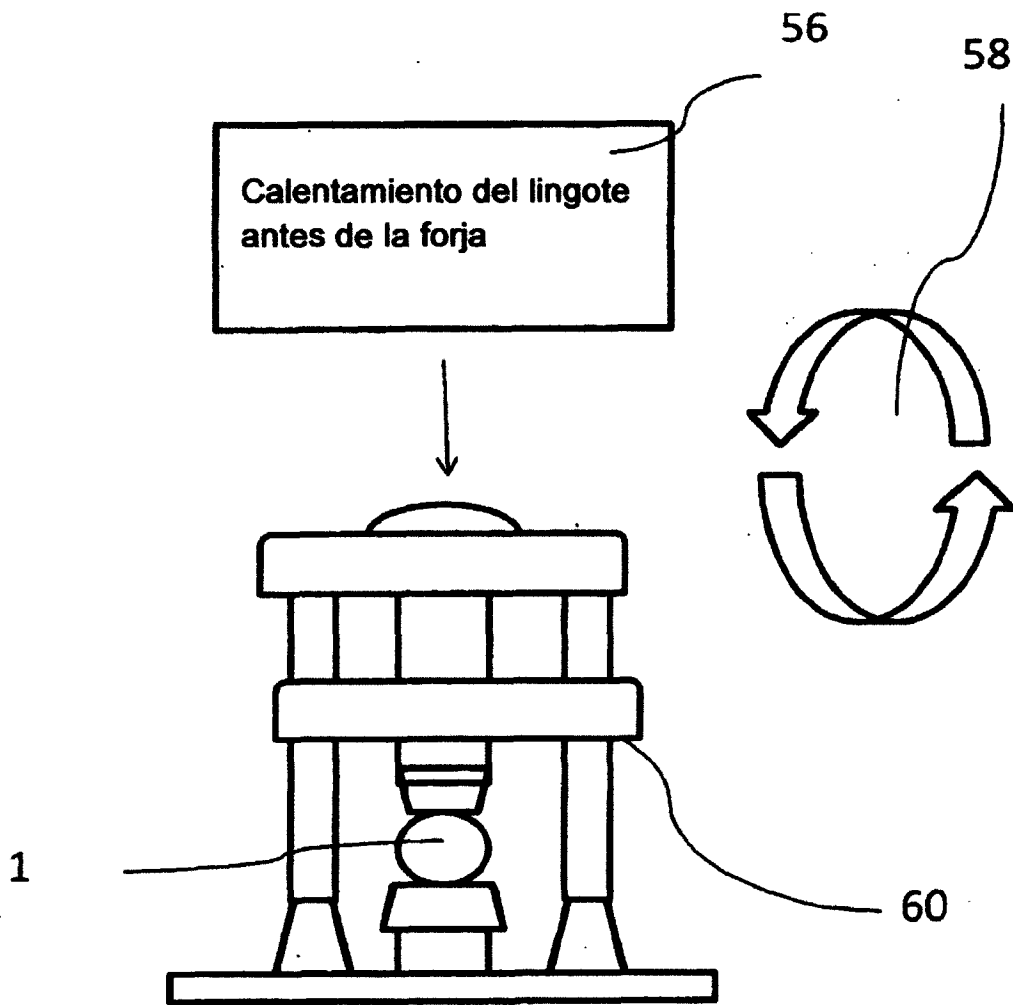


FIG.12

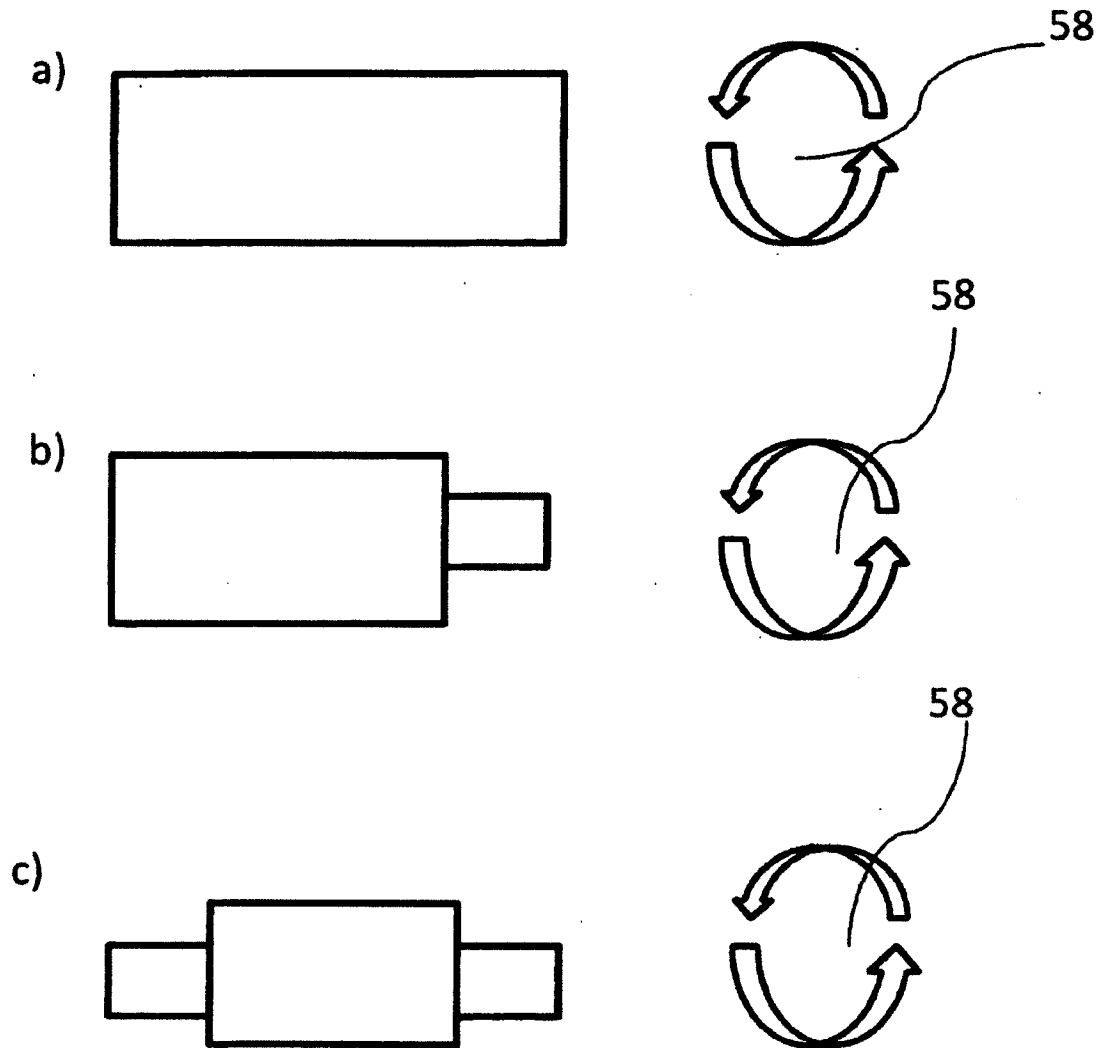


FIG 13

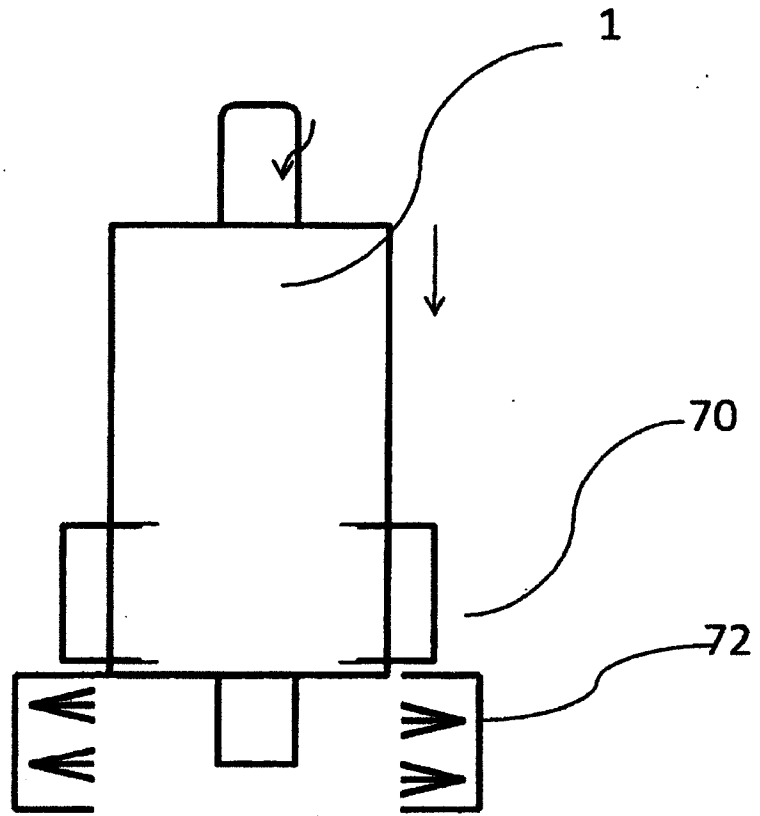


FIG. 14

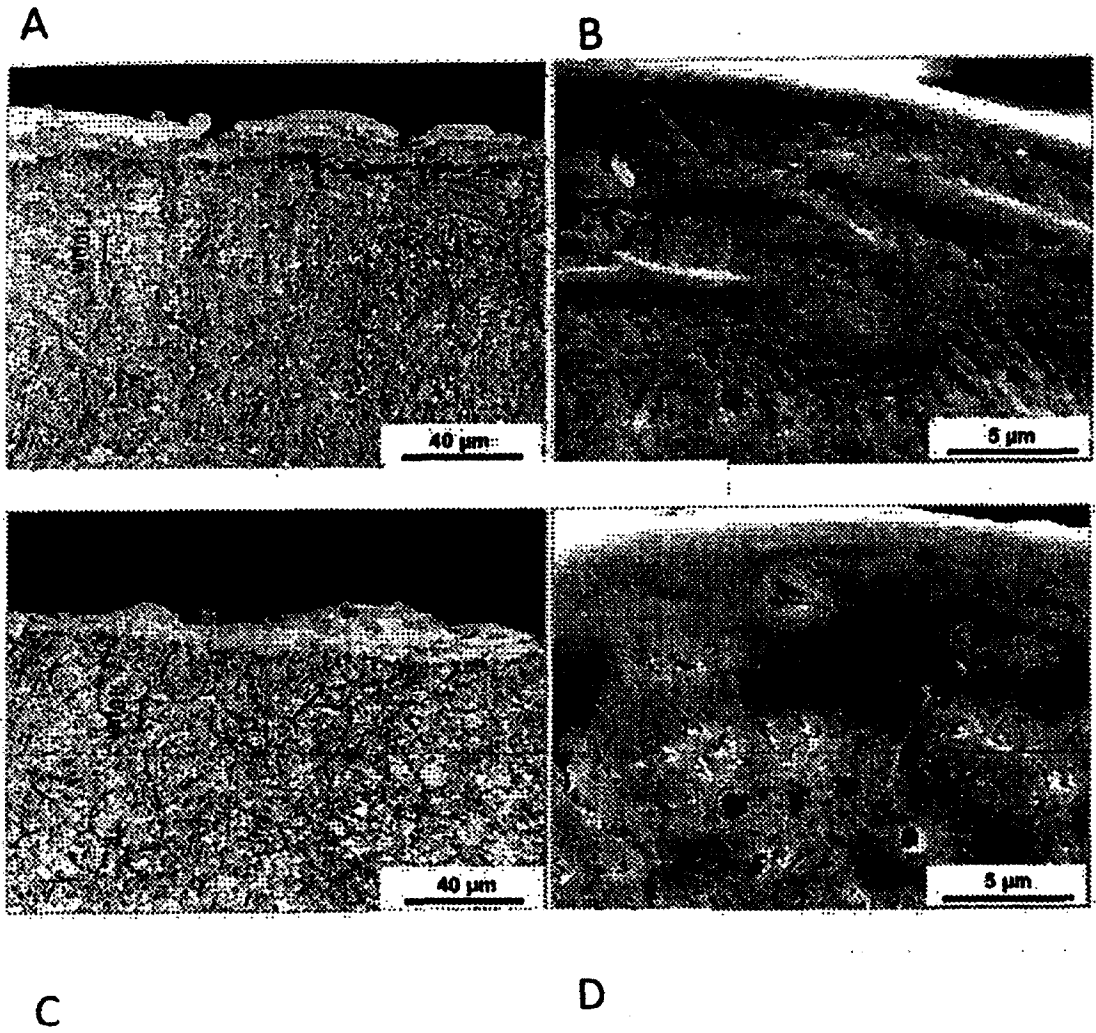
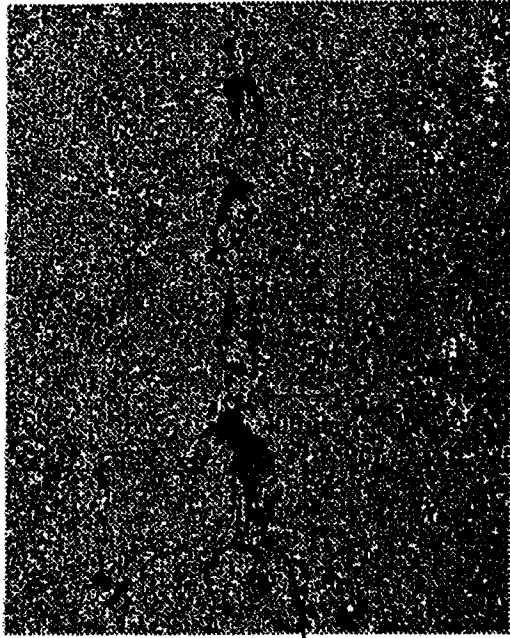
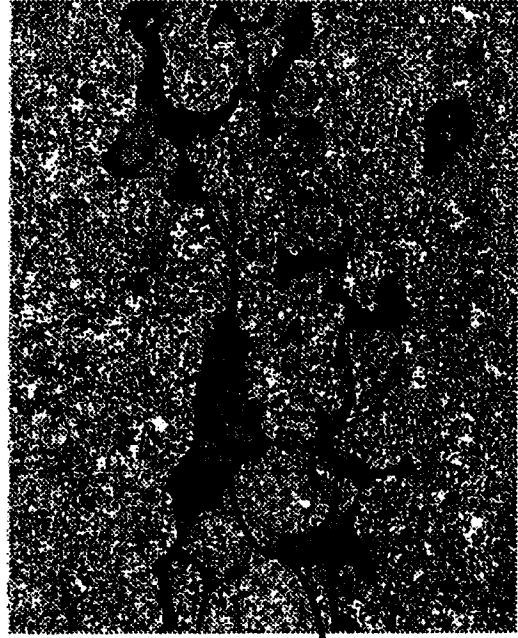


FIG. 15



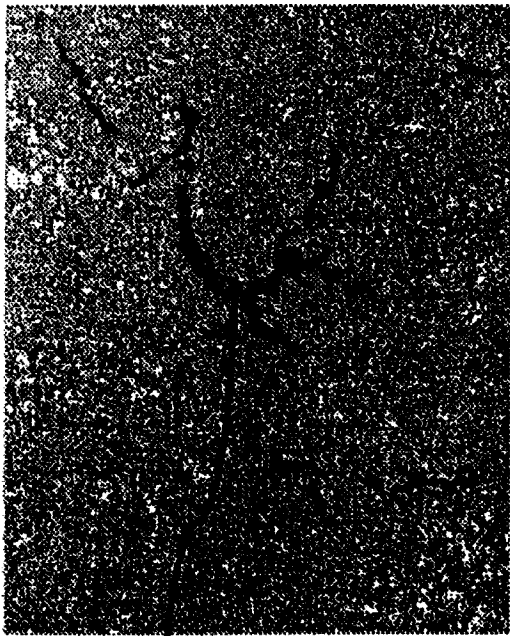
A

502



B

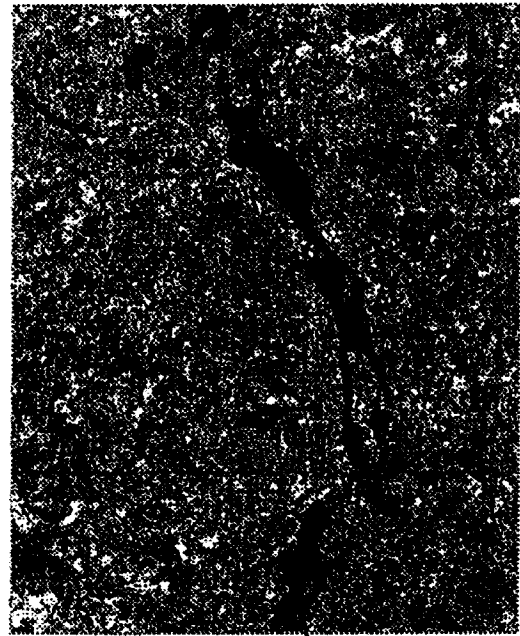
502



C

502

FIG. 16



D

502

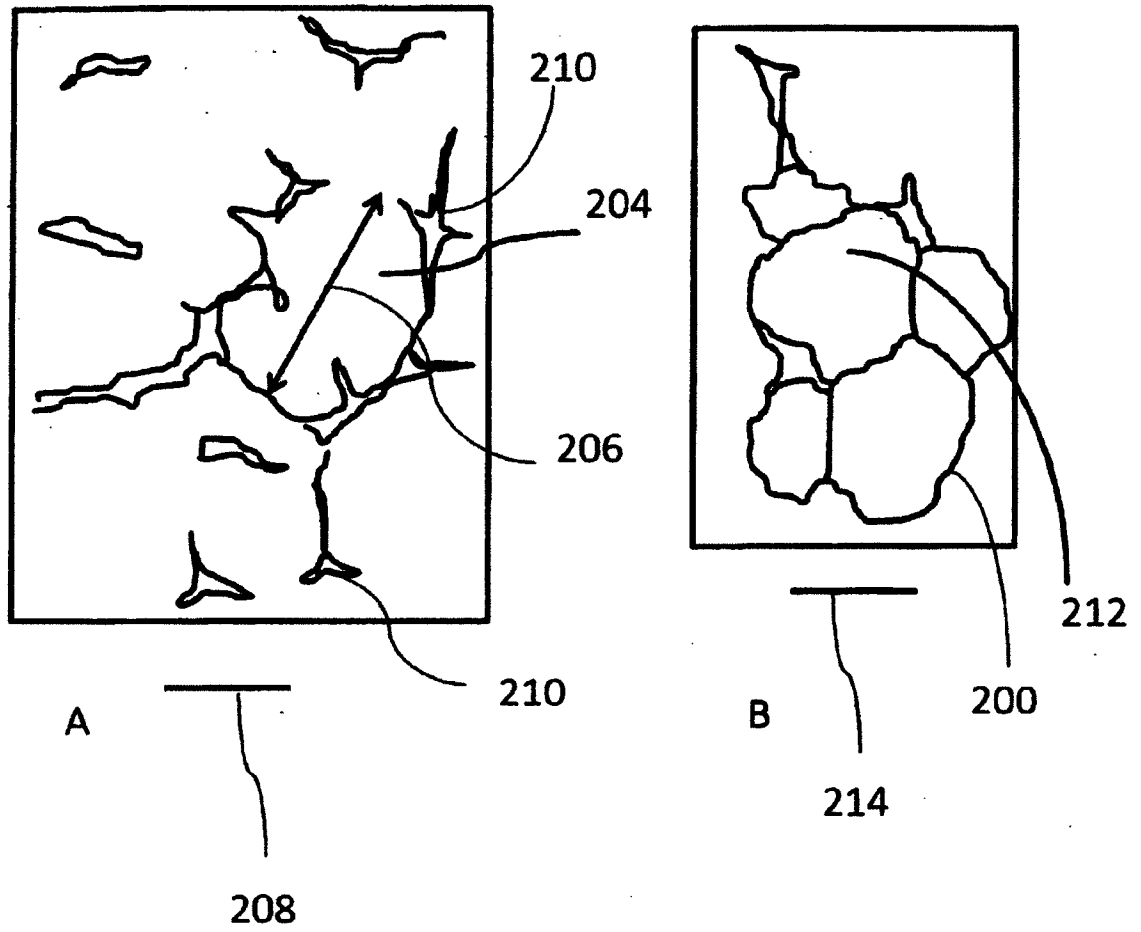


FIG 17

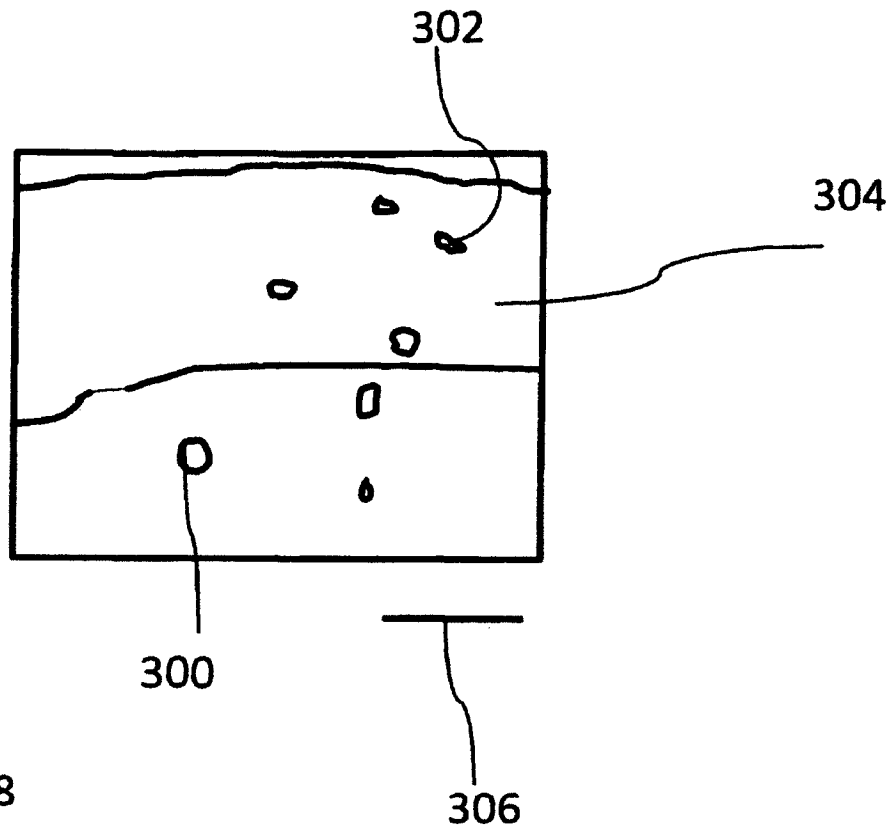
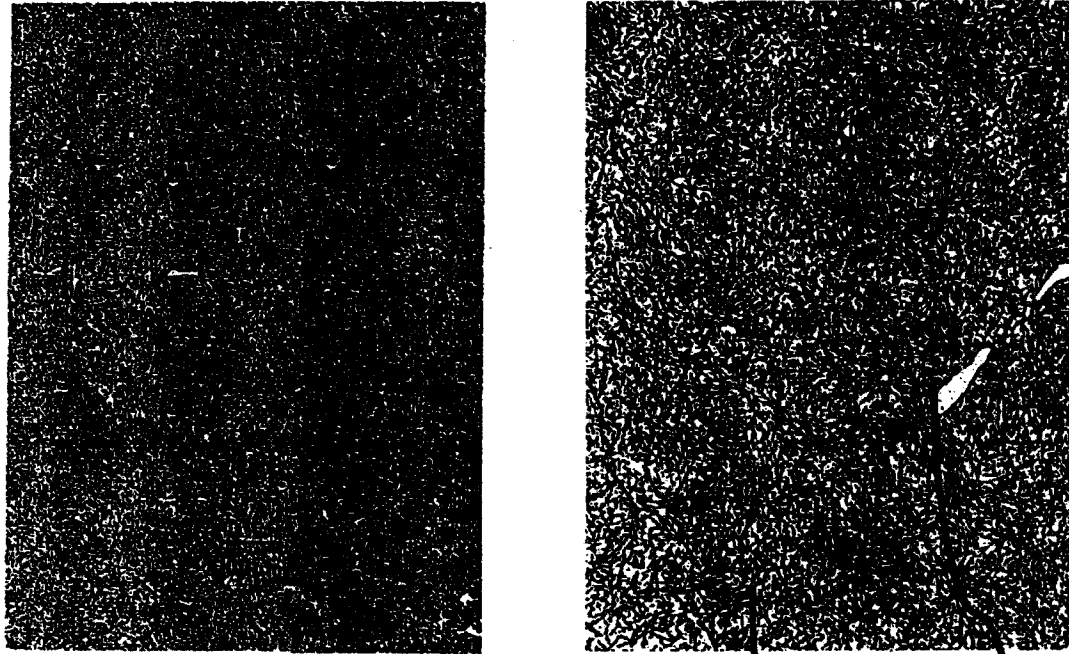


FIG 18



100x

500x

A

B

FIG 19

1032

1034