



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 291 995**

(51) Int. Cl.:
B22D 11/06 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- (86) Número de solicitud europea: **05006812 .1**
(86) Fecha de presentación : **11.05.2001**
(87) Número de publicación de la solicitud: **1602424**
(87) Fecha de publicación de la solicitud: **07.12.2005**

(54) Título: **Un tambor de enfriamiento para colada continua de plancha delgada y un método de colada continua de la misma.**

(30) Prioridad: **12.05.2000 JP 2000-140315**
12.06.2000 JP 2000-175850
22.09.2000 JP 2000-288425
05.10.2000 JP 2000-306753
05.10.2000 JP 2000-306764
05.10.2000 JP 2000-306711
08.02.2001 JP 2001-73101

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2008

(73) Titular/es: **Nippon Steel Corporation**
6-3, Ohtemachi 2-chome
Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, JP

(72) Inventor/es: **Yamamura, Hideaki;**
Hamada, Naoya;
Izu, Tadahiro;
Kurisu, Yasushi;
Suichi, Isao;
Miyazaki, Masafumi;
Seki, Kazumi;
Takeuchi, Eiichi;
Yamada, Mamoru;
Oka, Hideki;
Maruki, Yasuo;
Ishimaru, Eiichiro y
Nakayama, Mitsuru

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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 tambor de enfriamiento para colada continua de plancha delgada y un método de colada continua de la misma.

5 La presente invención se refiere a un tambor de enfriamiento usado en un vaciador continuo del tipo de tambor simple o en un vaciador continuo del tipo de tambores gemelos, para colar directamente una plancha delgada de acero al carbono dulce fundido, acero inoxidable, acero de aleación, acero al silicio, u otro acero, aleación o metal, y a un método de colada continua de las mismas.

10 Se ha desarrollado una tecnología en la que una plancha delgada (en adelante denominada ocasionalmente como “plancha”) de 1 a 10 mm de espesor es colada en continuo mediante un vaciador continuo del tipo de tambores gemelos equipado con un par de tambores de enfriamiento (en adelante denominados ocasionalmente como “tambores”) o un vaciador continuo del tipo de tambor simple equipado con un tambor de enfriamiento.

15 Por ejemplo, un vaciador continuo del tipo de tambores gemelos está formado, como miembros componentes principales, por un par de tambores de enfriamiento 1, 1' instalados en relación próxima y paralela entre ellos, con sus ejes dirigidos horizontalmente y girando en direcciones opuestas entre sí, y rebosaderos laterales 2 en contacto firme con ambas caras terminales de los tambores de enfriamiento 1, 1' como se muestra en la Fig. 1.

20 Se proporciona una cámara sellada 4 por encima de un depósito de acero fundido 3 formado por los tambores de enfriamiento 1, 1' y los rebosaderos laterales 2, y se suministra un gas inerte al interior de la cámara sellada 4. Cuando se suministra de forma continua acero fundido desde una artesa de colada 5 al depósito de acero fundido 3, el acero fundido se solidifica a lo largo de sus partes en contacto con los tambores de enfriamiento 1, 1' para formar placas curvas en solidificación. Las placas curvas en solidificación se mueven hacia abajo con la rotación de los tambores de enfriamiento 1, 1' y se unen por presión entre ellos en un punto de encuentro 6, para formar una plancha delgada C.

30 Como los tambores de enfriamiento 1, 1' se usan para enfriar acero fundido durante su rotación para producir placas curvas en solidificación, normalmente están formados por Cu o una aleación de Cu de conductividad térmica elevada. Los tambores de enfriamiento 1, 1' mantienen el contacto directo con el acero fundido mientras forman el depósito de acero fundido 3, pero están fuera de contacto con el acero fundido después de pasar el punto de encuentro 6 hasta que forman de nuevo el depósito de acero fundido 3. Así, unas veces son calentados por el calor retenido por el acero fundido y otras veces son enfriados por agua de enfriamiento del interior de los tambores de enfriamiento 1, 1' y por el aire.

35 Los tambores de enfriamiento 1, 1' reciben repetidamente una fuerza de fricción causada por un deslizamiento relativo entre la plancha delgada C y las superficies de los tambores de enfriamiento 1, 1' cuando unen a presión las placas curvas en solidificación para formar la plancha delgada C. Por consiguiente, en el caso de que las capas de superficie de los tambores de enfriamiento 1, 1' estén hechas de Cu o aleación de Cu, las capas de superficie periféricas sufren un intenso desgaste con el progreso de la colada y no mantienen la forma de su superficie, haciéndose así pronto incapaces de realizar la colada.

40 Con el fin de prevenir tal desgaste precoz de la capa de la superficie del tambor, se conoce una estructura de tambor que tiene una capa chapada de Ni de aproximadamente 1 mm de espesor formada sobre la superficie de un tambor de enfriamiento.

45 En el caso en el que se realiza la colada continua usando tambores de enfriamiento que tienen la estructura de tambor expuesta anteriormente, aparecen desigualdades en un huelgo de gas debido a desigualdades de adhesión del acero fundido a los tambores, desigualdades en la posición de partida de la solidificación debido a la turbulencia en la superficie del acero fundido, o desigualdades en las sustancias depositadas sobre las superficies de los tambores. Como consecuencia, se presenta el problema de que la solidificación se hace irregular y provoca grietas que perjudican la calidad de la chapa.

50 Como esta tecnología se usa para producir una plancha delgada que tiene una forma y un espesor próximos a los de un producto final, esta tecnología resulta indispensable para hacer posible producir una plancha delgada completamente libre de defectos de superficie tales como grietas y resquebrajaduras con el fin de llegar a obtener un producto final que tenga el nivel de calidad requerido y con una tasa de producción elevada.

55 Dado que se requiere que un producto en lámina de acero inoxidable, en particular, tenga un aspecto de superficie de alta calidad, es un importante problema colar una plancha delgada sin desigualdades de decapado.

60 Se sabe que los efectos de superficie expuestos anteriormente se forman basándose en las desiguales tensiones de contracción térmica que se desarrollan a causa de las desigualdades en la formación de láminas en solidificación sobre las superficies de los tambores de enfriamiento, es decir, a causa de las desigualdades en la manera en la que el acero fundido se solidifica al ser enfriado rápidamente, en el curso del colado de planchas. Hasta ahora, se han sugerido diversas estructuras de superficie periférica y/o materiales de superficie periférica para tambores de enfriamiento para enfriar y solidificar acero fundido de manera tal que se reduzcan al máximo las tensiones de contracción térmica desiguales que quedan en el interior de una plancha.

Por ejemplo, en la publicación de Patente Japonesa no examinada nº S60-184449 se describe una tecnología en la que una capa chapada de Ni formada en la superficie periférica de un tambor enfriador está provista de un gran número de cavidades por granallado, fotograbado, procesado con láser o similar, con el fin de evitar la generación de grietas en la superficie. De acuerdo con la tecnología expuesta anteriormente, estas cavidades forman huecos de gas que actúan como capas térmicamente aislantes entre el tambor de enfriamiento y una lámina en solidificación, que hacen que el metal fundido se enfríe lentamente y, también, se forman resaltes transferidos sobre la superficie de una plancha dejando que el acero fundido llegue a las cavidades en una cuantía apropiada para hacer que su solidificación comience desde la periferia de los resaltes transferidos, igualando así el espesor de la placa curva en solidificación.

También, en la publicación de Patente Japonesa examinada nº H4-33537 se describe un método en el que se forma un gran número de cavidades circulares u ovaladas en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento, se describe un método en la publicación de Patente Japonesa no examinada nº H3-174956, en el que la superficie periférica de un tambor de enfriamiento se hace rugosa por moleteado o por soplado con arena, y se describe un método en la publicación de Patente Japonesa examinada nº H9-136145, en el que se forman cavidades por granallado de forma que se satisfaga un diámetro máximo $\leq$ diámetro medio + 0,30 mm en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento. En cualquiera de estos métodos se introduce una capa de aire entre el tambor de enfriamiento y el acero fundido formando un gran número de cavidades o resaltes en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento, el área de contacto efectiva de la superficie periférica del tambor de enfriamiento con el acero fundido se reduce de esta forma para relajar el enfriamiento de la placa curva en solidificación y las tensiones debidas a la contracción térmica se alivian para prevenir la formación de grietas y resquebrajaduras debidas al enfriamiento rápido, procurando así obtener una plancha delgada con un buen aspecto en la superficie.

Sin embargo, cuando se usa uno cualquiera de los métodos descritos en la publicación de Patente Japonesa examinada nº H4-33537 y en la publicación de Patente Japonesa no examinada nº H4-33537 y en la publicación de Patente Japonesa no examinada nº H3-174956, el acero fundido es introducido en cavidades formadas en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento para formar resaltes en la superficie de una plancha, y por tanto se generan defectos de laminado tales como costras y soja lineal en una etapa de tratamiento tal como el laminado en los subsiguientes procesos. En el caso del tambor de enfriamiento descrito en la publicación de Patente Japonesa no examinada nº H9-136145, se dan al tambor cavidades de 0,5 a 2,0 mm de diámetro, de 30 a 70% de relación de área, 60 μ m o más de profundidad media y 100 mm o menos de profundidad máxima mediante granallado, pero en realidad todavía se producen en la plancha defectos finos de superficie. Como razón para ello se considera que las distancias entre cavidades contiguas se hacen excesivamente grandes en la etapa de granallado para formar cavidades del tamaño expuesto anteriormente, sus áreas de la superficie de contacto con el acero fundido se hacen excesivamente grandes porque estas porciones tienen la forma de un trapecioide, y por tanto existen porciones excesivamente enfriadas y porciones de enfriamiento lento juntas en la placa curva en solidificación cuando se forma, generando así grietas en la chapa.

Como tambor de enfriamiento para afrontar este problema, la publicación de Patente Japonesa no examinada nº H4-238651 describe un tambor de enfriamiento en el que se forman cavidades de 50 a 200 μ m de profundidad con una relación de área del 15 al 30% y, junto a esto, se forman cavidades de 10 a 50 μ m de profundidad con una relación de área del 40 al 60% en la superficie periférica del tambor de enfriamiento. Además, la publicación de Patente Japonesa no examinada nº H6-328204 describe un tambor de enfriamiento en el que se forman cavidades de 100 a 300 μ m de diámetro y de 100 a 500 μ m de profundidad con una relación de área del 15 al 50% y, junto a esto, cavidades de 400 a 1.000 μ m de diámetro y de 10 a 100 μ m de profundidad con una relación de área del 40 al 60% de forma que cada uno de los lados de la cavidad forma un ángulo de 45° a 75° con una línea perpendicular a una tangente a la superficie periférica en la superficie periférica del tambor de enfriamiento.

Estos tambores de enfriamiento pueden suprimir la generación de grietas y resquebrajaduras en la superficie de una plancha al mismo tiempo que pueden suprimir la generación de desigualdades de decapado, el otro defecto de superficie típico, y por tanto producen un notable efecto sobre la producción de un producto de placa curva de acero inoxidable sin un brillo desigual.

Además, la publicación de Patente Japonesa no examinada nº H11-179494 describe un tambor de enfriamiento en el que se forma un gran número de resaltes (preferentemente de 20 μ m o más de altura, de 0,2 a 1,0 mm de diámetro y de 0,2 a 1,0 mm de distancia más corta entre ellos) sobre la superficie periférica del tambor, por medios tales como fotograbado o tratamiento del material con láser. Este tambor de enfriamiento puede evitar los defectos de la superficie hasta una cuantía de aproximadamente cero.

Con respecto a los tambores de enfriamiento establecidos anteriormente, sin embargo, no se especifica nada sobre la calidad del material usado para la superficie de los tambores de enfriamiento.

Es evidente que la calidad del material usado para la superficie de un tambor de enfriamiento afecta al aspecto de la superficie de la plancha delgada.

Como se estableció anteriormente, normalmente se acepta que una placa chapada de Ni es un material para la capa de la superficie periférica (d en la Fig. 1) de un tambor de enfriamiento. Como la capa chapada de Ni tiene una conductividad térmica más baja que la del material de base del tambor (Cu, aleación de Cu) y unas satisfactorias características de unión al material de base del tambor, es menos propenso a generar rendijas o grietas. También, tiene una dureza mayor que la del material de base y es relativamente bueno en la resistencia a la abrasión y la resistencia a

la deformación. Sin embargo, no se proporciona una resistencia al roce o una resistencia a la deformación al nivel que se necesita para mantener establemente la forma de la superficie del tambor durante un periodo de tiempo largo en la colada real. Se ha averiguado que la forma de la capa de la superficie periférica de un tambor de enfriamiento cambia cuando se usa continuamente durante un tiempo prolongado y el cambio de forma puede llegar a ser el factor principal de las grietas en la superficie de una plancha delgada.

En vista de esto, como tambor de enfriamiento que resuelve el problema expuesto anteriormente, la publicación de Patente Japonesa no examinada nº H9-103849 describe un tambor de enfriamiento en el que se forman una capa de Ni y una capa de Co, por este orden, de 10 a 500 μm de espesor en la superficie periférica del tambor, siendo la suma de los espesores de la capa de Ni y la capa de Co de 500 μm a 2 mm, con cavidades de 30 a 150 μm de profundidad media formadas en la superficie de la capa de Co. También, la publicación de Patente Japonesa nº H9-103850 describe un tambor de enfriamiento en el que se forma una capa de Ni en la superficie periférica del tambor, se proporcionan cavidades de 10 a 50 μm de profundidad media en la capa de Ni mediante granallado, y después se proporciona una capa electrochapada de 10 a 500 μm de espesor sobre la misma, haciendo así que la profundidad media de las cavidades sea de 30 a 150 μm .

Estos tambores de enfriamiento tienden a impedir la generación de grietas en una plancha delgada y a prolongar la vida útil de los tambores mejorando e ingeniendo la estructura de la superficie periférica y la calidad del material de la superficie periférica de los tambores, y muestran un efecto notable.

Como se estableció anteriormente, con respecto a las tecnologías para la colada continua de una plancha delgada de 1 a 10 mm de espesor de placa, se ha logrado un gran éxito en la supresión de los defectos de la superficie incluyendo desigualdades de decapado mejorando e ingeniendo la estructura de la superficie periférica y/o la calidad del material de la superficie periférica del tambor de enfriamiento.

En funcionamiento, sin embargo, es inevitable que una considerable cantidad de escoria flote y se coagule en la superficie del acero fundido a causa de inclusiones o de escoria mezclada flotando desde el interior del acero fundido, incluso si se evita al máximo posible la generación de escoria cubriendo con una atmósfera inerte el depósito de acero fundido formado por los tambores de enfriamiento y los rebosaderos laterales en contacto con ambos lados de los mismos para aceptar en ellos el acero fundido (véase la cámara sellada 4 en la Fig. 1). Cuando la escoria es atrapada entre los tambores de enfriamiento y el acero fundido, aparecen desigualdades de decapado en la superficie de la plancha delgada.

La porción de tales desigualdades de decapado aparece como “brillo irregular” en un producto final en lámina, rebajando así su valor como material para un producto. Por consiguiente, con el fin de mejorar más la calidad y la tasa de rendimiento del producto en lámina final, además de impedir la generación de escoria es necesario tomar algunas medidas que puedan inhibir la producción de desigualdades de decapado en una plancha delgada o incluso aunque tenga lugar el atrapamiento de escoria cuando se está colando de forma continua la plancha delgada, y, si es posible, que puedan erradicar la generación de la misma.

Con el fin de encontrar tales medidas, los presentes inventores hicieron un examen minucioso de planchas delgadas en las que habían aparecido desigualdades de decapado. Como resultado, se descubrió que se formaba una “grieta” de una forma diferente de la ya conocida “grieta de superficie” en las proximidades del límite entre el área en la que aparecieron las “desigualdades de decapado” y el área sin ellas. Esta grieta (en adelante denominada “grieta que acompaña a una desigualdad de decapado”) se muestra en la Fig. 2.

Como es evidente por la Fig. 2, la “grieta que acompaña a una desigualdad de decapado” es de una naturaleza distinta, por rutina, en origen, posición forma y similares, de la “grieta de superficie” (en adelante denominada ocasionalmente “grieta de cavidad”) generada en una porción en la que no se generan desigualdades de decapado.

En consecuencia, es difícil prevenir la generación de la “grieta que acompaña a las desigualdades de decapado” de una naturaleza diferente, como se expuso anteriormente, usando medios convencionales.

Como se describió antes, además de la tarea de impedir la generación de “grietas de cavidad” y “desigualdades de decapado”, recientemente se ha planteado la tarea de impedir la generación de “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”, en la colada continua de una plancha delgada.

Como medios para formar cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento, están el granallado, el fotograbado, el procesamiento del material con láser y tratamientos similares (véase la publicación de Patente Japonesa no examinada nº S60-184449). Para un ejemplo del tratamiento del material con láser, la Patente Japonesa nº 2067959 describe un método en el que se usan impulsos de luz láser de 0,30 a 1,07 μm de longitud de onda, para formar orificios de 500 μm o menos de diámetro y de 50 μm o más de profundidad, con una separación entre orificios que no es inferior a 1,05 veces y no es superior a 5 veces el diámetro de los orificios. Con referencia al ejemplo de acuerdo con este método, se usan cuatro láseres YAG de 500 Hz de frecuencia de repetición de impulsos, para formar orificios con distancia entre orificios de 200 a 250 μm . Suponiendo que la forma de un tambor de enfriamiento es de 1 m de diámetro y 1 m de anchura, y que se forman orificios con distancias de 200 μm en la superficie periférica del tambor de enfriamiento, se tienen que formar aproximadamente 80 millones de orificios en total. Generalmente se usa una lámpara flash de emisión de impulsos de luz para excitar un láser YAG para la formación de orificios y la vida

útil en servicio de una lámpara flash es de 1 a 10 millones de impulsos. En consecuencia, incluso si se usan cuatro láseres YAG para la formación de orificios, es imposible formar orificios completos sobre toda la superficie periférica del tambor de enfriamiento dentro de la vida útil de servicio de las lámparas flash, y por tanto el trabajo de formación de orificios ha de ser detenido para cambiar las lámparas.

En tal caso, aparece una discontinuidad de formación en las porciones en las que se detuvo el trabajo de formación. Si un tambor de enfriamiento que tiene tal discontinuidad de formación se usa en una colada, surge el problema de que se generan grietas en las porciones discontinuas. En este método, si el número de láseres se incrementa de cuatro, por ejemplo, a diez, puede ser resuelto el problema expuesto antes. Por otra parte, sin embargo, surge el problema de que el aparato para la formación se hace de gran tamaño y complicado.

Como métodos de tratamiento que usan un láser de CO₂ con interruptor Q (conocido como láser *Q-switched*), adoptado generalmente para hacer frente a los problemas descritos anteriormente, en la Patente Japonesa n° 3027695 se describe un método para amortiguar un rodillo para laminado en frío, y un método de tratamiento de una aleación de cobre en la publicación de Patente Japonesa no examinada n° H8-309571. En estos métodos de tratamiento de material, se usan impulsos de láser de CO₂ con interruptor Q que tienen una punta de conmutación inicial y una cola de impulso, siendo la anchura total del impulso de hasta 30 μ seg, para llevar a cabo la formación de orificios, y el límite superior de la profundidad del orificio es del orden de 40 μ m en cualquier caso. Entre tanto, con respecto al tambor de enfriamiento, es necesario formar orificios, en algunos casos, de 50 μ m o más de profundidad, con el fin de prevenir las grietas en la superficie y el brillo irregular. A causa de esto existe el problema de que el uso de los métodos de conocimiento público establecidos antes no puede realizar la formación de orificios conforme al objeto esperado de la presente invención.

Cuando un material metálico, por ejemplo la superficie periférica de un tambor de enfriamiento, es procesado con luz láser para formar un orificio, la sustancia fundida producida en el proceso de taladrado se descarga al exterior en forma de salpicaduras desde los orificios por la reacción de vaporización del propio metal o por la contrapresión del gas auxiliar, y frecuentemente se vuelve a depositar como escoria en la periferia de los orificios. En general, tal escoria perjudica la suavidad de la superficie y por ello se requiere algún medio para impedir esto. En este contexto, hasta ahora se han propuesto varios medios para eliminar o evitar la escoria.

Hasta el momento, hay un medio que ha sido usado con una relativa frecuencia, en el que se proporciona una capa de máscara sólida en la superficie del material a tratar, se forman orificios en el material junto con la máscara, y finalmente se retira la máscara, proporcionándose así una superficie lisa. Dado que este método requiere un procedimiento para pegar la máscara a la superficie antes de formarse el orificio y un procedimiento para retirar la máscara después de tratamiento del material con láser, en su conjunto presenta problemas en términos de eficiencia de trabajo y de costes.

Una técnica para eliminar activamente la escoria depositada en una superficie procesada se describe en la publicación de Patente Japonesa no examinada n° H10-263855, en la que se proporciona una "espátula" o una rectificadora rotatoria accionada por motor, adyacente a un cabezal de tratamiento, para formar orificios finos en un rodillo de trabajo para laminado en frío, como medio para igualar la distribución del depósito en la superficie del rodillo.

Como la escoria es el depósito de sustancia fundida resolidificada en una superficie tratada, sin embargo, es difícil eliminar completamente la escoria usando medios mecánicos tales como la "espátula". Además, en el caso de que se formen orificios finos del orden de 10 a 100 μ m de profundidad, es difícil eliminar solamente la escoria mediante una rectificadora rotatoria accionada por motor debido a su precisión mecánica y, en algunos casos, surge el problema de que la profundidad de los orificios disminuye por un sobre-rectificado. Si se emplea un método de eliminar la escoria depositada más activamente, surge otro problema y es que aumenta el tamaño del aparato por un aparato accesorio añadido al cabezal de tratamiento del material con láser.

Mientras tanto, se han propuesto varios métodos para limpiar el aspecto de la superficie después del tratamiento revistiendo previamente la superficie a tratar con un material líquido tipificado por aceites y grasas. Por ejemplo, se describe un método de recubrimiento que usa un material viscoso transparente a la luz láser en la publicación de Patente Japonesa no examinada n° S52-112895, y un método de recubrimiento con aceite en la publicación de Patente Japonesa no examinada n° S60-180686. Aunque el tratamiento del material mediante fusión con luz láser se tiene en cuenta en estos métodos, en estas publicaciones no se describen las características de la sustancia de recubrimiento. Cuando se usan aceites o bien grasas como sustancia de recubrimiento, la transmitancia de la sustancia de recubrimiento relativa a la longitud de onda del láser afecta en gran medida al aspecto de la superficie después del tratamiento (lo que es evidente a partir de la investigación experimental y estudios hechos por los presentes inventores). Estas publicaciones no tienen ninguna descripción que sugiera conocimientos en relación con la presente invención, y existe el problema de que la supresión de la deposición de escoria no puede realizarse con buena reproducibilidad en la formación de orificios en un material metálico con láser, por los métodos expuestos en las publicaciones.

Con respecto a las características de las sustancias de recubrimiento, se describe un método de recubrimiento que usa uno de estos aceites y grasas con un punto de ebullición de 80°C o más, en la publicación de Patente Japonesa no examinada n° S58-110190, y la especificación de la composición del material de recubrimiento se describe en la publicación de Patente Japonesa no examinada n° H1-298113. En estas descripciones, la primera especifica solamente el punto de ebullición del material de recubrimiento como la especificación característica del mismo, y no revela nada acerca de la transmitancia relativa a la longitud de onda de la luz láser usada para formar los orificios. De acuerdo con

la investigación experimental hecha por los autores de la presente invención, existe el problema de que la generación de escoria no puede impedirse cuando se usa aceite o grasa con gran absorción, incluso si su punto de ebullición es 80°C o más alto. La última describe la composición detallada y su concepto básico es especificar un material de recubrimiento que satisfaga la función de mejorar el poder absorbente relativo a la luz láser, esto es, de reducir la transmitancia relativa a la luz de láser. En la formación de orificios en un material metálico, surge el problema de que la propiedad de deposición de escoria se empeora si la absorción de luz láser en el material de recubrimiento es demasiado grande, fallando así en la obtención de una técnica efectiva para la supresión de la escoria.

Un objeto de la presente invención es llevar a cabo una tecnología que permita que una plancha fina sea colada establemente durante un periodo de tiempo prolongado, suprimiendo al mismo tiempo la generación de grietas de superficie y brillo irregular, dos de los principales tipos de defectos en un producto de lámina expuestos como problemas en las tecnologías convencionales, y la presente invención proporciona un tambor de enfriamiento para la colada continua de plancha delgada para cumplir el objeto y un método de colada continua que usa el tambor de enfriamiento.

También, la presente invención proporciona un tambor de enfriamiento para producir establemente una plancha que no tenga grietas de plancha, rendijas o similares y que sea de un aspecto excelente en la superficie dando no solo cavidades convencionales sino también desigualdades más finas de manera duplicada y/o resaltes finos a la superficie periférica del tambor de enfriamiento.

Además, la presente invención proporciona un tambor de enfriamiento para producir establemente una plancha delgada que no tiene resaltes elevados transferidos, grietas en la plancha, rendijas o similares, y con un aspecto de la superficie sobresaliente, dándole más desigualdades finas y también resaltes finos formados haciendo que fragmentos de granalla piquen en ellos en cada cavidad ordinaria, dispersando así los puntos de inicio de la solidificación más finamente que las cavidades ordinarias, y un método de colada continua que usa el tambor de enfriamiento.

También, la presente invención proporciona un tambor de enfriamiento que permite producir establemente una plancha que no tiene grietas en la plancha, rendijas o similares, y con un aspecto de la superficie sobresaliente, reduciendo las porciones trapezoidales entre cavidades próximas con respecto a las cavidades formadas en la superficie periférica del tambor de enfriamiento.

También, la presente invención tiene el objeto de impedir la generación de “grietas de cavidad” e impedir la generación de “desigualdades de decapado” y “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” y se dirige a la consecución del objetivo desde el punto de vista de la estructura de la superficie periférica y/o la calidad del material de la superficie periférica de un tambor de enfriamiento, que afecta en gran medida al comportamiento de solidificación del acero fundido.

También, la presente invención se refiere a un método de tratamiento con luz láser y un aparato de tratamiento con un láser, para un tambor de enfriamiento, que permite colar establemente una plancha delgada durante un periodo de tiempo prolongado suprimiendo simultáneamente la generación de “grietas de superficie” y “brillo desigual”, dos de los principales tipos de defectos en un producto en lámina.

Además, la presente invención se refiere a un método capaz de suprimir la deposición de escoria mediante una técnica simple sin realizar un tratamiento adicional y complicado con respecto al método de formar orificios en un material metálico con láser, y un método capaz de conseguir fiablemente la supresión de escoria especificando las características del aceite o la grasa con respecto a una técnica simple de recubrir previamente con aceite o grasa.

Por ello, la presente invención se refiere a un método capaz de reducir al máximo resaltes altos transferidos, grietas de cavidad, resquebrajaduras y similares dando además desigualdades finas y resaltes finos a cada una de las cavidades convencionales en la superficie periférica del tambor de enfriamiento, con la idea de que la generación de resaltes transferidos altos y grietas en la superficie de una plancha puede ser evitada usando un tambor de enfriamiento que tenga cavidades formadas en el mismo con áreas de la superficie de contacto más pequeñas que las áreas de la superficie de contacto de las cavidades expuestas anteriormente y que, si se forman desigualdades en mayor número que las desigualdades de las cavidades expuestas anteriormente, la solidificación puede iniciarse de una forma más estable porque la solidificación comienza a partir de convexidades en gran número y de esta forma pueden evitarse las grietas.

Las desigualdades de decapado son unas “desigualdades” que aparecen en la superficie de una chapa después del decapado debido al hecho de que la solidificación del acero fundido se retrasa en porciones con escoria depositada y, como consecuencia, la estructura solidificada de la porción con escoria solidificada difiere de la estructura solidificada alrededor de ella. Por consiguiente, se supone que el comportamiento de solidificación del acero fundido en la superficie de un tambor de enfriamiento está relacionado en gran medida con la generación de “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”.

Los presentes inventores han hecho un examen del comportamiento de solidificación de una plancha delgada en la que se habían generado “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” como se muestra en la Fig. 2. Ha quedado claro que las “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” se generan básicamente en un sitio en el que la resistencia térmica de una cara límite entre el tambor de enfriamiento y el acero fundido se cambia por la afluencia y la deposición de escoria, que causa una diferencia de espesor de la placa curva en solidificación formada

ES 2 291 995 T3

entre una porción con escoria depositada y una porción sin ella, y, más específicamente, en una porción en la que el grado de desigualdad en el espesor de la placa curva en solidificación excede del 20%.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente el mecanismo de su generación. En una porción en la que se deposita escoria 7, la resistencia térmica de la cara límite entre el tambor de enfriamiento 1 y el acero fundido 15 cambia retardando la solidificación del acero fundido, y por consiguiente el espesor de la placa curva en solidificación 8 se hace más delgado que el espesor de la placa curva en solidificación en otras porciones. Por la acción multiplicadora de la escoria 7 con un huelgo de gas 10 formado entre la escoria 9 y la cara cóncava de una cavidad 9, se genera un “esfuerzo” y se acumula en una parte límite (una porción de la placa curva en solidificación de espesor desigual) entre una porción más gruesa y una porción más delgada de la placa curva en solidificación. Si el grado de desigualdad en el espesor de la placa curva en solidificación excede del 20%, tiene lugar una “grieta que acompaña a desigualdades de decapado 11” en la parte límite como se muestra en la Fig. 3.

Como se manifestó anteriormente, la existencia del huelgo de gas 10 formado entre la escoria 7 y la cara cóncava de la cavidad 9 está también relacionada con la generación y acumulación de “esfuerzo” que provoca la “grieta que acompaña a desigualdad de decapado 11”, y por tanto los presentes inventores hicieron un examen de la relación entre un cambio en el comportamiento de solidificación (con la “profundidad de cavidad” usada como índice para representar este cambio) y el estado de generación de “grieta de cavidad” y “grieta que acompaña a la desigualdad de decapado” (usándose la “longitud de grieta” como índice para representar el estado de generación) cambiando la “profundidad” de una cavidad para cambiar el comportamiento de solidificación del acero fundido.

El resultado se muestra en la Fig. 4. Como es evidente a partir de la Fig. 4, cuando la profundidad (μm) de las cavidades se hace más pequeña, puede evitarse la generación de “grietas de cavidad” pero, en cambio, se acelera la generación de “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”.

Como se manifestó anteriormente, los presentes inventores han encontrado que la generación o la evitación de la generación de “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” y la de “grietas de cavidad” están en una relación de equilibrio en vista de la relación con la profundidad de las cavidades formadas en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento.

La Fig. 5 muestra esquemáticamente el mecanismo de generación de “grietas de cavidad”. Los núcleos de solidificación se generan en una porción de acero fundido en contacto con el borde de una cavidad 9 (véase “12” en la Figura), a partir de la cual se inicia la solidificación. Cuando solidifica una convexidad 13 formada por acero fundido que invade la concavidad de la cavidad 9, la solidificación es desigual en la comparación cavidad por cavidad y esta desigualdad hace que se acumule tensión/esfuerzo desigual en una base cavidad por cavidad. Debido a esta desigual tensión/esfuerzo, se genera una “grieta de cavidad 14”.

Cuando la convexidad 13 de acero fundido se solidifica, la solidificación de una porción en la que se deposita escoria 7 se retrasa naturalmente porque la escoria actúa como resistencia térmica. En este caso, la desigual tensión/esfuerzo expuesta antes se relaja por la solidificación retrasada.

El conocimiento obtenido a partir del resultado del examen expuesto antes se resume de la forma siguiente:

(a) El acero fundido contacta con el borde de una cavidad mientras que no entra en contacto o hace un contacto parcial (no hace contacto completo) con el fondo de la cavidad debido a la existencia de un huelgo de gas.

(b) El acero fundido en contacto con el borde de una cavidad se solidifica más rápidamente que el acero fundido que no está en contacto con el borde.

(c) Si existe un huelgo de gas entre el acero fundido y una cavidad, el huelgo de gas actúa como resistencia térmica retrasando la generación del núcleo, retrasando así la solidificación del acero fundido.

(d) La solidificación del acero fundido es desigual en una comparación cavidad por cavidad, y la desigual tensión/esfuerzo debida a esta desigualdad se acumula en una base de cavidad por cavidad. Esta es la causa de la “grieta de cavidad”.

(e) Si existe un huelgo de gas entre el acero fundido con escoria depositada en el mismo y una cavidad, la escoria y el huelgo de gas actúan como resistencia térmica para retardar más la solidificación del acero fundido. Como resultado se hace una diferencia de espesor entre una porción de una placa curva en solidificación con escoria depositada en la misma, y se acumula una desigual tensión/esfuerzo en una parte límite del espesor. Esta es la causa de las “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”.

(f) Si la “profundidad de las cavidades” es menor, la altura de la invasión del acero fundido en la concavidad de una cavidad (la altura de una convexidad) es más baja y por tanto la acumulación cavidad por cavidad de tensión/esfuerzo se relaja, suprimiendo así la generación de “grietas de cavidad” mientras que la acumulación de tensión/esfuerzo desigual debido al retardo de la solidificación basado en la escoria y el huelgo de gas se acelera, haciendo así que aparezcan frecuentemente “desigualdades de decapado” y “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”.

ES 2 291 995 T3

(g) Si la “profundidad de las cavidades” es mayor, la altura de la invasión de acero fundido en la concavidad de una cavidad (la altura de una convexidad) es mayor, y por tanto la acumulación cavidad por cavidad de tensión/esfuerzo desigual se acelera, haciendo así que aparezcan frecuentemente “grietas de cavidad”, mientras que la acumulación de tensión/esfuerzo desigual debido al retraso de la solidificación basado en la escoria y el huelgo de gas se relaja, suprimiendo así la generación de “desigualdades de decapado” y de “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”.

Dado que es evidente que tanto las “desigualdades de decapado” como las “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” están estrechamente asociadas con el “comportamiento de solidificación del acero fundido”, los presentes inventores tuvieron la idea, basándose en la información obtenida, de que si se aseguraba suficiente “profundidad de cavidad” para suprimir la generación de “desigualdades de decapado” y de “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” y, en la premisa de esta “profundidad de cavidad”, si la superficie de la cavidad está provista de las funciones de:

(x) retrasar la solidificación del acero fundido en contacto con los bordes de las cavidades, y de

(y) acelerar la solidificación del acero fundido en contacto con los fondos de las cavidades,

entonces la tensión/esfuerzo desigual generada y acumulada en una base cavidad por cavidad podría reducirse y podrían evitarse tanto la generación de “grietas de desigualdad de decapado” como la generación de “grietas de cavidad”.

Usando la idea descrita antes, los presentes inventores han estudiado una forma de superficie que cumpla las funciones (x) e (y) expuestas antes con respecto a cavidades a formar en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento. Como resultado, se obtuvo el conocimiento siguiente:

(A) Si se da una “redondez” de una forma prescrita al borde de cada cavidad o si se forman “orificios finos” de una forma prescrita sobre el borde de cada cavidad, puede retrasarse la solidificación del acero fundido en contacto con los bordes de las cavidades.

Cuando se da “redondez” al borde de cada cavidad, o se forman “orificios finos” sobre el mismo, el acero fundido entra en contacto fácilmente con los fondos de las cavidades bajo la presión estática del acero fundido y la fuerza de atornillado del tambor de enfriamiento, y solidifica con núcleos de solidificación generados usados como puntos de partida. Además, se obtuvo el conocimiento siguiente:

(B) Si se forman “resaltes finos”, “orificios finos” o “desigualdades finas” de una forma prescrita, en el fondo de cada cavidad, la generación de núcleos de solidificación se acelera y la solidificación del acero fundido progresa más rápidamente.

Basándose en la información obtenida, los presentes inventores concibieron la idea de que si primero se aseguraba suficiente “profundidad de cavidad” para suprimir la “grieta de cavidad” y, sobre la premisa de esta “profundidad de cavidad”, si la superficie de cada cavidad era provista con las funciones de:

(W) prevenir la formación de un huelgo de gas que actúa como resistencia térmica,

(X) retrasar la solidificación del acero fundido en contacto con el borde de cada cavidad, y

(Y) acelerar la solidificación del acero fundido en contacto con el fondo de cada cavidad,

entonces la desigual tensión/esfuerzo acumulada en una parte límite del espesor de una placa curva en solidificación basada en el retraso de la solidificación de una porción con escoria depositada sobre la misma podría reducirse y en consecuencia podrían suprimirse tanto la generación de la “grieta de desigualdad de decapado” como la generación de la “grieta de cavidad”.

Con la idea expuesta antes, los presentes inventores hicieron un intenso estudio/investigación acerca de una superficie que cumpla la función de (W) expuesta antes con respecto a las cavidades a formar en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento. Como resultado se obtuvo el siguiente conocimiento:

(C) Si una sustancia que tiene una elevada humectabilidad con la escoria existe en la superficie de un tambor de enfriamiento, la escoria hace un contacto estrecho con la superficie, resistiendo así la formación de un huelgo de gas.

Normalmente, a la superficie de un tambor de enfriamiento se le da un chapado con Ni. Ha quedado claro que la aleación Ni-W es adecuada como sustancia que tiene una alta humectabilidad con la escoria.

Cuando la formación del huelgo de gas se suprime y se da “redondez” al borde de cada cavidad, y se forman sobre al mismo “orificios finos”, el acero fundido entra en contacto fácilmente con los fondos de las cavidades bajo la fuerza de atornillamiento y solidifica con los núcleos de solidificación generados usados como puntos de partida. Además, se obtuvo el conocimiento siguiente:

(D) Si se forman previamente “resaltes finos” en el fondo de una cavidad, la generación de núcleos de solidificación se acelera y la solidificación del acero fundido progresa más rápidamente.

La presente invención se ha hecho sobre la base del conocimiento expuesto anteriormente y en la comprobación de relaciones deseables entre la forma de las cavidades, la forma de la “redondez” y los “orificios finos” formados en el borde de cada cavidad, y la forma de los “resaltes finos” formados en el fondo de cada cavidad.

El objeto de la presente invención puede conseguirse mediante las características especificadas en la reivindicaciónes.

La invención se describe con detalle junto con los dibujos, en los que:

La Fig. 1 es una vista lateral que muestra un vaciador continuo del tipo de tambores gemelos.

La Fig. 2 es una vista que muestra aspectos de una “desigualdad de decapado” y “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” que aparecen en la superficie de una plancha delgada colada en continuo.

La Fig. 3 es una ilustración que muestra esquemáticamente el mecanismo de generación de las “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” que se muestran en la Fig. 2.

La Fig. 4 es un gráfico que muestra la relación entre “profundidad de cavidad” (aparición de solidificación) y “longitud de grieta” (estado de generación) de la “grieta de cavidad” y “grieta que acompaña a desigualdades de decapado”.

La Fig. 5 es una ilustración que muestra esquemáticamente el mecanismo de generación de las “grietas de cavidad”.

La Fig. 6 es una ilustración que muestra esquemáticamente el aspecto en el que las cavidades se forman adyacentes unas de otras en los bordes de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento; (a) muestra el aspecto de superficie de las cavidades y (b) muestra el aspecto transversal de las cavidades.

La Fig. 7 es una ilustración que muestra esquemáticamente un ejemplo del aspecto transversal de los “resaltes finos”.

La Fig. 8 es una ilustración que muestra esquemáticamente un ejemplo del aspecto transversal de los “orificios finos”.

La Fig. 9 es una ilustración que muestra de forma plana y esquemáticamente el aspecto en el que se forman “resaltes finos” en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento.

La Fig. 10 es una ilustración que muestra esquemáticamente la sección del aspecto en que se forman “resaltes finos” en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento.

La Fig. 11 es una ilustración que muestra de forma plana y esquemáticamente el aspecto en el que se forman “orificios finos” en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento.

La Fig. 12 es una ilustración que muestra esquemáticamente la sección del aspecto en que se forman “orificios finos” en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento.

La Fig. 13 es una vista que muestra el resultado de observar (fotografiar) (bajo 15 aumentos) un modelo con 45° diagonalmente mediante un microscopio electrónico después de que el modelo se toma de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento convencional.

La Fig. 14 es una vista que muestra el resultado de observar (fotografiar) (bajo 50 aumentos) un modelo con 45° diagonalmente mediante un microscopio electrónico después de que el modelo se toma de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento convencional.

La Fig. 15 es una vista que muestra el resultado de observar (fotografiar) (bajo 15 aumentos) un modelo con 45° diagonalmente mediante un microscopio electrónico después de que el modelo se toma de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento según la presente invención.

La Fig. 16 es una vista que muestra el resultado de observar (fotografiar) (bajo 50 aumentos) un modelo con 45° diagonalmente mediante un microscopio electrónico después de que el modelo se toma de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento según la presente invención.

La Fig. 17 es una vista que muestra el resultado de observar (fotografiar) (bajo 100 aumentos) un modelo 45° diagonalmente mediante un microscopio electrónico después de que el modelo se toma de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento según la presente invención.

ES 2 291 995 T3

La Fig. 18 es un gráfico que muestra una parte del resultado (porcentaje de aparición de porciones de plató: 7,5%) de medir las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento convencional con un calibre de rugosidad de dos dimensiones.

La Fig. 19 es un gráfico que muestra una parte del resultado (porcentaje de aparición de porciones de plató: 4,2%) de medir las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento convencional con un calibre de rugosidad de dos dimensiones.

La Fig. 20 es un gráfico que muestra una parte del resultado (porcentaje de aparición de porciones de plató: 1,1%) de medir las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento según la presente invención con un calibre de rugosidad de dos dimensiones.

La Fig. 21 es una ilustración que muestra el aspecto de la superficie de un tambor de enfriamiento para colada continua de acuerdo con la presente invención; (a) es una vista en sección que muestra las proximidades de la superficie en estado agrandado, y (b) es una vista en planta que muestra la escabrosidad de la superficie con la profundidad del color.

La Fig. 22 es una ilustración que muestra otro aspecto de la superficie de un tambor de enfriamiento para colada continua de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 23 es una vista lateral de un aparato con el que se lleva a cabo el método de colada continua de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 24 es un dibujo que muestra la configuración de un aparato para formar cavidades de un tambor de enfriamiento para colada continua de plancha delgada de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 25 es una ilustración que muestra esquemáticamente un interruptor rotatorio (*chopper*) que es uno de los componentes de un láser de CO₂ con interruptor Q (*Q-switched*) usado para formar cavidades de un tambor de enfriamiento para colada continua de plancha delgada de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 26 es un gráfico que muestra un ejemplo de la forma de onda de oscilación de un láser de CO₂ con interruptor Q.

La Fig. 27 muestra los resultados experimentales de la formación de orificios con un láser de CO₂ con interruptor Q en las condiciones de las combinaciones de varios tipos de energía de pulso y anchura total de pulso. (a) es un gráfico que muestra la relación entre anchura de pulso total y profundidad del orificio, y (b) es un gráfico que muestra la relación entre anchura de pulso total y diámetro del orificio de la superficie.

La Fig. 28 es un gráfico que muestra la relación entre la energía del pulso y la profundidad del orificio, por lo que se refiere a los datos obtenidos bajo la condición de la anchura de pulso total de 30 μ seg sacado de los datos de la Fig. 27.

La Fig. 29 es una vista que muestra un aspecto de la superficie obtenido como resultado de aplicar un método de formación de cavidades de un tambor de enfriamiento para colada continua de plancha fina de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 30 es una ilustración que muestra el fenómeno de tratamiento en un método de formación de orificios en un material metálico con láser de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 31 muestra los resultados de la medida de la propiedad de transmisión infrarroja de un lubricante de petróleo usado en los ejemplos de acuerdo con la presente invención. (a) es un gráfico que muestra el resultado cuando el lubricante es de 15 μ m de espesor, y (b) es lo mismo cuando el lubricante es de 50 μ m de espesor.

La Fig. 32 es un gráfico que muestra la relación entre el espesor del recubrimiento de lubricante y la transmitancia luminosa de un lubricante de petróleo usado en los ejemplos de acuerdo con la presente invención en el caso de una longitud de onda de 10,59 μ m.

La Fig. 33 muestra el aspecto de las superficies en las que se aplicó formación de orificios como los ejemplos de acuerdo con la presente invención. (a) muestra el resultado sin recubrimiento de acuerdo con un método convencional, (b) muestra el resultado de aplicar el material de recubrimiento mostrado en la Fig. 31 en el espesor de 50 μ m en las condiciones de acuerdo con la presente invención, y (c) muestra el resultado de aplicar el material de recubrimiento mostrado en la Fig. 31 en el espesor de 200 μ m como condición que se desvía de la presente invención.

La presente invención se explicará con más detalle.

El principio tecnológico fundamental de la invención expuesta anteriormente es formar orificios finos en los bordes de cavidades y/o en las superficies de las cavidades con respecto a un tambor de enfriamiento en el que se forman cavidades de una forma prescrita adyacentes entre sí en los bordes de dichas cavidades en la superficie periférica del tambor de enfriamiento.

De acuerdo con el conocimiento establecido anteriormente, se proporciona una función de retrasar la solidificación del acero fundido formando resaltes finos u orificios finos en los bordes de las cavidades y se proporciona una función de acelerar la solidificación del acero fundido formando resaltes finos, orificios finos o desigualdades finas en las superficies de las cavidades.

La Fig. 6 es una ilustración que muestra esquemáticamente aspectos en los que se forman cavidades 16 adyacentes entre sí en los bordes 17 de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento. La Fig. 6 (a) es una ilustración esquemática que muestra la forma de la superficie de las cavidades; las líneas de trazo continuo de la Fig. 6 (a) muestran los bordes de las cavidades. Una sección transversal de la forma de la superficie se muestra esquemáticamente en la Fig. 6 (b).

Como se muestra en la Fig. 6 (b), los bordes de las cavidades, según se forman, son afilados. Cuando se forman un gran número de resaltes finos en los bordes, los resaltes finos se forman de tal manera que están conectados continuamente entre sí en los bordes estrechos de forma afilada, y por ello a los bordes de las cavidades se les da “redondez”.

La Fig. 7 es una ilustración que muestra esquemáticamente un ejemplo de forma transversal de “resaltes finos”. Los “resaltes finos” mostrados en la Fig. 7 están formados de manera tal que están conectados continuamente entre sí en los bordes de las cavidades, dando así “redondez” a los bordes de las cavidades.

Los bordes de las cavidades con “redondez” expuestos anteriormente actúan retrasando la generación de núcleos de solidificación en el acero fundido en contacto con los bordes y por ello retardan el progreso de la solidificación del acero fundido. Los bordes de cavidades con “redondez” descritos antes actúan acelerando la invasión del acero fundido en los fondos de las cavidades. Como consecuencia, el acero fundido entra en contacto fácilmente con los fondos de las cavidades bajo la presión estática del acero fundido y la fuerza de atornillamiento del tambor de enfriamiento.

Cuando se forman “orificios finos” en los bordes afilados de las cavidades, las formas afiladas desaparecen y se forman partes de enfriamiento lento que retienen gas. Por ello, los bordes de las cavidades que tienen los “orificios finos” actúan retrasando la generación de núcleos de solidificación en el acero fundido en contacto con los bordes y por ello retrasan el progreso de la solidificación del acero fundido.

La Fig. 8 es una ilustración que muestra esquemáticamente un ejemplo de la forma transversal de los “orificios finos”. Formando los “orificios finos” mostrados en la Fig. 8 en los bordes de las cavidades, las formas afiladas de los bordes desaparecen.

La existencia de los “orificios finos” en los bordes de las cavidades acelera la invasión del acero fundido en los fondos de las cavidades, y por tanto el acero fundido entra en contacto fácilmente con los fondos de las cavidades bajo la presión estática del acero fundido y la fuerza de atornillamiento del tambor de enfriamiento.

Cuando se forman “desigualdades finas” en los bordes de las cavidades, se proporcionan al mismo tiempo tanto la función de la “redondez” como la función de los “orificios finos”.

Mientras tanto, los “resaltes finos”, “orificios finos” o “desigualdades finas” formados en la superficie del fondo de las cavidades actúan acelerando la generación de núcleos de solidificación en el acero fundido en contacto con las superficies, acelerando así la solidificación del acero fundido.

Las Figs. 9 y 10 son ilustraciones que muestran esquemáticamente aspectos en los que se forman “resaltes finos 18” en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento, y las Figs. 11 y 12 son ilustraciones que muestran esquemáticamente aspectos en los que se forman “orificios finos 19” en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento.

Como se expuso anteriormente, un tambor de enfriamiento para colada continua de plancha delgada de la presente invención (en adelante denominado “tambor de enfriamiento de la presente invención”) asegura una suficiente “profundidad de cavidades” para impedir la generación de “desigualdades de decapado” y de “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”, y además tiene las funciones de retardar la solidificación del acero fundido en los bordes de las cavidades al tiempo que aceleran la invasión del acero fundido en los fondos de las cavidades, y aceleran la solidificación del acero fundido que invade y entra en contacto con las superficies en las superficies del fondo de las cavidades.

En consecuencia, en un tambor de enfriamiento de la presente invención, el “comportamiento de solidificación” en la superficie periférica del tambor de enfriamiento se iguala y por tanto se reduce la tensión/esfuerzo desigual (que provoca “grietas de cavidad”) generada y acumulada en una base de cavidad por cavidad.

En un tambor de enfriamiento de la presente invención, incluso si la escoria es atrapada entre el tambor de enfriamiento y el acero fundido para retardar la solidificación de porciones del acero fundido con escoria depositada en el mismo y la placa curva en solidificación se hace más fina en las porciones en las que la escoria es depositada en el mismo, el grado de desigualdad del espesor de la placa curva en solidificación se limita al 20% o menos y por tanto se reduce el “esfuerzo” (que causa las “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”) que es generado y acumulado en porciones de espesor desigual de la placa curva en solidificación.

ES 2 291 995 T3

En un tambor de enfriamiento de la presente invención, las cavidades tienen de 80 a 200 μm de profundidad media y de 200 a 2000 μm de diámetro del círculo equivalente adyacentes entre sí en los bordes de las cavidades en la superficie periférica del tambor de enfriamiento (véase la Fig. 6).

5 Si la profundidad media de la cavidad es menor que 80 μm , no puede obtenerse un efecto de relajación macroscópico de tensión/esfuerzo de las cavidades y por tanto su límite inferior se establece en 40 μm . Por otra parte, si la profundidad media de las cavidades es más de 200 μm , la invasión del acero fundido en los fondos de las cavidades se hace insuficiente y por consiguiente su límite superior se establece en 200 μm .

10 El tamaño de las cavidades es de 200 a 2000 μm de diámetro del círculo equivalente. Si este diámetro es menor que 200 μm , la invasión del acero fundido en los fondos de las cavidades se hace insuficiente y por consiguiente su límite superior se establece en 200 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente es mayor que 2000 μm , la acumulación de tensión/esfuerzo en una base de cavidad por cavidad se hace grande para hacer fácil generar grietas de cavidad, y por consiguiente su límite superior se establece en 2000 μm .

15 Además, es preferible que se formen “resaltes finos”, “orificios finos” o “desigualdades finas” que tengan cada uno de ellos la forma requerida, en la superficie de las cavidades de la forma establecida anteriormente. Las formas requeridas se explican a continuación.

20 (a) Resaltes finos

Resaltes finos de 1 a 50 μm de altura y de 5 a 200 μm de diámetro del círculo equivalente se forman en las superficies de cavidades de la forma establecida antes.

25 Si la altura es menor que 1 μm , los resaltes no pueden hacer suficiente contacto con el acero fundido para inhibir la generación de núcleos de solidificación y, por tanto, su límite inferior se establece en 1 μm . Por otra parte, si la altura es mayor que 50 μm , la solidificación del acero fundido se retarda en los fondos de los resaltes para producir la desigualdad de la placa curva en solidificación en las cavidades y, por tanto, su límite superior se establece en 50 μm .

30 Si el diámetro del círculo equivalente es menor que 5 μm , el enfriamiento de los resaltes se hace insuficiente para inhibir la generación de núcleos de solidificación y, por tanto, su límite inferior se establece en 5 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente es más de 200 μm , se generan porciones de acero fundido que contactan de forma insuficiente con los resaltes para hacer que la generación de núcleos de solidificación sea desigual y, por tanto, su límite superior se establece en 200 μm .

(b) Orificios finos

35 Se forman orificios finos de 30 μm o más de profundidad y de 50 a 200 μm de diámetro del círculo equivalente, en las superficies de cavidades de la forma establecida anteriormente.

40 Si la profundidad es menor que 30 μm , la generación de huecos de aire en porciones del orificio fino se hace insuficiente y la generación de núcleos de solidificación en las superficies de las cavidades que excluyen porciones del orificio fino no puede conseguirse de forma segura y, por tanto, su límite inferior se establece en 30 μm .

45 Si el diámetro del círculo equivalente es menor que 50 μm , no puede ejercerse eficientemente un efecto de relajación del enfriamiento en porciones del orificio fino y la generación de núcleos de solidificación no puede limitarse a las superficies de las cavidades excluyendo las porciones de orificio fino y, por consiguiente, su límite inferior se establece en 50 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente es más de 200 μm , el acero fundido que ha invadido las mismas se solidifica para unirse a una placa curva en solidificación, lo que causa que se concentre el esfuerzo y acelera la generación de grietas, y por tanto su límite superior se establece en 200 μm .

(c) Desigualdades finas

55 Se forman desigualdades finas de 1 a 50 μm de profundidad media y de 10 a 200 μm de diámetro del círculo equivalente, en las superficies de cavidades de la forma establecida anteriormente.

60 Si la profundidad media es menor que 1 μm , no se generan núcleos de solidificación en las porciones de las desigualdades y por tanto su límite inferior se establece en 1 μm . Por otra parte, si la profundidad media es más de 50 μm , la solidificación en las porciones del fondo de las desigualdades se retarda para provocar desigualdad de la placa curva en solidificación en las cavidades, y por tanto su límite superior se establece en 50 μm .

65 Si el diámetro del círculo equivalente es menor que 10 μm , no se generan núcleos de solidificación en las porciones de desigualdades y por tanto su límite inferior se establece en 10 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente es más de 200 μm , algunas porciones de acero fundido no hacen contacto suficiente con las porciones de las desigualdades para causar desigualdad en la generación de núcleos de solidificación, y por tanto su límite superior se establece en 200 μm .

ES 2 291 995 T3

Además, en el tambor de enfriamiento de la presente invención es preferible formar resaltes finos de una forma requerida adyacentes entre sí en los bordes de las cavidades para dar “redondeces” a los bordes o para formar “orificios finos” de una forma requerida en los bordes, siendo las cavidades “de 40 a 200 μm de profundidad media y de 0,5 a 3 mm de diámetro del círculo equivalente” y siendo formadas adyacentes entre sí en los bordes de las cavidades en la superficie periférica del tambor de enfriamiento. Las formas requeridas se explican a continuación.

(d) Resaltes finos

Se forman resaltes finos de 1 a 50 μm de altura y de 30 a 200 μm de diámetro del círculo equivalente, adyacentes entre sí, en los bordes de las cavidades de la forma establecida anteriormente.

Si la altura es menor que 1 μm , no puede obtenerse el efecto de retardar la generación de núcleos de solidificación en los bordes de las cavidades, y por tanto, su límite inferior se establece en 1 μm . Por otra parte, si la altura es más de 50 μm , la invasión del acero fundido en los fondos de las cavidades se hace insuficiente y, por tanto, su límite superior se establece en 50 μm .

Si el diámetro del círculo equivalente es menor que 30 μm , no puede obtenerse el efecto de retardar la generación de núcleos de solidificación en los bordes de las cavidades y por tanto su límite inferior se establece en 30 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente es más de 200 μm , no puede obtenerse el efecto de relajación de la tensión/esfuerzo de las cavidades, y por tanto su límite superior se establece en 200 μm .

(e) Orificios finos

Se forman orificios finos de 30 μm o más de profundidad y de 50 a 200 μm de diámetro del círculo equivalente, en los bordes de las cavidades de la forma establecida anteriormente.

Si la profundidad es menor que 30 μm , la formación de huecos de aire en las porciones de los orificios finos se hace insuficiente y no puede obtenerse el efecto de retardar la generación de núcleos de solidificación, y por tanto su límite inferior se establece en 30 μm .

Si el diámetro del círculo equivalente es menor que 5 μm , los núcleos de solidificación se generan en las proximidades de los bordes distintos de las porciones de los orificios finos y no puede obtenerse el efecto de acelerar la invasión del acero fundido en las porciones del fondo de las cavidades y, por tanto, su límite inferior se establece en 50 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente es más de 200 μm , la altura aparente de los bordes de las cavidades se reduce y no puede obtenerse el efecto de relajación de la tensión/esfuerzo, y por tanto su límite superior se establece en 200 μm .

La estructura de la superficie periférica de un tambor de enfriamiento puede formarse combinando apropiadamente los “resaltes finos”, “orificios finos” y “desigualdades finas” de (a) a (e) establecidas anteriormente de acuerdo con el tipo de acero, el espesor de placa deseado y la calidad. Un tambor de enfriamiento de la presente invención puede ser usado tanto para la colada continua de tipo de rodillo simple como para la colada continua de tipo de rodillos gemelos.

Ahora, se explica una plancha delgada que es colada en continuo mediante colada continua del tipo de rodillo simple o colada continua de tipo de rodillos gemelos usando un tambor de enfriamiento de la presente invención.

Una plancha delgada de la presente invención se hace básicamente de manera tal que el acero fundido empieza a solidificar desde los puntos de origen de los núcleos de solidificación generados en las porciones del acero fundido en contacto con los bordes de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento y después solidifica desde los puntos de origen de los núcleos de solidificación generados en las porciones del acero fundido en contacto con los resaltes finos, orificios finos o desigualdades finas en las superficies de las cavidades establecidas anteriormente.

Si el diámetro del círculo equivalente de las cavidades en la superficie periférica del tambor de enfriamiento es de 200 a 2000 μm , los puntos de origen de núcleos de solidificación en las porciones del acero fundido en contacto con los bordes de las cavidades se generan a lo largo de los bordes, esto es, en forma de anillo de 200 a 2000 μm de diámetro del círculo equivalente.

Es preferible que los puntos de origen de los núcleos de solidificación generados en las porciones del acero fundido en contacto con “resaltes finos”, “orificios finos” o “desigualdades finas” en las superficies de las cavidades sean generados en intervalos de 250 μm o menos.

En otras palabras, es preferible que se formen “resaltes finos”, “orificios finos” o “desigualdades finas” como mucho de 200 μm de diámetro del círculo equivalente a intervalos de 250 μm o menos en las superficies de las cavidades manifestadas anteriormente para acelerar la generación de los puntos de núcleos de solidificación manifestados antes.

En una plancha delgada de la presente invención, a veces ocurre que se forman en su superficie “depresiones conectadas reticulares” y, junto a ello, se forman “depresiones finas” y/o “resaltes finos” en cada una de las regiones divididas por las “depresiones conectadas reticulares”, lo que está causado por el hecho de que el acero fundido

ES 2 291 995 T3

solidifica en contacto con los “bordes” y “superficie del fondo” de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento.

Las “depresiones finas” y/o “resaltes finos” descritos anteriormente y formadas en la superficie de la plancha delgada corresponden a “orificios finos” o “desigualdades finas” en el caso en que se forman sobre los bordes de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento de la presente invención.

Si el diámetro del círculo equivalente de las cavidades en la superficie periférica del tambor de enfriamiento de la presente invención es de 200 a 2000 μm , entonces cada una de las regiones divididas por las “depresiones conectadas reticulares” es una región de 200 a 2000 μm de diámetro del círculo equivalente correspondiente al diámetro del círculo equivalente de las cavidades.

En cada una de las regiones divididas por las depresiones conectadas reticulares expuestas antes, se forman “depresiones finas” y/o “resaltes finos” por contacto con los resaltes finos, orificios finos o desigualdades finas en las superficies de las cavidades en la superficie periférica del tambor de enfriamiento. Es preferible que estas “depresiones finas” y/o “resaltes finos” existan en intervalos de 250 μm o menos.

Lo más preferentemente, una plancha delgada de la presente invención se hace de tal manera que el acero fundido empiece a solidificar desde los puntos de origen de los núcleos de solidificación generados a lo largo de las depresiones conectadas reticulares formadas en las porciones del acero fundido en contacto con los bordes de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento manteniendo la forma de las depresiones conectadas reticulares y después solidifica a partir de los puntos de origen de los núcleos de solidificación generados en las porciones del acero fundido en contacto con los “resaltes finos”, “orificios finos” o “desigualdades finas” en las superficies de las cavidades descritas anteriormente.

Más preferentemente, en una plancha delgada descrita anteriormente, cada una de las regiones divididas por las depresiones conectadas reticulares es una región de 200 a 2000 μm de diámetro del círculo equivalente y/o los puntos de origen de núcleos de solidificación generados en las porciones del acero fundido en contacto con los resaltes finos, los orificios finos o las desigualdades finas expuestas anteriormente se generan en intervalos de 250 μm o menos.

A continuación se explican Ejemplos de la presente invención. Sin embargo, la presente invención no se limita a las estructuras de la superficie periférica de tambores de enfriamiento ni a las condiciones de colada continua utilizadas en los Ejemplos, ni a las formas y estructuras de chapas delgadas adquiridas por las estructuras de la superficie periférica y bajo las condiciones de colada continua.

Ejemplo 1

Aceros inoxidables SUS304 fueron colados en planchas delgadas en forma de flejes de 3 mm de espesor mediante un vaciador continuo del tipo de tambores gemelos, y después las planchas fueron laminadas en frío para producir productos en lámina de 0,5 mm de espesor. Para colar los aceros inoxidables en planchas delgadas en forma de fleje expuestas antes, la superficie periférica de un tambor de enfriamiento de 1.330 mm de anchura y 1.200 mm de diámetro fue tratada bajo las condiciones mostradas en la Tabla 1. Las “cavidades” de la Tabla 1 se formaron mediante granallado.

La calidad de la superficie de los productos en lámina obtenidos finalmente se muestra en las Tablas 1, 2 (continuación de la Tabla 1) y 3 (continuación de la Tabla 2).

Las grietas y el brillo desigual se juzgaron por observación visual después de que las planchas delgadas fueron laminadas en frío, decapadas y recocidas. Las estructuras de las planchas fueron enjuiciadas por observación al microscopio después de que sus superficies hubieran sido pulidas y mordentadas. La rugosidad de sus superficies se midió mediante un calibre de rugosidad tridimensional.

Tabla 1

Nº	Cavidad		Forma del borde de la cavidad			Forma de la superficie de la cavidad				Punto de partida de la generación de núcleos de solidificación		Forma de la superficie de la plancha			Calidad		
	Prof. (µm)	Diam. (mm)	Forma	Anchura, profundidad (µm)	Diámetro (µm)	Forma	Anchura, profundidad (µm)	Diámetro (µm)	Diámetro del punto de partida en forma de anillo (mm)	Intervalo de partida dentro del punto de partida en forma de anillo (µm)	Diámetro de la depresión reticular (mm)	Intervalo de depresión dentro de la depresión reticular (µm)	Grieta de cavidad	Grieta que acompaña a desigualdad de decapado	desigualdad de decapado		
1	40	1	-			Resalte	1	50	1	200	1	200	■	□	□		
2	100	2	-			Resalte	50	100	2	100	2	100	■	■	■		
3	150	0,8	-			Resalte	30	5	0,8	250	0,8	250	□	■	■		
4	200	2	-			Resalte	40	200	2	150	2	150	□	■	■		
5	100	2	-			Orificio fino	5	40	2	200	2	200	■	■	■		
6	40	3	-			Orificio fino	100	150	3	150	3	150	■	□	□		
7	200	0,5	-			Orificio fino	40	10	0,5	200	0,5	200	□	■	■		
8	150	2	-			Orificio fino	60	200	2	250	2	250	■	■	■		
9	50	1	-			Desigualdad fina	1	50	1	150	1	150	■	□	□		
10	200	1,5	-			Desigualdad fina	50	100	1,5	200	1,5	200	□	■	■		
11	80	2	-			Desigualdad fina	20	10	2	150	2	150	■	■	■		
12	150	2	-			Desigualdad fina	40	200	2	200	2	200	□	■	■		

Tabla 2 (continuación de la Tabla 1)

Nº	Cavidad		Forma del borde de la cavidad			Forma de la superficie de la cavidad			Punto de partida de la generación de núcleos de solidificación		Forma de la superficie de la plancha		Calidad		
	Prof.	Diam.	Forma	Anchura, profundidad	Díametro	Forma	Anchura, profundidad	Díametro	Díametro del punto de partida en forma de anillo	Intervalo de punto de partida dentro del punto de partida en forma de anillo	Díametro de la depresión reticular (mm)	Intervalo de depresión dentro de la depresión reticular (µm)	Grieta de cavidad	Grieta que acompaña a desigualdad de decapado	desigualdad de decapado
	(µm)	(mm)		(µm)	(µm)		(µm)	(µm)	(mm)	(µm)	(mm)	(µm)			
13	50	1	Resalte	1	150	-			1	270	1	270	□	■	□
14	140	2	Resalte	50	80	-			2	260	2	260	□	■	■
15	100	0,5	Resalte	20	30	-			0,5	310	0,5	310	□	■	■
16	80	1,5	Resalte	8	200	-			1,5	280	1,5	280	□	■	■
17	120	1	Resalte	1	100	Resalte	1	50	1	150	1	150	■	■	■
18	150	2	Resalte	50	150	Resalte	50	150	2	160	2	160	■	■	■
19	100	1,8	Resalte	30	30	Resalte	20	5	1,8	110	1,8	110	■	■	■
20	140	3	Resalte	5	200	Resalte	30	200	3	210	3	210	■	■	■
21	60	2,5	Resalte	1	70	Orificio fino	5	50	2,5	80	2,5	80	■	■	□
22	150	2,8	Resalte	50	130	Orificio fino	100	100	2,8	50	2,8	50	■	■	■
23	100	2,2	Resalte	40	30	Orificio fino	150	10	2,2	100	2,2	100	■	■	■
24	80	2,5	Resalte	10	200	Orificio fino	50	200	2,5	250	2,5	250	■	■	■
25	110	3	Resalte	50	80	Desigualdad fina	20	120	3	200	3	200	■	■	■
26	100	1,2	Resalte	1	140	Desigualdad fina	50	60	1,2	130	1,2	130	■	■	■
27	80	2,8	Resalte	20	30	Desigualdad fina	1	10	2,8	90	2,8	90	■	■	■
28	100	1,6	Resalte	9	200	Desigualdad fina	30	200	1,6	250	1,6	250	■	■	■

Tabla 3 (continuación de la Tabla 2)

Nº	Cavidad		Forma del borde de la cavidad			Forma de la superficie de la cavidad			Punto de partida de la generación de núcleos de solidificación		Forma de la superficie de la plancha		Calidad		
	Prof.	Diám.	Forma	Anchura, profundidad	Diámetro	Forma	Anchura, profundidad	Diámetro	Diámetro del punto de partida en forma de anillo	Intervalo de punto de partida dentro del punto de forma de anillo (µm)	Diámetro de la depresión reticular (mm)	Intervalo de depresión dentro de la depresión reticular (µm)	Grieta de cavidad	Grieta que acompaña a desigualdad de decapado	desigualdad de decapado
	(µm)	(mm)		(µm)	(µm)		(µm)	(µm)	(mm)						
29	60	2	Orificio fino	5	200	-			2	260	2	260	□	■	□
30	80	1	Orificio fino	150	10	-			1	300	1,0	300	□	■	■
31	200	2,5	Orificio fino	50	10	-			2,5	270	2,5	270	□	■	■
32	150	2	Orificio fino	100	200	-			2	280	2	280	□	■	■
33	160	1	Orificio fino	5	15	Resalte	1	20	1	180	1	180	■	■	■
34	190	3	Orificio fino	100	50	Resalte	50	100	3	150	3	150	■	■	■
35	60	2,6	Orificio fino	80	10	Resalte	20	5	2,6	100	2,6	100	■	■	□
36	120	2,5	Orificio fino	20	200	Resalte	30	200	2,5	250	2,5	250	■	■	■
37	80	1,8	Orificio fino	5	10	Orificio fino	5	90	1,8	150	1,8	150	■	■	■
38	200	2	Orificio fino	100	200	Orificio fino	100	170	2	200	2	200	■	■	■
39	150	0,7	Orificio fino	50	10	Orificio fino	60	10	0,7	50	0,7	50	■	■	■
40	100	1,5	Orificio fino	10	100	Orificio fino	20	200	1,5	220	1,5	220	■	■	■
41	90	2,3	Orificio fino	5	200	Desigualdad fina	1	190	2,3	220	2,3	220	■	■	■
42	150	1,8	Orificio fino	50	100	Desigualdad fina	50	60	1,8	100	1,8	100	■	■	■
43	80	1,2	Orificio fino	100	10	Desigualdad fina	20	10	1,2	80	1,2	80	■	■	■
44	180	2,6	Orificio fino	150	50	Desigualdad fina	30	200	2,6	250	2,6	250	■	■	■
Ej. C.1	50	1,2	-			-			1,2	Ninguno	1,2	Ninguno	□	x	x
Ej. C.2	100	1,2	-			-			1,2	Ninguno	1,2	Ninguno	□	x	x
Ej. C.3	150	1,2	-			-			1,2	Ninguno	1,2	Ninguno	x	□	□

ES 2 291 995 T3

Para prevenir las grietas de superficie de una plancha delgada, es necesario enfriar lentamente la placa curva en solidificación formando un huelgo de gas entre el tambor de enfriamiento y la placa curva en solidificación, para hacer que la solidificación empiece desde las porciones periféricas de los resaltes transferidos formando los resaltes transferidos por las cavidades en la superficie de la plancha, y para igualar la solidificación en la dirección de la anchura. Mientras tanto, en el caso en el que la plancha delgada es laminada en una base en línea después de ser colada, se generan defectos de cascarilla de laminación en la plancha delgada laminada, y los defectos quedan en el producto de lámina después de ser laminado en frío.

Los defectos de cascarilla laminados se generan preferentemente en porciones con resaltes transferidos más altos entre las porciones de los resaltes transferidos, esto es, porciones que corresponden a cavidades más profundas entre las cavidades formadas en la superficie periférica del tambor de enfriamiento. En el caso en que la plancha delgada no es laminada en una base en línea después de ser colada, no se generan defectos de cascarilla laminada pero los resaltes transferidos no desaparecen y sus huellas permanecen incluso después de ser laminada en frío.

Las cavidades formadas en la superficie periférica del tambor de enfriamiento son borradas por la colada prolongada y esto provoca que la vida útil del tambor de enfriamiento sea más corta. Se ha descubierto que, para suprimir los defectos de cascarilla laminada causados por los resaltes transferidos y la vida útil más corta como consecuencia del desgaste de las cavidades, las cavidades que tienen una pequeña diferencia entre la profundidad máxima y la profundidad media eran eficaces, y se aclaró que el margen de distribución de profundidad de las cavidades podría ser mas pequeño si el margen de la distribución de diámetros del grano (el diámetro máximo - el diámetro mínimo) de la arena se hacía más pequeño.

En el granallado, se usó granalla que satisface la expresión, el diámetro máximo $\leq$ el diámetro medio + 0,30 mm, y, con el fin de adquirir la profundidad media deseada en la distribución de profundidades de las cavidades, se incrementó el diámetro medio del proyectil usado o se incrementó la presión del chorro de viento en el granallado cuando la dureza de la superficie periférica del tambor de enfriamiento era elevada.

Sin embargo, todavía se generaban grietas de superficie finas en la superficie de una plancha colada usando un tambor de enfriamiento con cavidades formadas en el mismo, basadas en los hechos expuestos antes. Por esta causa, los presentes inventores observaron con detalle las cavidades disponibles. El resultado se muestra en las Figs. 13 y 14. Las Figs. 13 y 14 muestran la rugosidad de la superficie obtenida formando cavidades de 2,1 mm de diámetro medio y 130 μm de profundidad media en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento usando granallado convencional, que es el método más comúnmente usado, tomando un replicado de las cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento, y después observando (fotografiando) el replicado oblicuamente en un ángulo de 45° bajo 15 aumentos (Fig. 13) y 50 aumentos (Fig. 14) con un microscopio electrónico.

En las Figs. 13 y 14, la rugosidad de las cavidades es clara y el diámetro de las cavidades alcanza 4.000 μm y su profundidad excede de 100 μm . En tales cavidades, a causa de que son grandes tanto en diámetro como en profundidad, existen porciones de enfriamiento rápido y porciones de enfriamiento lento en un estado mixto cuando se forma una placa curva en solidificación. Esto hace naturalmente que ocurra un fenómeno de enfriamiento excesivamente lento en la concavidad de las cavidades formadas en la superficie periférica del tambor de enfriamiento, y por otra parte, que ocurra un fenómeno de enfriamiento rápido en la convexidad de las mismas.

Además, en un fenómeno de solidificación durante la colada, como la solidificación comienza a partir de porciones en contacto con cavidades, la diferencia entre el enfriamiento lento y el enfriamiento rápido se hace demasiado grande en las porciones en las que el diámetro o la profundidad de las cavidades es grande, y así tienden a generarse fácilmente grietas finas en una base de cavidad por cavidad.

Los presentes inventores formaron desigualdades finas de 10 a 50 μm de diámetro medio y de 1 a 50 μm de profundidad media, y resaltes finos de 1 a 50 μm de altura generados por la intrusión de fragmentos de arenilla de alúmina en la superficie periférica del tambor de enfriamiento formando cavidades de 1,0 a 4,0 mm de diámetro medio y de 40 a 170 μm de profundidad media en la superficie periférica del tambor de enfriamiento y después rociando arenilla de alúmina muy fina de decenas a centenares de micrómetros de diámetro medio, en las cavidades.

En este caso, algo de la arenilla de alúmina choca con la superficie periférica del tambor para formar cavidades y algo se rompe en el momento de la colisión en fragmentos que se pegan a la superficie periférica del tambor y se quedan como fragmentos introducidos en la superficie periférica del tambor formando finos resaltes en ángulo agudo o en ángulo obtuso. En consecuencia, se forman adicionalmente desigualdades finas y resaltes finos en las cavidades convencionales que tienen grandes diámetros y grandes profundidades. Las desigualdades finas son de 10 a 50 μm de diámetro medio y de 1 a 50 μm de profundidad media, y los resaltes finos son de 1 a 50 μm de altura.

Las Figs. 15, 16 y 17 muestran los resultados (rugosidad de la superficie) de la observación en la que se toma el replicado de las cavidades formadas en la superficie periférica del tambor de enfriamiento, y después se observa (se fotografía) el replicado oblicuamente en un ángulo de 45° bajo 15 aumentos (Fig. 15), 50 aumentos (Fig. 16) y 100 aumentos (Fig. 17) con un microscopio electrónico. El estado de las desigualdades finas formadas en las cavidades puede observarse en las Fig. 15 (15 aumentos) y 16 (50 aumentos).

En la Fig. 17 (100 aumentos) puede verse una porción en la que penetra un segmento de arenilla de alúmina, que se indica mediante una flecha. En el caso de tales cavidades, como la solidificación se inicia no sólo a partir de las cavidades sino también a partir de las convexidades de las desigualdades finas y a partir de los resaltes finos, las distribuciones de las porciones de enfriamiento rápido y de las porciones de enfriamiento lento se estrechan y así el enfriamiento puede ser más igualado cuando se forma la placa curva en solidificación.

Se usa arenilla de alúmina de decenas a centenares de μm para formar desigualdades finas del tamaño expuesto anteriormente. Si el tamaño de la arenilla de alúmina es menor de las decenas de μm , apenas se forman las desigualdades finas y los fragmentos de arenilla que forman los resaltes finos se hacen demasiado pequeños para lograr el efecto de formar resaltes. Por otra parte, si el tamaño es más de los centenares de μm , excede el tamaño (de 40 a 200 μm de profundidad media) de las cavidades previamente formadas y los fragmentos de arenilla se hacen excesivamente grandes. Por esta razón, el tamaño de la arenilla de alúmina usada se ajusta entre las decenas y los centenares de μm . Preferentemente, la arenilla de alúmina es de un tamaño de aproximadamente 50 a 100 μm .

El tamaño de las cavidades formadas por un método de granallado ordinario, un método de fotograbado, tratamiento del material con láser, o similar, es suficiente para el tamaño de las cavidades formadas primero de acuerdo con la presente invención, y el tamaño es de 200 a 2.000 μm de diámetro medio y de 80 a 200 μm de profundidad media. Además, es preferible que el tamaño de las desigualdades finas formadas además rociando arenilla de alúmina de decenas a centenares de μm en las superficies de las cavidades formadas en tal tamaño sea de 10 a 50 μm de diámetro medio y de 1 a 50 μm de profundidad media, y además el tamaño de las desigualdades finas es igual o menor que la profundidad media de las cavidades ordinarias.

Los resaltes finos formados de acuerdo con la presente invención son de 1 a 50 μm de altura. Para la formación de desigualdades finas, aunque se use arenilla de alúmina, es también aplicable un método de chapado que utiliza una solución que comprende uno o más de Ni, Co, aleación Co-Ni, aleación Co-W y aleación Co-Ni-W, o un método de pulverización a la llama.

De acuerdo con la presente invención, como se estableció anteriormente, los puntos de inicio de la solidificación del acero fundido se dispersan más finamente que en el caso de las cavidades ordinarias formando además desigualdades finas o resaltes finos formados por la intrusión de fragmentos finos de arenilla de alúmina en las cavidades ordinarias formadas por un método ordinario, y así puede evitarse fiablemente la generación de grietas finas en una plancha durante su enfriamiento.

Ejemplo 2

(Fuera de la invención)

A continuación se explicarán Ejemplos. La colada se realizó usando los tambores de enfriamiento anteriormente mencionados bajo una atmósfera de un gas no oxidante soluble en el acero fundido, o de la mezcla de un gas no oxidante soluble en el acero fundido y un gas no oxidante insoluble en el acero fundido, y las cavidades de los tambores de enfriamiento de acuerdo con la presente invención fueron transferidas a la plancha colada.

Como se muestra en la Tabla 4, se formaron cavidades de 1,5 a 3,0 mm de diámetro medio y de 30 a 250 μm de profundidad media como cavidades de base en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento hecho de cobre de 1.000 mm de diámetro por un método de granallado convencional. Los resultados se muestran también en la Tabla 4 anteriormente mencionada.

En los números 2 y 8 de los ejemplos no aparecieron grietas en la superficie de la plancha.

Por otra parte, en los Ejemplos de los números 1 y 7 aparecieron grietas con una incidencia de 0,2 mm/m² y 0,3 mm/m², respectivamente. En el Ejemplo del n° 3, como el diámetro de las desigualdades finas era sumamente pequeño, aparecieron grietas en la plancha de 0,1 mm/m² aunque se formaron desigualdades finas.

En el Ejemplo del n° 4 en el que la profundidad de las desigualdades finas era sumamente pequeña y también la altura de los resaltes finos era sumamente pequeña, aparecieron grietas en la plancha de 0,1 mm/m². En el Ejemplo del n° 5, como la profundidad de las cavidades de base era sumamente pequeña y, además, no se formaron desigualdades finas ni resaltes finos, aparecieron grandes grietas en la plancha de 17,0 mm/m².

Se considera que esto se atribuye a la falta de un efecto de enfriamiento suficientemente lento porque la profundidad de las cavidades de base es sumamente pequeña. Además, del mismo modo, en el Ejemplo comparativo del n° 6, aunque se formaron desigualdades finas y resaltes finos, la profundidad de las cavidades de base era sumamente pequeña y por consiguiente aparecieron grandes grietas en la plancha de 15,0 mm/m². Se considera que, cuando la profundidad de las cavidades de base es sumamente pequeña, no se manifiestan los efectos de las desigualdades finas y los resaltes finos.

Además, en el Ejemplo del n° 9, la profundidad media de las cavidades de base era 250 μm y sumamente grande y, en combinación con la influencia de la ausencia de desigualdades finas y resaltes finos, aparecieron grietas en la plancha de 5,0 mm/m². En el Ejemplo del n° 10, aunque se formaron en las cavidades desigualdades finas y resaltes finos tan

grandes como de 250 μm de profundidad, las cavidades de base fueron excesivamente profundas, y los efectos de las desigualdades finas y los resaltes finos no se manifestaron. Por tanto, aparecieron grietas en la plancha de 3,0 mm/m².

TABLA 4

Nº	Cavidad de base		Desigualdad fina		Altura de resalte fino	Incidencia de grietas
	Profundidad media (μm)	Diámetro medio (mm)	Diámetro (μm)	Profundidad (μm)		
1	130	2,1	ninguno			0,2
2	130	2,1	10 - 50	1 - 50	1 - 50	0,0
3	130	2,1	1 - 5	1 - 50	1 - 50	0,1
4	130	2,1	10 - 50	< 1	< 1	0,1
7	100	2,0	ninguno			0,3
8	100	2,0	10 - 50	1 - 50	1 - 50	0,0
5	30	1,5	ninguno			17,0
6	30	1,5	10 - 50	1 - 50	1 - 50	15,0
9	250	3,0	ninguno			5,0
10	250	3,0	10 - 50	1 - 50	1 - 50	3,0

Hasta ahora, se han formado cavidades en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento mediante métodos de tratamiento tales como granallado, fotograbado o tratamiento del material con láser, que tienen un diámetro medio de 1,0 a 4,0 mm, el diámetro máximo de 1,5 a 7,0 mm, una profundidad media de 40 a 170 μm , y la profundidad máxima de 50 a 250 μm , basados en la investigación a largo plazo y los resultados de funcionamiento real. Sin embargo, aún aparecieron grietas finas de superficie en la superficie de una plancha colada como se describió en el párrafo precedente 2). Para hacer frente a esto, los presentes inventores observaron el estado de las cavidades convencionales con detalle. Como resultado de la observación, se encontró que tenía lugar un fenómeno de sobreenfriamiento del acero fundido y que aparecían grietas finas en una plancha colada en la que las porciones entre cavidades contiguas tenían una forma trapezoidal y además las porciones eran transferidas en la región que tiene una distancia mutua de 1 mm o más.

Concretamente, se descubrió que algunas de las convexidades de la rugosidad se hacían inevitablemente trapezoidales por un método de tratamiento convencional cuando se forman cavidades por granallado y, a causa de esto, aparecían las grietas y resquebrajaduras antes mencionadas en una plancha colada, y por consiguiente era importante reducir las convexidades trapezoidales, aumentar la densidad de cavidades y, además, formar cavidades con intervalos más estrechos entre cavidades contiguas en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento.

Entonces, los presentes inventores descubrieron que podrían eliminarse las grietas de la plancha: midiendo la rugosidad de la superficie con un calibre de rugosidad bidimensional después de formarse las cavidades; aproximando la incidencia de las porciones trapezoidales a la incidencia del área en la que existía continuamente el plató de la rugosidad sobre una distancia de 2 mm o más; definiendo la incidencia de dicha área como la tasa de formas de ondas defectuosas, y después controlando la tasa de formas de onda defectuosas en el 3% o menos, preferentemente en 2,5% o menos.

Además, los presentes inventores descubrieron que, para resolver el problema, era necesario controlar el diámetro de la arenilla del granallado, que convencionalmente variaba de tamaño, dentro del intervalo de 1,5 a 2,5 mm cuando se usaba para granallado, y optimizar la forma de la boquilla y la presión de soplado cuando se aplicaba el granallado.

Las Figs. 18, 19 y 20 muestran algunas partes de los resultados de medir la rugosidad de la superficie de tambores de enfriamiento, después de formarse las cavidades, con un calibre de rugosidad bidimensional. La incidencia de las porciones trapezoidales, concretamente la incidencia del área en la que el plató de la rugosidad existe continuamente sobre una distancia de 2 mm o más, frente a la longitud entera medida de 180 mm, constituye el 7,5% en la Fig. 18 y el 4,2% en la Fig. 19. En estos casos, aparecían grietas finas en la plancha colada. Las porciones encerradas en círculos en las Figs. 18 y 19 indican formas de onda defectuosas. Por otra parte, en la Fig. 20, la incidencia antes mencionada de las porciones trapezoidales es 1,1% y la aparición de grietas finas en la plancha colada se observó escasamente. Aquí, con el fin de determinar una incidencia del orden de varios tantos por ciento, la longitud medida debe ser al menos 50 mm, más preferentemente 100 mm o más.

ES 2 291 995 T3

Los puntos de inicio de la solidificación del acero fundido pueden estar finamente dispersados y las grietas finas de planchas coladas que aparecen durante el enfriamiento pueden ciertamente prevenirse: usando el tambor de enfriamiento antes mencionado; colando acero fundido bajo una atmósfera de un gas no oxidante soluble en el acero fundido, o de la mezcla de un gas no oxidante soluble en el acero fundido y un gas no oxidante insoluble en el acero fundido; y transfiriendo las cavidades del tambor de enfriamiento a la superficie de la plancha colada.

Ejemplo 3

(Fuera de la invención)

A continuación se explicarán Ejemplos. La colada continua se realizó usando los tambores de enfriamiento antes mencionados bajo una atmósfera de un gas no oxidante soluble en el acero fundido, o de la mezcla de un gas no oxidante soluble en el acero fundido y un gas no oxidante insoluble en el acero fundido, y las cavidades de los tambores de enfriamiento fueron transferidas a la plancha colada.

Como se muestra en la Tabla 5, se formaron varias cavidades dentro del intervalo de 30 a 250 μm de profundidad media y de 1,5 a 3,0 mm de diámetro medio, como cavidades de base en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento hecho de cobre de 1.000 mm de diámetro, rociando la arenilla para el granallado de 1,5 a 2,5 mm de diámetro, y después se midió la forma de onda defectuosa y la incidencia de grietas. Los resultados se muestran también en la Tabla 5.

En los Ejemplos de los números 3, 4 y 8, no se observaron en absoluto las grietas de la plancha. Por otra parte, en los Ejemplos de los números 1 y 2, la tasa de formas de onda defectuosas fue tan alta como el 7,5% y el 4,2%, respectivamente, y por consiguiente aparecieron grietas en la plancha que tenían incidencia de grieta de 0,5 mm/m² y 0,2 mm/m², respectivamente.

En los Ejemplos de los números 5 y 7, la tasa de formas de onda defectuosas fue tan alta como 4,2% y 4,5%, respectivamente, y por esta razón aparecieron grietas en la plancha que tenían incidencia de grieta de 17,0 mm/m² y 0,3 mm/m², respectivamente. El Ejemplo del n° 5, en particular, muestra un caso en el que el efecto de enfriamiento lento era insuficiente porque las cavidades de base eran sumamente poco profundas.

Además, en el Ejemplo comparativo del n° 6, se mostró una elevada incidencia de grietas de 15 mm/m², siendo la tasa de formas de onda defectuosas tan baja como 1,1%. Al igual que en el caso del n° 5, esto se atribuye a cavidades sumamente poco profundas y a un insuficiente efecto de enfriamiento lento.

En los Ejemplos de los números 9 y 10, la tasa de formas de onda defectuosas era 4,5% y 2,2% respectivamente, y aparecieron grietas en la plancha que tenían una incidencia de grieta de 5,0 mm/m² y 3,0 mm/m² respectivamente. Esto era porque las cavidades de base eran sumamente profundas y por tanto se desarrollaron dentro de cada cavidad grietas causadas por el enfriamiento irregular.

TABLA 5

Ejemplo n°	Cavidad de base		Tasa de formas de onda defectuosas (%)	Incidencia de grietas (mm/m ²)
	Profundidad media (μm)	Diámetro medio (mm)		
1	130	2,1	7,5	0,5
2	130	2,1	4,2	0,2
3	130	2,1	2,9	0,0
4	130	2,1	1,1	0,0
7	100	2,0	4,5	0,3
8	100	2,0	0,9	0,0
5	30	1,5	4,2	17,0
6	30	1,5	1,1	15,0
9	250	3,0	4,5	5,0
10	250	3,0	2,2	3,0

ES 2 291 995 T3

El tambor de enfriamiento antes mencionado para la colada continua de planchas delgadas de acuerdo con la presente invención (en adelante denominado “tambor de enfriamiento según la presente invención”) se basa en la idea de la técnica fundamental de que se forman cavidades de 80 a 200 μm de profundidad media y de 200 a 2.000 μm de diámetro de círculo adyacentes entre sí en los bordes de las cavidades en la superficie periférica chapada del tambor y preferentemente se forma una película que contiene una sustancia mejor que el Ni en humectabilidad con la escoria, en dicha superficie periférica.

Esto significa proporcionar a la superficie periférica del tambor de enfriamiento la función capaz de impedir en lo posible la formación de huelgos de gas resistentes al calor entre dicha superficie periférica y el acero fundido formando una película que contiene una sustancia mejor que el Ni en humectabilidad con la escoria, sobre la superficie periférica chapada del tambor, de acuerdo con el conocimiento antes mencionado.

Cuando se forma una placa curva de solidificación en la superficie periférica de un tambor de enfriamiento, si no está presente un huelgo de gas, no se genera desigualdad de solidificación suficiente para inducir “grietas que acompañan a desigualdades de decapado” entre la placa curva de solidificación de la porción de acero fundido libre de escoria y la placa curva de solidificación de la porción del acero fundido en la que fluye y se adhiere la escoria, incluso aunque la formación de la placa curva de solidificación se retarde en la última porción.

Normalmente, para hacer más lenta una velocidad de enfriamiento y más larga la vida útil en servicio de un tambor de enfriamiento (para impedir la aparición de grietas de superficie debidas a la tensión térmica), a la superficie de un tambor de enfriamiento para colada continua de planchas delgadas se le aplica una capa chapada de Ni que tiene una conductividad térmica más baja que el Cu y es duro y de una excelente resistencia a la tensión térmica, y es preferible que dicha capa chapada contenga uno o más de cualquiera de los elementos más propensos a oxidarse que el Ni, por ejemplo W, Co, Fe o Cr.

En un tambor de enfriamiento se forma además una película que contiene una sustancia mejor que el Ni en cuanto a la humectabilidad con la escoria en la superficie del tambor para mejorar la humectabilidad con la escoria, manteniendo al mismo tiempo el efecto de enfriamiento lento y el efecto de prolongación de la vida útil de servicio en la superficie del tambor.

Como la escoria es una acumulación de óxidos de los elementos que componen el acero fundido, los óxidos de los elementos que componen el acero fundido que ha de ser colado en continuo se prefieren como sustancia mejor que el Ni en la humectabilidad con la escoria.

Una película que contiene una sustancia mejor que el Ni en cuanto a la humectabilidad con la escoria puede ser una película de óxidos de los elementos que componen el acero fundido aplicada sobre la superficie periférica chapada del tambor de enfriamiento por medio de pulverización, recubrimiento con rodillo o similares, o bien una película formada por la deposición de óxidos generados por la oxidación de los elementos de composición del acero fundido sobre la superficie periférica chapada del tambor de enfriamiento durante el funcionamiento.

Además, la sustancia antes mencionada mejor que el Ni en cuanto a la humectabilidad con la escoria puede ser los óxidos de los elementos que componen la capa chapada en la superficie periférica del tambor de enfriamiento. Esto es porque los óxidos generados por la oxidación de la capa chapada en la superficie periférica del tambor de enfriamiento por el calor del acero fundido son mejores que dicha capa chapada en cuanto a la humectabilidad con la escoria.

Por consiguiente, no es necesario formar una película de los óxidos de los elementos que componen la capa chapada en la superficie periférica del tambor de enfriamiento intencionadamente, y los óxidos de la capa chapada formada en la superficie periférica del tambor de enfriamiento por el calor del acero fundido durante el funcionamiento pueden dejarse como están y utilizarse.

En un tambor de enfriamiento de acuerdo con la presente invención, se forman cavidades de 80 a 200 μm de profundidad media y de 200 a 2.000 μm de diámetro del círculo equivalente, adyacentes entre sí en los bordes de las cavidades.

La profundidad media de las cavidades está limitada entre 80 y 200 μm . Si la profundidad media es menor que 80 μm , no puede obtenerse un efecto macroscópico de relajación de la tensión/esfuerzo, y por tanto el límite inferior se establece en 80 μm . Por otra parte, si la profundidad media excede de 200 μm , la penetración del acero fundido hasta el fondo de las cavidades se hace insuficiente y la desigualdad de las cavidades aumenta y, por tanto, el límite superior se establece en 200 μm .

El tamaño de las cavidades se limita a 200 a 2000 μm de diámetro del círculo equivalente. Si el diámetro es menor que 200 μm , la penetración del acero fundido hasta el fondo de las cavidades se hace insuficiente y la desigualdad de las cavidades aumenta y, por tanto, el límite inferior se establece en 200 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente excede de 2.000 μm , la acumulación de tensión y esfuerzo dentro de cada cavidad aumenta y las cavidades se hacen más susceptibles para las grietas, y por tanto el límite superior se establece en 2.000 μm . En un tambor de enfriamiento de acuerdo con la presente invención, las cavidades de la forma antes mencionada se forman de manera que se unan entre sí en los bordes de las cavidades.

Cada una de las cavidades así formadas puede dispersar la tensión y el esfuerzo ejercidos en la placa curva solidificada, y se hace posible reducir la tensión y el esfuerzo macroscópicos ejercidos en la placa curva solidificada.

El patrón formado de las cavidades antes mencionadas se muestra en la Fig. 6.

En un tambor de enfriamiento de acuerdo con la presente invención, es preferible formar resaltes finos de 1 a 50 μm de altura y de 5 a 200 μm de diámetro del círculo equivalente en las superficies de las cavidades de las dimensiones antes mencionadas. Estos resaltes finos pueden favorecer la solidificación del acero fundido en contacto con las superficies de las cavidades.

Además, las formas de los “resaltes finos” se muestran en la Fig. 7.

Si la altura de los resaltes finos es menor que 1 μm , los resaltes no pueden entrar en contacto con el acero fundido de forma suficiente, no se generan núcleos de solidificación y la solidificación del acero fundido no puede ser favorecida y, por tanto, el límite inferior se establece en 1 μm . Por otra parte, si la altura excede de 50 μm , la solidificación del acero fundido en el fondo de los resaltes se retrasa y la desigualdad de la placa curva solidificada se desarrolla dentro de una cavidad y, por tanto, el límite superior se establece en 50 μm .

Además, si el diámetro del círculo equivalente es menor que 5 μm , el enfriamiento en los resaltes se hace insuficiente y no se generan núcleos de solidificación, y por consiguiente el límite inferior se establece en 5 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente excede de 200 μm , aparecen las porciones de acero fundido en contacto insuficiente con los resaltes y la generación de los núcleos de solidificación se hace irregular, y por tanto el límite superior se establece en 200 μm .

Además, los resaltes finos antes mencionados se recubren con una película que contiene una sustancia mejor que el Ni en humectabilidad con la escoria.

Además, los resaltes finos antes mencionados recubiertos con una película que contiene una sustancia mejor que el Ni en humectabilidad con la escoria pueden ser resaltes finos en los que se depositan óxidos generados por la oxidación de los elementos que componen el acero fundido. La deposición de los óxidos generados por la oxidación de los elementos que componen el acero fundido en los resaltes finos antes mencionados potencia la humectabilidad de los resaltes finos con la escoria, favorece la generación de mayor cantidad de puntos de partida de núcleos de solidificación en las porciones en contacto del acero fundido con dichos resaltes finos, y facilita la solidificación del acero fundido.

En un tambor de enfriamiento de acuerdo con la presente invención, es preferible que se formen adyacentes entre sí resaltes finos de 1 a 50 μm de altura y de 30 a 200 μm de diámetro del círculo equivalente, recubiertos con una película que contiene una sustancia mejor que el Ni en humectabilidad con la escoria superficial, en los bordes de las cavidades de la forma antes mencionada.

Aunque los bordes de las cavidades tal como se forman tienen formas afiladas, es posible dotar a tales bordes de “redondez” formando varios resaltes finos antes mencionados de manera que existan adyacentes entre sí. Mediante esta “redondez”, la generación de núcleos de solidificación se retrasa en el acero fundido en contacto con los bordes de las cavidades, y el progreso de la solidificación se hace lento. Además, los bordes de las cavidades con la redondez antes mencionada sirven para promover la penetración del acero fundido en las concavidades de las cavidades. Como resultado de ello, el acero fundido puede alcanzar y entrar en contacto más fácilmente con el fondo de las cavidades bajo la presión estática del acero fundido y la fuerza de atornillamiento del tambor de enfriamiento.

Si la altura de los resaltes finos es menor que 1 μm , no se obtiene el efecto de retardo de la generación de núcleos de solidificación en los bordes de las cavidades, y por consiguiente el límite inferior se establece en 1 μm . Por otra parte, si la altura excede de 50 μm , la penetración del acero fundido hasta el fondo de las cavidades se hace insuficiente, y por consiguiente el límite superior se establece en 50 μm .

Además, si el diámetro del círculo equivalente es menor que 30 μm , no se obtiene el efecto de retardar la generación de núcleos de solidificación en los bordes de las cavidades, y por ello el límite inferior se establece en 30 μm . Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente excede de 200 μm , no se obtiene el efecto de relajación de la tensión/esfuerzo de las propias cavidades, y por tanto el límite superior se establece en 200 μm .

Además, en vez de los resaltes finos, es preferible formar “orificios finos” de 5 μm o más de profundidad y de 5 a 200 μm de diámetro del círculo equivalente en los bordes de las cavidades tal como se han formado, que tienen formas afiladas. Por la formación de los “orificios finos” se eliminan las formas afiladas de los bordes de las cavidades y, al mismo tiempo, se forman porciones de enfriamiento lento (huelgos de gas) y, por consiguiente, los bordes de las cavidades con los “orificios finos” sirven para retardar la generación de los núcleos de solidificación en el acero fundido en contacto con dichos bordes, y para retardar el progreso de la solidificación. Además, los bordes de las cavidades con los “orificios finos” sirven para favorecer la penetración del acero fundido en las concavidades de las cavidades. Como resultado, el acero fundido puede llegar al fondo de las cavidades y entrar en contacto con el mismo más fácilmente bajo la presión estática del acero fundido y la fuerza de atornillamiento del tambor de enfriamiento.

ES 2 291 995 T3

Las formas de los “orificios finos” se muestran en la Fig. 8.

Si la profundidad de los orificios finos es menor que $5\ \mu\text{m}$, la formación de huecos de aire es insuficiente en las porciones de los orificios finos y no se obtiene el efecto de retardo de la generación de núcleos de solidificación y, por consiguiente, el límite inferior se establece en $5\ \mu\text{m}$.

Además, si el diámetro del círculo equivalente es menor que $5\ \mu\text{m}$, se generan núcleos de solidificación en las proximidades de los bordes excepto las porciones de los orificios finos, y no se obtiene el efecto de favorecer la penetración del acero fundido hasta el fondo de las cavidades y, por consiguiente, el límite inferior se establece en $5\ \mu\text{m}$. Por otra parte, si el diámetro del círculo equivalente excede de $200\ \mu\text{m}$, la altura aparente de los bordes de las cavidades se hace menor y el efecto de relajación de la tensión/esfuerzo no se obtiene, y por tanto el límite superior se establece en $200\ \mu\text{m}$.

En un tambor de enfriamiento de acuerdo con la presente invención, es posible formar la configuración de la superficie periférica como sea apropiado de acuerdo con la calidad del acero, el espesor prescrito y la calidad, combinando de manera adecuada los resaltes finos y los orificios finos. Lo que más la caracteriza es formar una película que contiene una sustancia mejor que el Ni en humectabilidad con la espuma en dicha superficie periférica.

Concretamente, un tambor de enfriamiento de acuerdo con la presente invención es un tambor de enfriamiento que ha sido mejorado, desde los puntos de vista de la configuración de la superficie periférica y el material de la superficie periférica, con el fin de suprimir tanto la aparición de “grietas de cavidad” como la aparición de “grietas que acompañan a desigualdades de decapado”, y para producir planchas delgadas y productos finales en lámina de una calidad elevada con rendimientos más altos.

Además, un tambor de enfriamiento de acuerdo con la presente invención es aplicable a un vaciador continuo del tipo de rodillo simple o bien a un vaciador continuo del tipo de rodillos gemelos.

A continuación se explicarán Ejemplos de la presente invención. Sin embargo, la presente invención no está en modo alguno limitada por las configuraciones de la superficie periférica, los materiales de la superficie periférica y las condiciones de colada continua empleadas en los Ejemplos.

Ejemplo 4

Aceros inoxidables SUS304 fueron colados en chapas delgadas en forma de flejes de 3 mm de espesor mediante un vaciador continuo del tipo de tambores gemelos, y después las planchas fueron laminadas en frío para producir productos en lámina de 0,5 mm de espesor. Al colar las planchas mencionadas expuestas antes, el cilindro exterior de 1.330 mm de anchura y 1.200 mm de diámetro de un tambor de enfriamiento se hizo en cobre, se aplicó como recubrimiento una capa chapada de Ni de 1 mm de espesor sobre la superficie periférica del cilindro externo y después se formó en el mismo una capa de recubrimiento mostrada en la Tabla 6.

Aquí, las cavidades listadas en la Tabla 6 se formaron mediante granallado.

Las grietas y el brillo irregular se enjuiciaron visualmente después de laminado en frío, decapado y recocido de las planchas delgadas.

(Tabla pasa a página siguiente)

Tabla 6

Nº	Cavidad		Forma del borde de la cavidad		Forma de la superficie de la cavidad		Material de recubrimiento sobre capa chapada de Ni	Recubrimiento de la superficie del tambor		Humedabilidad con la escoria	Calidad	
	Prof. (µm)	Diam. (mm)	Forma	Altura, profundidad (µm)	Dímetro (µm)	Forma	Altura, profundidad (µm)	Dímetro (µm)	Composición de la película	Método de formación de la película	Crieta de cavidad	Crieta que acompaña a desigualdad de decapado
1	50	1	-			Resalte	1	150	MnO-FeO-SiO ₂ -WO ₃	Deposición	□	■
2	140	2	-			Resalte	50	100	MnO	Pulverización	□	■
3	100	0,5	-			Resalte	20	5	WO ₃	Pulverización	□	■
4	80	1,5	-			Resalte	30	200	WO ₃	Oxidación de capa chapada	□	■
5	120	1	-			Resalte	50	100	Cr ₂ O ₃	Recubr. rodillo	■	□
6	150	2	-			Resalte	10	50	MnO-FeO-SiO ₂ -WO ₃	Evap. de comp. de acero fundido y oxidación de capa chapada	■	■
7	100	1,8	Resalte	20	100	-			MnO-FeO-SiO ₂ -Cr ₂ O ₃	Evap. de comp. de acero fundido	■	■
8	140	3	Resalte	5	50	-			WO ₃	Pulverización	■	■
9	60	2,5	Resalte	50	30	-			MnO-FeO-SiO ₂	Recubr. rodillo	■	□
10	150	2,8	Resalte	1	200	-			CoO	Oxidación capa chapada	■	■
11	100	2,2	Resalte	30	150	-			MnO	Oxidación capa chapada	■	■
12	80	2,5	Resalte	1	150	Resalte	10	5	Cr ₂ O ₃	Recubr. rodillo	■	■
13	110	3	Resalte	50	30	Resalte	1	100	FeO	Oxidación capa chapada	■	■
14	100	1,2	Resalte	30	100	Resalte	5	200	MnO-FeO-SiO ₂	Recubr. rodillo	■	■
15	80	2,8	Resalte	20	200	Resalte	50	50	MnO-FeO-SiO ₂ -Cr ₂ O ₃	Deposición	■	■
16	100	1,6	Resalte	50	200	Resalte	20	150	MnO-FeO-SiO ₂ -WO ₃	Evap. de comp. de acero fundido y oxidación capa chapada	■	■
17	60	2	Orificio fino	50	5	Resalte	1	10	MnO-FeO-SiO ₂ -Cr ₂ O ₃	Evap. de comp. de acero fundido	□	■
18	80	1	Orificio fino	100	10	Resalte	20	100	MnO-FeO-SiO ₂ -CoO	Evap. de comp. de acero fundido y oxid. capa chapada	□	■
19	200	2,5	Orificio fino	10	50	Resalte	10	5	Cr ₂ O ₃	Oxidación capa chapada	□	■
20	150	2	Orificio fino	5	200	Resalte	30	200	WO ₃	Pulverización	□	■
21	160	1	Orificio fino	80	100	Resalte	50	50	MnO	Pulverización	□	■
Ej. Comp.	50	1,2	-			-			-	-	X	X

ES 2 291 995 T3

La Fig. 21 incluye: (a) una vista en sección que muestra la capa de la superficie periférica de un tambor de enfriamiento de acuerdo con la presente invención en estado agrandado; y (b) una vista en planta que muestra la rugosidad de la superficie con la intensidad del color. Los requerimientos de los constituyentes de un tambor de enfriamiento se explicarán a continuación con detalla, basándose en la Fig. 21.

Se requiere que el material de base 20 de un tambor tenga una conductividad térmica de $100 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ o más para mantener la temperatura del tambor baja, impedir la generación de tensión térmica, y prolongar la vida de servicio útil. Dado que la conductividad térmica del cobre o de la aleación de cobre es de 320 a $400 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, el cobre o la aleación de cobre es el más de adecuado para material de base del tambor.

Es posible reducir la tensión de corte atribuida a la tensión térmica provocada por la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la capa intermedia 21 y el material de base del tambor 20, y prevenir la separación de la capa intermedia 21 limitando el coeficiente de expansión térmica de la capa intermedia 21 de la superficie del tambor a menos de 1,2 veces la del material de base del tambor 20. Si la diferencia antes mencionada en los coeficientes de expansión térmica es 1,2 veces o más, la capa intermedia 21 se separa en un breve periodo de tiempo debido a la tensión térmica, y el tambor de enfriamiento se hace inservible. Desde este aspecto, es deseable que el coeficiente de expansión térmica de la capa intermedia 21 y el del material de base del tambor 20 sean idénticos. Sin embargo, la mayoría de los materiales que satisfacen la dureza requerida de la capa intermedia 21 muestran una diferencia de 0,5 veces o más en el coeficiente de expansión térmica, y por tanto el límite inferior es sustancialmente aproximadamente 0,5 veces.

Si la dureza Vickers H_v de la capa intermedia 21 es menor que 150, la resistencia a la deformación de la capa intermedia 21 que se requiere no es tan buena y la vida útil en servicio se hace corta. Por otra parte, si el valor de H_v excede de 1.000, la firmeza se hace baja y tienden a aparecer grietas, y por tanto es deseable que el valor de H_v de la capa intermedia 21 sea menor que 1.000.

Se requiere que el espesor de la capa intermedia 21 sea $100 \mu\text{m}$ o más para proteger térmicamente el material de base del tambor 20, pero se requiere que el máximo espesor del mismo sea $2.000 \mu\text{m}$ como condición para evitar la excesiva subida de temperatura de la superficie de la capa intermedia 21. Como materiales que constituyen la capa intermedia 21, son apropiados Ni, Ni-Co, Ni-Co-W, Ni-Fe y similares, que tienen una conductividad térmica de aproximadamente $80 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ y una capacidad de mantener baja la temperatura del material de base del tambor 20, y el recubrimiento por chapado puede estabilizar la resistencia de la unión, mejorar la resistencia y prolongar la vida útil de servicio. Además, el chapado es también deseable desde el punto de vista de formar un recubrimiento uniforme.

La propiedad más importante del material que se requiere de la superficie más externa 22 del tambor es la resistencia a la abrasión. La dureza Vickers H_v mínima requerida en la práctica es 200. Se asegura una suficiente resistencia a la abrasión si el espesor es $1 \mu\text{m}$ o más. Dado que un material de capa chapada duro tiene una baja conductividad térmica en general, el espesor ha de ser $500 \mu\text{m}$ o menos para controlar la temperatura de la superficie para que no suba excesivamente.

Como material constituyente de la capa chapada dura, es apropiado uno cualquiera entre Ni-Co-W, Ni-W, Ni-Co, Co, Ni-Fe, Ni-Al y Cr, en los que puede obtenerse un valor de H_v de 200 o más, y el recubrimiento de la capa intermedia 21 con la capa chapada puede estabilizar la resistencia de la unión, mejorar la resistencia y prolongar la vida útil de servicio del tambor de enfriamiento.

Los requisitos para formar las cavidades 16 y los orificios finos (orificios finos) 19 en la capa de superficie de la superficie periférica de un tambor de enfriamiento se explicarán a continuación.

La rugosidad de un ciclo largo del orden de 1 mm (cavidades 16) se forma en toda la capa de la superficie periférica de un tambor de enfriamiento mediante un método de granallado o similar. Cuando el acero fundido es colado usando el tambor de enfriamiento que tiene cavidades 16 de este tipo, el acero fundido entra primero en contacto con las convexidades de las cavidades, y después tiene lugar la generación de los núcleos de solidificación, al tiempo que en las concavidades de las cavidades se forman se forman huecos de gas entre la superficie de la plancha colada y la superficie de las cavidades, y se retarda la generación de núcleos de solidificación. La tensión de solidificación-contracción se dispersa y se relaja por la generación de núcleos de solidificación en las convexidades de las cavidades y, por consiguiente, se evita la aparición de grietas.

Para conseguir el objetivo antes mencionado es necesario especificar claramente las convexidades de las cavidades y, con este fin, es necesario formar las cavidades 16 de manera que estén en contacto unas con otras o adyacentes unas de otras (véase la Fig. 6). Esto es porque, si las cavidades 16 se forman en una condición en la que las cavidades no están en contacto unas con otras, las porciones planas de la superficie original funcionan de la misma manera que las convexidades de las cavidades antes mencionadas, y por consiguiente se hace imposible especificar claramente la generación de núcleos de solidificación.

El diámetro de las cavidades se especifica en relación con la aparición de grietas atribuidas a la tensión de solidificación-contracción sacada a relucir por la solidificación retardada en las concavidades de las cavidades, y se requiere que sea de $2.000 \mu\text{m}$ o menos. Además, el límite inferior del diámetro se especifica en relación con el diámetro de los orificios finos (orificios finos) 19 citados más adelante, y como se requiere un diámetro mayor que el de los orificios finos (orificios finos), el límite inferior se establece en $200 \mu\text{m}$.

Se requiere que la profundidad de las cavidades sea $80\text{ }\mu\text{m}$ o más para formar los huelgos de gas antes mencionados. Por otra parte, si la profundidad de las cavidades es excesivamente grande, aumenta el espesor del huelgo de gas en las concavidades de las cavidades, la formación de la placa curva de solidificación en las concavidades de las cavidades se retarda en gran medida y la desigualdad de espesor entre la placa curva de solidificación en la convexidad y en la concavidad aumenta y, entonces, aparece la grieta. Por consiguiente, se requiere que la profundidad de las cavidades sea de $200\text{ }\mu\text{m}$ o menos. Las grietas o el brillo desigual en una chapa fina C pueden ser evitados eficazmente bajo una condición de colada estacionaria formando las cavidades como se explicó anteriormente.

Sin embargo, en la colada usando un tambor de enfriamiento que tiene solamente estas cavidades formadas, como se establece en el párrafo de "Técnica de Base", cuando la colada se lleva a cabo de manera tal que los óxidos (espuma de escoria) son transportados acompañados por el acero fundido que fluye con la rotación del tambor de enfriamiento y los óxidos se adhieren a la superficie de la placa curva solidificada de la plancha colada, puede tener lugar desigualdad de solidificación entre las porciones en las que la espuma de escoria fluye y las porciones sólidas de la plancha delgada, y pueden aparecer grietas y desigualdades.

Para afrontar este problema, los presentes inventores llevaron a cabo una investigación experimental detallada y, como resultado, dejaron claro que la desigualdad de la solidificación no se producía ni siquiera en las porciones en las que la espuma de escoria era llevada por la posterior formación de orificios finos (orificios finos) en las cavidades bajo una condición específica.

Los presentes inventores descubrieron que la desigualdad de solidificación que ocurría cuando la espuma de escoria fluía entre el acero fundido y el tambor de enfriamiento no era causada por la diferencia entre la conductividad térmica de la espuma de escoria y la del acero fundido, sino que era causada por la presencia de capas de aire formadas con el atrapamiento de aire cuando fluía la espuma de escoria. En este caso, si existen en la superficie orificios finos (orificios finos) que son suficientemente finos hasta el punto de que la afluencia de acero fundido y espuma de escoria está impedida por sus tensiones superficiales, el aire antes mencionado se acumula en las porciones de los orificios finos (orificios finos) y no se forman capas de aire.

En consecuencia, incluso si afluye la espuma de escoria, se impide la aparición de desigualdad de solidificación. Además, gracias a la presencia de orificios finos, se hace posible especificar la generación de núcleos de solidificación en intervalos más finos que lo expuesto en los requisitos antes mencionados para las cavidades, y por consiguiente es además posible impedir con mayor seguridad la aparición de grietas causadas por la solidificación retardada en las porciones de huelgo de gas. Como requisito para que los orificios finos (orificios finos) alcancen una función de este tipo, se requiere que el límite superior del diámetro del orificio sea $200\text{ }\mu\text{m}$ para que no permita la entrada de acero fundido y escoria. Además, como requisito para acumular eficazmente aire en los orificios finos cuando el aire es atrapado, se especifica que el diámetro mínimo de los orificios sea de $50\text{ }\mu\text{m}$.

Además, en cuanto a los intervalos de los orificios finos, se requiere que los orificios no estén en contacto entre sí para acumular aire eficazmente y, con el fin de asegurar la generación de núcleos de solidificación, se requiere que la distancia entre centros de los orificios sea de 100 a $500\text{ }\mu\text{m}$. Además, para que se manifieste efectivamente la función de acumulación del aire y para especificar la generación de núcleos de solidificación claramente, se requiere que la profundidad de los orificios finos sea de $30\text{ }\mu\text{m}$ o más, o, más preferentemente, de $50\text{ }\mu\text{m}$ o más.

Las cavidades y los orificios finos que se mencionaron antes se forman formando una capa intermedia 21 y una superficie más externa 22 en un tambor de enfriamiento, aplicando tratamiento de chapado en la superficie más externa 22, y después aplicando, por ejemplo, granallado seguido por tratamiento del material con láser. Cuando la dureza de la placa chapada de la superficie más externa es muy alta y hay una posibilidad de generación de grietas en la capa chapada durante la formación de la cavidad, es posible también formar cavidades, por ejemplo, mediante granallado después de formar la capa intermedia 21 por chapado, y después formar la superficie más externa 22 sobre la misma, y finalmente formar los orificios finos 19.

Además, como se muestra en la Fig. 22, también es posible formar cavidades 16, por ejemplo, mediante granallado después de formar una capa intermedia 21 mediante chapado en el material de base del tambor, después formar orificios finos 19 mediante tratamiento del material con láser y después formar una superficie más externa 22 aplicando chapado duro. El orden de formación de la superficie más externa puede elegirse según conveniencia de acuerdo con la elección del material de chapado.

Se explicará a continuación un medio para formar estas cavidades 16 y orificios finos 19. Con relación a las cavidades, un método de granallado que puede formar tridimensionalmente un patrón de distribución aleatoria de las cavidades es eficaz como método para formar cavidades que se solapan entre sí. Sin embargo, puede ser usado cualquier otro medio de tratamiento, incluyendo impresión por máquina mediante descarga eléctrica y similares, siempre y cuando el medio pueda realizar un tratamiento que satisfaga las condiciones especificadas por la presente invención. Con relación a los medios para formar orificios finos, el más apropiado es un método de tratamiento con láser pulsado que puede llevar a cabo fácilmente el control del patrón tridimensionalmente. Sin embargo, también es posible formar los orificios finos por otros medios tales como un método de fotograbado y similar.

ES 2 291 995 T3

En la anterior explicación, la explicación acerca de un tambor de enfriamiento se hace suponiendo que el tambor de enfriamiento se fabrica y se usa de acuerdo con las condiciones especificadas por la presente invención antes de ser usado para la colada de plancha delgada. Sin embargo, cuando se elige un material de capa chapada de la superficie más externa que tiene la posibilidad de que los orificios finos sean raspados a lo largo del progreso de la colada, también es posible, como se muestra en la Fig. 23, emplear un medio de formar continuamente orificios finos en un tambor de enfriamiento, durante la colada, por tratamiento con láser pulsado en una cierta posición después de que la superficie del tambor deja el acero fundido. En la configuración mostrada en la Fig. 23, es posible formar orificios finos en la dirección periférica condensando el haz láser pulsado 14 emitido desde el oscilador de láser 23 con un condensador 25 e irradiando el haz láser pulsado.

Además, es también posible formar orificios finos en toda la superficie de los tambores de enfriamiento 1 y 1', barriendo adicionalmente los haces de láser en dirección perpendicular al dibujo mediante aparatos de barrido con haces de láser no mostrados en el dibujo.

Ejemplo 5

Se colaron aceros inoxidables austeníticos (SUS304) formando planchas delgadas en forma de fleje de 3 mm de espesor mediante un vaciador continuo del tipo de tornillos gemelos mostrado en la Fig. 1 y después las planchas se laminaron en caliente y se laminaron en frío para producir productos en lámina de 0,5 mm de espesor. Cuando se hizo la colada de las planchas delgadas antes mencionadas, se usaron los tambores de enfriamiento de 800 mm de anchura y de 1.200 mm de diámetro, en cuyas superficies periféricas se chaparon capas intermedias y capas de superficie más externas, y se formaron orificios finos en las condiciones mostradas en la Tabla 7.

Como medio para procesar la capa de superficie periférica d de un tambor de enfriamiento, se usó un método de granallado para formar las cavidades, y se usó un método de procesamiento de material con láser para formar los orificios finos. La durabilidad del tambor de enfriamiento se evaluó observando visualmente el estado de abrasión de la capa de la superficie periférica d después de haberse realizado 20 coladas. Además, la calidad de la plancha colada fue evaluada por inspección visual de los productos en lámina después de laminado en frío. Los números 1 a 8 son los Ejemplos de acuerdo con la presente invención. Los números 9 y 10 son los Ejemplos comparativos de acuerdo con un método convencional en los casos con y sin orificios finos formados en la superficie del tambor chapado con Ni. En los Ejemplos de acuerdo con la presente invención, se observó en todos los casos que la durabilidad del tambor era excelente, las planchas delgadas estaban libres de grietas de superficie, y los productos en lámina después del laminado estaban libres de defectos de superficie. En los Ejemplos comparativos, la abrasión de la superficie del tambor de enfriamiento ocurría durante las 20 coladas continuas y, en consecuencia, incluso bajo la condición del n° 9 en el que la calidad de la plancha colada era buena en las primeras etapas, aparecían grietas en la superficie de las planchas coladas finalmente, y se observaron defectos de superficie y brillo irregular en las superficies de los productos en lámina después de laminar.

(Tabla pasa a página siguiente)

Tabla 7

Condicción nº		Material del tambor de enfriamiento				Configuración de la sup. del tambor de enfriamiento				Evaluación						
		Capa intermedia		Capa de sup. más externa		Cavidad		Orificio fino								
		Material	Espesor	Material	Espesor	Diámetro	Profundidad	Diámetro	Profundidad	Separación	Durabilidad del tambor	Calidad de la plancha	Porción adherión esuma de escoria			
1	Ejemplo de la presente invención	Ni	1500	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	■	■	□				
2		Ni	1500			Co	100	1500	100	150	60	250	■	□		
3		Ni	1500			Ni-Co	100	1500	100	100	90	150	■	□		
4		Ni	1500			Cr	10	1500	100	150	60	350	■	□		
5		Ni	1500			Ni-Co-W	20	1500	100	180	50	300	■	□		
6		Ni	1500			Ni-Fe	30	1500	100	150	70	250	■	□		
7		Ni	1500			Ni-Al	50	1500	100	150	60	300	■	□		
8		Co	1500			Ni-W	20	1500	100	100	100	200	■	□		
9		Ni-Co	1500			Ni-W	20	1500	100	150	70	400	■	□		
10	Ejemplo comparativo	Ni	1500			Ninguno		1500	100	150	80	250	x	■ → x	□ → x	X

(A) Base de la configuración de la superficie y la calidad del material de un tambor de enfriamiento

En primer lugar, los requisitos para los constituyentes para orificios finos (orificios finos) y las razones de especificarlos se explicarán a continuación con detalle. Generalmente, como se establece en el párrafo “Técnica de base”, cuando la colada se lleva a cabo de manera tal que los óxidos (espuma de escoria) se incorporan acompañados por el acero fundido que fluye con la rotación del tambor de enfriamiento y los óxidos se adhieren a la superficie de una placa curva solidificada de la plancha colada, la desigualdad de solidificación puede tener lugar entre las porciones en las que la espuma de escoria afluye y las porciones sólidas de la plancha delgada, y pueden aparecer grietas y desigualdades.

Para abordar este problema, los presentes inventores llevaron a cabo una investigación experimental detallada y, como resultado de la misma, dejaron claro que la desigualdad de la solidificación no era generada ni siquiera en las porciones en las que la escoria era llevada formando orificios finos (orificios finos) en las cavidades bajo una condición específica.

Los presentes inventores descubrieron que la desigualdad de solidificación que ocurría cuando la espuma de escoria fluía entre el acero fundido y el tambor de enfriamiento no era causada por la diferencia entre la conductividad térmica de la espuma de escoria y la del acero fundido, sino que era causada por la presencia de capas de aire formadas por el atrapamiento de aire cuando fluía la escoria. Esto es, durante la colada, si en la superficie existen orificios finos que son suficientemente finos hasta el punto de que la afluencia de acero fundido y escoria es impedida por sus tensiones superficiales, el aire antes mencionado se acumula en las porciones de los orificios y no se forman las capas de aire.

En consecuencia, incluso si afluye la escoria, se evita la aparición de la desigualdad de solidificación. Además, gracias a la presencia de orificios finos, se hace posible especificar la generación de núcleos de solidificación en intervalos más finos, y por tanto es además posible impedir más seguramente la aparición de grietas y desigualdades.

Como requisito para que los orificios finos consigan la función de este tipo, se requiere que el límite superior del diámetro del orificio sea $200\text{ }\mu\text{m}$ para que no permita la afluencia de acero fundido y escoria. Además, como requisito para acumular aire efectivamente en los orificios finos cuando el aire es atrapado, se especifica que el diámetro mínimo de los orificios sea $50\text{ }\mu\text{m}$.

Además, en cuanto a los intervalos de los orificios finos (orificios finos), se requiere que los orificios no estén en contacto entre sí para acumular aire eficazmente y, con el fin de especificar con seguridad la generación de núcleos de solidificación, se requiere que la distancia entre centros de los orificios sea de 100 a $500\text{ }\mu\text{m}$.

Además, para que se manifieste efectivamente la función de acumulación del aire y para especificar la generación de núcleos de solidificación claramente, se requiere que la profundidad de los orificios finos (orificios finos) sea de $30\text{ }\mu\text{m}$ o más.

Si los orificios finos antes mencionados se forman uniformemente en toda la superficie del tambor de enfriamiento, la aparición de grietas y desigualdades puede impedirse eficazmente y por tanto la superficie del tambor antes de formar orificios finos u orificios finos puede ser lisa. Sin embargo, existe la posibilidad de que la uniformidad en la formación no esté asegurada por ningún factor de fluctuación externo (por ejemplo, fluctuación y velocidad de barrido durante el tratamiento con láser y similares). Se encontró que, en tal caso, era efectivo formar cavidades bajo una condición específica antes de la formación de los orificios finos antes mencionados u orificios finos.

Los requisitos para formar las cavidades de este tipo se explicarán con detalle a continuación. La rugosidad (cavidades) de un ciclo largo del orden de 1 mm se forma en toda la capa de la superficie periférica de un tambor de enfriamiento mediante un método de granallado o similar. Cuando el acero fundido es colado usando el tambor de enfriamiento que tiene cavidades de este tipo, el acero fundido entra en contacto primero con las convexidades de las cavidades, y después tiene lugar la generación de los núcleos de solidificación, al tiempo que en las concavidades de las cavidades se forman huecos de gas entre la superficie de la plancha colada y la superficie de las cavidades, y la generación de núcleos de solidificación se retarda. La tensión de solidificación-contracción se dispersa y se relaja por la generación de núcleos de solidificación en las convexidades de las cavidades y, por consiguiente, se evita la aparición de grietas.

Para conseguir el objetivo antes mencionado es necesario especificar claramente las convexidades de las cavidades y, para este fin, es necesario formar las cavidades de manera que estén en contacto unas con otras o adyacentes unas de otras (véase la Fig. 6).

Esto es porque, si las cavidades se forman en una condición en la que las cavidades no están en contacto unas con otras, las porciones planas de la superficie original funcionan de la misma manera que las convexidades antes mencionadas de las cavidades, y por consiguiente se hace imposible especificar claramente la generación de núcleos de solidificación. El diámetro de las cavidades se especifica en relación con la aparición de grietas atribuidas a la tensión de solidificación-contracción sacada a relucir por la solidificación retardada en las concavidades de las cavidades, y se requiere que sea $2.000\text{ }\mu\text{m}$ o menos.

Además, el límite inferior del diámetro se especifica en relación con el diámetro de los orificios finos, y, dado que se requiere el diámetro mayor que el de los orificios finos, el límite inferior se establece en $200\ \mu\text{m}$. Se requiere que la profundidad de las cavidades sea $80\ \mu\text{m}$ o más para formar los huecos de gas anteriormente mencionados. Por otra parte, si la profundidad de las cavidades es excesivamente grande, el espesor del huelgo de gas en las concavidades de las cavidades aumenta, la formación de la placa curva de solidificación en las concavidades de las cavidades se retarda en gran medida, y la desigualdad de espesor entre la placa curva de solidificación en la convexidad y en la concavidad se agranda, y entonces aparecen las grietas. Por consiguiente, la profundidad de las cavidades es preferentemente de $250\ \mu\text{m}$ o menos.

Formando cavidades antes explicadas que se solapan con los orificios finos, gracias al efecto de las cavidades, la aparición de grietas y desigualdades puede evitarse con más seguridad incluso en las porciones en las que tiene lugar la distribución tridimensional irregular de los orificios finos.

Las razones de los requisitos para la calidad del material de la superficie de un tambor de enfriamiento se explicarán con detalle a continuación. En la colada de planchas delgadas, cuando gira el tambor, la superficie del tambor es sometida a cierto ciclo térmico y se forman óxidos en la superficie porque la superficie está expuesta a una atmósfera gaseosa después de pasar por un depósito de acero fundido. Como la capa de óxidos así formada estorba la eliminación del calor durante el enfriamiento, tiene que ser eliminada con seguridad bajo la atmósfera gaseosa por un medio tal como cepillado o similar.

Por esta razón, se requiere que el material para la capa de superficie tenga una excelente resistencia a la fatiga térmica y resistencia a la abrasión. La dureza de la superficie puede seleccionarse y usarse como parámetro representativo en el cumplimiento de estas características y, en este caso, se requiere que la dureza Vickers sea 200 y más. Como material que satisface estos requisitos puede elegirse uno cualquiera entre Ni, Ni-Co, Ni-Co-W, Ni-Fe, Ni-W, Co, Ni-Al y Cr.

Además, como para un tambor de enfriamiento se requiere una elevada capacidad de eliminación de calor, como material de base del tambor se usa cobre o aleación de cobre con una excelente conductividad térmica. Por consiguiente, la capa de superficie antes mencionada se recubre chapando desde el punto de vista de la fuerza de la unión con el material de base y la resistencia del tambor.

Además, es posible el chapado con una capa simple o bien el chapado con capas múltiples con una diversidad de materiales de chapado. Además, en cuanto al momento del chapado, el chapado con película delgada puede proporcionarse antes o después de formar orificios finos mediante tratamiento del material con láser, pudiendo elegirse cualquiera de ambos como apropiado por comparación de la capacidad de tratamiento de material con láser y la resistencia a la abrasión de la superficie.

(B) La base de los requisitos para el láser pulsado usado para formar orificios finos por un método de tratamiento del material con láser

La base de los requisitos para el láser pulsado usado para formar orificios finos (orificios finos) descritos con detalle en el párrafo (A) antes mencionado por un método de tratamiento del material con láser se explicará con detalle a continuación.

La Fig. 26 muestra una típica forma de onda de un haz láser pulsado de CO_2 con interruptor Q formado por un método de interruptor Q de chopper rotatorio. En un láser de CO_2 , se añade N_2 que tiene un nivel de energía elevado relativamente próximo al del CO_2 entre niveles de oscilación molecular al medio del láser para mejorar la eficiencia de oscilación.

Como el N_2 así añadido actúa como medio de acumulación de energía en el momento de la descarga de excitación, y cuando el movimiento de la conmutación Q es activado por un chopper rotatorio o similar, el haz láser pulsado de CO_2 con interruptor Q toma una forma de onda de una "porción de punta inicial" correspondiente al pulso gigante de un láser sólido, seguido por una "porción de cola del pulso" que oscila igual que una onda continua causada por el desplazamiento de la energía de colisión de las moléculas de N_2 a las moléculas de CO_2 .

Los presentes inventores describieron, por ejemplo, en la publicación de Patente Japonesa no examinada n° H8-309571 que, cuando se aplicaba luz de láser pulsado de CO_2 con interruptor Q para formar orificios, esta porción de cola del pulso podía contribuir a formarlos efectivamente. Sin embargo, en ese momento la formación de orificios de 10 a $50\ \mu\text{m}$ de profundidad era el principal problema, y se encontró que la formación de orificios de $50\ \mu\text{m}$ o más de profundidad, que era un objetivo de la presente invención, no podía llevarse a cabo. Más concretamente, se encontró que incluso si la energía del pulso aumentaba a un lapso de tiempo total de $20\ \mu\text{s}$, el aumento de la profundidad del orificio se saturaba, y no podían formarse orificios de $50\ \mu\text{m}$ de profundidad o más.

Para afrontar este problema, los presentes inventores llevaron a cabo una investigación experimental detallada cambiando sistemáticamente la combinación de anchura de pulso de total y energía de pulso, usando muestras chapadas con Ni, y encontraron que podían obtenerse los resultados que se muestran en la Fig. 27.

ES 2 291 995 T3

La Fig. 27 (a) muestra el resultado resumido tomando el lapso de tiempo total del pulso en el eje X, la profundidad del orificio formado en el eje Y, y la energía del pulso como parámetro, y (b) de la misma figura muestra el resultado resumido de manera similar con respecto al diámetro de los orificios formados en la superficie.

A partir de la figura puede observarse que la dependencia del diámetro del orificio de superficie sobre el lapso de tiempo total del pulso es baja, mientras que la dependencia de la profundidad del orificio tiene una tendencia específica. Concretamente, bajo una condición de energía de pulso baja de aproximadamente 10 a 30 mJ, la profundidad del orificio aumenta constantemente con el aumento de la anchura del pulso total y alcanza un borde bajo la anchura de pulso total de aproximadamente 20 a 30 μ segundos, y después la profundidad del orificio comienza a disminuir (pendiente conocida) y, por tanto, la profundidad del orificio está restringida al límite superior de 40 μ m o un poco más.

Sin embargo, los presentes inventores encontraron que, si la anchura del pulso total se cambiaba bajo la condición de energía de pulso de 50 mJ o más, la anchura total del pulso que tenía el borde antes mencionado se desplazaba hacia el lado de la anchura total de pulso más larga.

Como resultado de llevar a cabo la evaluación espectral del plasma producido por la luz láser para analizar este fenómeno, se encontró que, si la energía del pulso aumentaba bajo la condición de corta anchura total del pulso de 30 μ segundos o menos, la densidad electrónica del plasma aumentaba mucho en el momento de la punta inicial y como una influencia de la misma se inducía una etapa de radiación de amortiguamiento inverso en un momento de la porción de cola del pulso y, por tanto, la energía de la porción de cola del pulso no podía ser suministrada eficazmente a la pieza de trabajo a procesar.

Mientras tanto, si la energía del pulso aumenta bajo la condición de la anchura total del pulso más larga de 30 μ segundos o más, la energía del pulso contenida en la porción de cola del pulso aumenta proporcionalmente y, como resultado, la velocidad de aumento de salida en el borde de la porción inicial de la punta se reduce a partir del nivel bajo la condición antes mencionada. Como resultado se suprime un gran aumento de la densidad de electrones libres en el plasma producido por el láser y, por consiguiente, la influencia de la radiación de amortiguamiento inverso se reduce y la profundidad del orificio aumenta constantemente junto con el aumento de la energía del pulso.

Basándose en el resultado del experimento antes descrito y la interpretación de la evaluación espectral, quedó claro que una anchura total del pulso de 30 μ segundos o más era necesaria para conseguir el objeto de la presente invención de formar orificios de 50 μ m o más de profundidad.

El límite superior de la anchura total del pulso se explicará a continuación. Como se indica por un cálculo por aproximaciones sucesivas en el párrafo "Técnica de Base", deben formarse aproximadamente cien millones de orificios por cada tambor de enfriamiento para conseguir el objeto de la presente invención. Para completar el tratamiento en un periodo de tiempo razonable desde el punto de vista práctico, es necesario ajustar la frecuencia de repetición de oscilación del pulso de un láser de CO₂ con interruptor Q lo más alta posible.

Como ejemplo concreto, suponiendo que se va a procesar un tambor de enfriamiento dentro del límite superior de 4 horas y que se usan los valores típicos de la condición para formar los orificios finos (orificios finos) establecidos en (A) antes mencionado, se requiere una frecuencia de repetición del pulso de aproximadamente 6 kHz o más.

Por otra parte, una vez que se ha determinado la distancia de los orificios prescrita y la frecuencia de repetición del pulso, se determina la velocidad de movimiento entre orificios y, si la anchura total del pulso se hace excesivamente larga, la pieza de trabajo se mueve dentro del lapso de tiempo de oscilación del pulso, y por tanto no puede realizarse el tratamiento concentrado en un solo punto. Como resultado, surge el problema de que el diámetro de los orificios de superficie se hace mayor y la profundidad se hace menor.

Para analizar este fenómeno se llevó a cabo un estudio para evaluar la dependencia del rendimiento de formación de los orificios sobre la velocidad de movimiento y, como resultado, se encontró que no tendría lugar un acusado deterioro en el rendimiento del tratamiento si la cantidad de movimiento dentro de un lapso de tiempo de pulso era el 50% o menos del diámetro del orificio de la superficie bajo la condición de la velocidad de movimiento de hasta 2 m/segundo.

Aquí, como el diámetro del orificio de superficie es como mucho 200 μ m como se explica en el párrafo (A), se obtiene un valor de 50 μ segundos = 200 (μ m) x 0,5/2 (m/segundo). En consecuencia, este valor proporciona el límite superior de la anchura total del pulso.

La anchura total del pulso puede ser cambiada cambiando el lapso de tiempo de abertura de la rendija en el método con interruptor Q usando un chopper rotatorio. Para cambiar la anchura del pulso de forma apropiada cuando se cambia la condición para la formación de orificios finos (orificios finos), puede prepararse una diversidad de palas de chopper rotatorio que tienen distintas anchuras de rendija, pero también es posible realizar varias anchuras totales de pulso con una sola pala preparando una pala de chopper que tiene rendijas S cuya anchura de abertura varía en dirección radial, como se muestra en la Fig. 25.

La base de la energía del pulso requerida se explicará a continuación. La Fig. 28 es una gráfica que muestra una relación entre la energía de pulso y la profundidad del orificio con relación a los datos obtenidos de la Fig. 27 (a) bajo la condición de la anchura total del pulso de 30 μ segundos. Como resulta evidente a partir de la figura, se requiere que la energía del pulso sea mayor que 40 mJ para obtener orificios de 50 μ m o más de profundidad, lo que es un objeto de la presente invención.

En un láser de CO₂ con interruptor Q en excitación de onda continua, como se incorpora un telescopio confocal en un resonador en el caso del método del interruptor Q de chopper rotativo, es necesario que la densidad de energía de la máxima energía de pulso disponible en el punto confocal esté por debajo del valor umbral de ruptura del gas atmosférico. Como la energía del pulso máxima obtenida bajo esta condición es 150 mJ en general, este valor proporciona el límite superior de energía.

Aquí, la producción de energía del pulso puede ser controlada variando la energía eléctrica de descarga de efluio en el momento de la excitación de descarga. Aunque generalmente se usa descarga de corriente continua como método de excitación de descarga, puede usarse cualquier otro método de estampar continuamente una descarga de corriente alterna y una descarga en RF, y aplicar modulación de pulso a las descargas.

Los requisitos para el diámetro condensado de un haz láser que se usa para tratamiento se explican a continuación. El diámetro de la superficie de los orificios formados varía, en general, dependiendo del diámetro del haz láser condensado y la cantidad de energía de pulso suministrada. Como se muestra en la Fig. 27 (b), por ejemplo, el diámetro del orificio de superficie aumenta constantemente a medida que la energía del pulso aumenta cuando la energía del pulso se varía bajo la condición de un cierto diámetro condensado constante. Esto es porque, si se aumenta la energía en el tiempo de pulso relativamente largo de 30 μ segundos o más, una región mayor que la región irradiada especificada por el diámetro del haz condensado se calienta, se funde y después se evapora por la difusión de transferencia de calor.

Después se llevó a cabo un experimento de variar la energía del pulso variando el diámetro condensado del haz láser preparando condensadores de varias longitudes focales y, como resultado, se encontró que el intervalo de diámetro condensado de 50 a 150 μ m era apropiado como condición de diámetro condensado para satisfacer la condición de diámetro de orificio de superficie de 50 a 200 μ m y profundidad de 50 μ m o más. La razón por la que el límite superior del diámetro condensado es 150 μ m y es menor que el diámetro del orificio de superficie, 200 μ m, es porque, como se expuso anteriormente, tiene lugar un fenómeno en el que un diámetro de orificio mayor que el diámetro de una porción irradiada obtenida realmente. Además, el límite inferior está determinado por el límite inferior del diámetro del orificio de superficie.

Ejemplo 6

La Fig. 24 es un dibujo que muestra la configuración de un aparato de tratamiento con láser empleado en la presente invención. El oscilador de láser 23 es un aparato de láser de CO₂ con interruptor Q que incorpora un aparato de interrupción Q detrás de un tubo de láser de excitación de descarga continua que tiene gas dióxido de carbono como medio de oscilación. El aparato de interrupción Q consiste en un telescopio confocal (que consiste en un condensador telescópico 26 y un espejo de reflexión total 27) y un chopper rotativo 28 (véase la Fig. 25) instalado en el punto confocal.

El número de revoluciones del chopper rotativo 28 es 8.000 rpm, se forman 45 rendijas (véase S en la Fig. 25) en la pala del chopper y se obtiene una serie de pulsos que tienen 32 μ segundos de anchura de pulso total y 6 kHz de frecuencia de repetición de pulsos. Después de corregir el ángulo de divergencia de la salida L del haz láser por el oscilador de láser 23 mediante un espejo colimador (un espejo cóncavo) 29, el haz alcanza una cabeza de procesamiento 31, se condensa a un diámetro de 100 μ m mediante un condensador hecho de ZnSe 32 que tiene una distancia focal de 63,5 mm, y después es irradiado en un tambor de enfriamiento 1.

Girando un tambor de enfriamiento que tiene un diámetro de 1.200 mm y una corona ligeramente cóncava a una velocidad constante de 0,4 rps con un dispositivo de giro de tambor 33, se forman orificios que tienen una distancia de 250 μ m en la superficie periférica del tambor de enfriamiento. El cabezal de procesamiento de láser 31 se mueve en la dirección paralela a la dirección del eje de rotación del tambor de enfriamiento a una velocidad de 100 μ m/segundo con un aparato de mando 34 en dirección del eje X, y se forman orificios que tienen una distancia de 250 μ m también en la dirección del eje de rotación. Aquí, dado que el tambor tiene una corona ligeramente cónica, un sensor de copia de altura 36 del tipo de corriente parásita mide la distancia entre el cabezal de procesamiento y la superficie del tambor y, basándose en el resultado de la medida, el aparato de mando en la dirección del eje Z 35 mueve el cabezal de procesamiento para controlar la distancia entre el condensador 32 y la superficie del tambor de enfriamiento 1 en una cantidad constante.

Usando la configuración anterior, un tambor de enfriamiento 1 recubierto con un chapado de Ni-Co-W y que tiene cavidades formadas de antemano mediante granallado, fue procesado con una energía de pulso de láser de 90 mJ. Como resultado, se formaron orificios finos de 180 μ m de diámetro de orificio en la superficie y 55 μ m de profundidad con una distancia de orificios finos de 150 μ m. Un aspecto de la superficie del tambor de enfriamiento sometido al tratamiento se muestra en la Fig. 29.

ES 2 291 995 T3

Se colaron aceros inoxidables austeníticos (SUS304) en planchas delgadas en forma de fleje de 3 mm de espesor mediante un vaciador continuo del tipo de tambores gemelos que se muestra en la Fig. 1, empleando los tambores de enfriamiento procesados de acuerdo con el método antes mencionado y, después de la colada, las planchas se laminaron en caliente y después se laminaron en frío para producir productos en lámina de 0,5 mm de espesor. La calidad de las planchas coladas fue evaluada inspeccionando visualmente los productos en lámina después del laminado en frío. Como resultado, se observó que las planchas delgadas estaban libres de grietas de superficie, y los productos en lámina después del laminado estaban libres de defectos de superficie y de desigualdades.

Como Ejemplos comparativos, se llevó a cabo una colada similar usando tambores sin las cavidades formadas mediante tratamiento del material con láser de acuerdo con la presente invención, y como resultado aparecieron grietas finas en las posiciones correspondientes a las porciones en las que la espuma de escoria era cogida y se observaban desigualdades evidentes en la superficie de los productos en lámina.

Un método de tratamiento con láser para formar orificios en material metálico, aplicable al tratamiento de la superficie periférica de un tambor, se explicará con detalle a continuación. La Fig. 30 es una ilustración de una vista lateral que muestra el proceso de formar un orificio en un material metálico con un haz láser pulsado. Un material de recubrimiento 38 que consiste en aceites y grasas es aplicado en la superficie de un material metálico que es una pieza de trabajo a procesar 37 (un tambor de enfriamiento, por ejemplo) de antemano. Un haz láser 39 es condensado por un condensador no indicado en la figura para ser enfocado en la superficie del material metálico 37, e irradiado.

En este punto, el haz láser 39 alcanza la superficie del material metálico 37 después de ser refractado en la interfase del aire y el material aplicado como recubrimiento 38 y sometido a una cierta absorción. Un fenómeno de sublimación tiene lugar en la superficie del material metálico 37 causado por la elevada densidad de energía momentánea del haz láser 39, y así se forma un orificio.

En este punto, si se observa al microscopio, una superficie 41 de una fase fundida y una interfase 40 entre la fase fundida y una fase sólida se forma en el fondo del orificio, y parte de la fase fundida que existe entre ambas interfases (41 y 42) se descarga hacia fuera como una deposición catódica 42 por una fuerza que vence la tensión superficial ejercida por la fuerza de reacción de la evaporación del material metálico 37 y la contrapresión del gas de ayuda. Las porciones constituyentes de la deposición catódica 42 que tienen momento suficiente tan solo para permitir que queden en las proximidades del orificio alcanzan la superficie de la pieza de trabajo que se está procesando en estado fundido, y se depositan en la superficie y se convierten en escoria si no se aplica un material de recubrimiento.

Por otra parte, si se aplica de antemano un material de recubrimiento 38 en la superficie, tiene lugar un fenómeno en el que la deposición catódica 42 se solidifica por el efecto de enfriamiento del material de recubrimiento 38 antes de alcanzar la superficie del material metálico 37, o salpica lejos siendo reflejado de nuevo por la escasa humectabilidad del material de recubrimiento 38 con el metal. Lo anterior es el principio de suprimir la deposición de escoria aplicando de antemano un material de recubrimiento.

A continuación, los presentes inventores llevaron a cabo una investigación experimental para clarificar si el principio anteriormente mencionado era aplicable a cualquier tipo de aceite y de grasa. Como resultado, los presentes inventores descubrieron que el efecto de suprimir la deposición de escoria variaba en gran medida dependiendo de los tipos de aceites y grasas y del espesor del recubrimiento. Como consecuencia de investigar el resultado del experimento sistemáticamente, se encontró que la diferencia en el fenómeno podría ser resumida por la transmitancia de la luz láser en la dirección del medio de recubrimiento.

Concretamente, se encontró que cuando la absorción por la sustancia era grande, la supresión de la escoria era difícil incluso si era delgado el espesor de la capa aplicada como recubrimiento, y que, cuando el espesor de la capa aplicada como recubrimiento era grueso, la supresión de la escoria era igualmente difícil incluso si se usaba el medio que tiene absorción pequeña.

Para analizar el fenómeno, se llevó a cabo la evaluación espectral del plasma generado en el momento de irradiar un láser pulsado. Como resultado se encontró que, bajo la condición de un medio de recubrimiento con absorción grande, la densidad electrónica y la temperatura electrónica (temperatura del plasma) en el plasma subieron de forma acusada en una fase temprana de la generación del pulso en comparación con el caso bajo la condición de un medio de recubrimiento con baja absorción. Además, el plasma absorbió la subsiguiente energía del pulso después de pasar a través de un proceso de radiación de disipación inverso y la temperatura electrónica del plasma subió con una velocidad creciente.

La absorción de energía de pulso por el plasma reduce la energía que alcanza la superficie de un material metálico que es una pieza de trabajo a procesar y, simultáneamente, el propio plasma se convierte en una fuente de calor secundaria. Como el plasma se expande rápidamente a medida que pasa el tiempo, el tamaño de la fuente de calor secundaria es extraordinariamente más grande que el diámetro condensado del haz láser.

En consecuencia, porciones que tienen una pequeña cantidad de momento de la deposición catódica producida de acuerdo con el proceso que se explica en la Fig. 30 son recalentadas por el plasma, y esto conduce a aumentar la cantidad de escoria depositada en las proximidades del orificio.

ES 2 291 995 T3

Basándose en el análisis anterior, se evaluaron los coeficientes de absorción μ de varios medios, y después se llevó a cabo una evaluación experimental de la supresión del depósito de escoria, cambiando sucesivamente el espesor del recubrimiento. Aquí, el coeficiente de absorción μ es un valor definido por la expresión (1), en la que t es el espesor del medio y T es la transmitancia luminosa.

$$T = \exp[-\alpha \cdot t] \quad \dots (1)$$

Los resultados se muestran en la Tabla 8.

TABLA 8

Tipo	α [mm^{-1}]	t [mm]	T	Estado de la deposición de escoria
A	2	0,10	0,82	O (no escoria)
"	"	0,30	0,55	O (no escoria)
"	"	0,50	0,37	X (muchas escoria)
B	4	0,10	0,67	O (no escoria)
"	"	0,18	0,49	Δ (deposición parcial de escoria)
"	"	0,30	0,30	X (muchas escoria)
C	10	0,05	0,60	O (no escoria)
"	"	0,10	0,37	X (muchas escoria)
D	20	0,02	0,67	X (muchas escoria)
"	"	0,05	0,37	X (muchas escoria)

De los resultados anteriores se encontró que los requisitos para los aceites y grasas que se han de aplicar como recubrimiento era satisfacer las siguientes expresiones (2) y (3) simultáneamente:

$$\text{Transmitancia luminosa en la película de recubrimiento: } T \geq 0,5 \quad \dots (2)$$

$$\text{Coeficiente de absorción: } \alpha \leq 10 \text{ mm}^{-1} \quad \dots (3)$$

Si la transmitancia luminosa T es menor que 0,5, concretamente si la absorción en el material aplicado como recubrimiento es excesivamente grande, tiene lugar el fenómeno antes mencionado y el efecto de supresión de la escoria se deteriora. Entonces, si el coeficiente de absorción μ no satisface la expresión (3), el efecto de supresión de la escoria se deteriora igualmente, incluso aunque la transmitancia luminosa T sea 0,5 o más.

Esto es porque si la absorción por unidad de espesor es excesivamente grande, la absorción en la superficie de la capa aplicada como recubrimiento se hace relativamente grande y, por tanto, el crecimiento del plasma producido por la luz láser se hace notable y tiene lugar el fenómeno antes mencionado. Lo anterior es la esencia de los requisitos para llevar a cabo el efecto de supresión de la escoria eficazmente con un alto grado de reproducibilidad.

Aquí, aunque los tipos de aceites y grasas a aplicar como recubrimiento no se definen específicamente en la anterior exposición, los lubricantes de petróleo muestran el efecto más apropiado. Sin embargo, puede elegirse cualquier tipo de grasa o aceite siempre y cuando satisfaga las expresiones (2) y (3).

Ejemplo 7

La Fig. 31 muestra los resultados de medir la propiedad de transmitancia por espectroscopía de infrarrojos de un lubricante de petróleo de clase 3 usado para los Ejemplos de la presente invención: (a) muestra el resultado en el caso de un espesor de lubricante de $15 \mu\text{m}$, y (b) muestra el resultado en el caso de un espesor de lubricante de $50 \mu\text{m}$. Aquí, los resultados de la medida incluyen 7,5% de pérdida de transmitancia en la ventana dado que se usa cristal simple de KBr como material de compuerta.

Dado que este Ejemplo es un caso en el que los orificios se forman usando láser de CO_2 pulsado como se expone más adelante, el número de onda correspondiente a la longitud de onda de oscilación de $10,59 \mu\text{m}$ (línea de oscilación 10P 20) del láser de CO_2 está indicado mediante una flecha apuntando hacia arriba.

La Fig. 32 es una gráfica que muestra la transmitancia luminosa del propio material de recubrimiento antes mencionado expresada en función del espesor de lubricante después de obtener dicha transmitancia luminosa evaluando la propiedad de transmitancia para varios espesores como se muestra en la Fig. 31, y corrigiendo los resultados para la transmitancia del material de la ventana.

En la gráfica, los puntos negros indican valores medidos y la línea de trazo continuo indica el resultado obtenido de la expresión (1) y demuestra lo adecuada que es la expresión (1). En consecuencia, el coeficiente de absorción μ del lubricante es $4,05 \text{ mm}^{-1}$.

Se llevó a cabo la formación de orificios en un material metálico usando un lubricante que tiene una propiedad como se ha mostrado antes. Se usó Ni como material metálico a procesar, y sobre el mismo se aplicó como recubrimiento un lubricante con $50 \text{ }\mu\text{m}$ de espesor. La transmitancia luminosa en la porción de lubricante era 0,82 en ese momento.

Sobre este material se llevó a cabo la formación de orificios mediante láser pulsado de CO_2 con interruptor Q. La energía del pulso se ajustó en 90 mJ, el diámetro condensado del haz láser pulsado se ajustó en $95 \text{ }\mu\text{m}$, y se suministró aire como gas auxiliar coaxialmente con el haz láser a un caudal de 20 litros/minuto.

Bajo la condición anteriormente mencionada, se formaron orificios finos de $170 \text{ }\mu\text{m}$ de diámetro de superficie y $80 \text{ }\mu\text{m}$ de profundidad. El aspecto de la superficie formada bajo esta condición se muestra en la Fig. 33 (b). Con fines comparativos, se muestra el aspecto de la superficie formada sin lubricante aplicado de antemano como recubrimiento en (a) de la misma figura, y el aspecto de la superficie en el caso en que se aplica como recubrimiento de antemano un lubricante de $200 \text{ }\mu\text{m}$ de espesor (transmitancia luminosa $T = 0,44$) se muestra en (c) de la misma figura.

Como resulta obvio a partir de la figura, se encontró que, en el caso de (b) en el que se aplicó recubrimiento de acuerdo con la presente invención, el depósito de escoria fue significativamente suprimido, en contraposición al caso (a) en el que no se aplicó recubrimiento de lubricante y, además, bajo la condición de (c) en el que la transmitancia luminosa era menor que 0,5 debido al recubrimiento grueso aunque el lubricante era el mismo, la supresión del depósito de escoria se hizo imposible, de modo similar al caso (a) sin recubrimiento.

En el anterior Ejemplo, aunque se muestra como ejemplo el caso en el que se usa Ni como material metálico a procesar, se confirmó que el depósito de escoria puede ser efectivamente suprimido bajo la condición de acuerdo con la presente invención en el caso de cualquier otro metal tal como material metálico ferroso y similares, y, por tanto, la presente invención es aplicable a cualquier tipo siempre y cuando sea un material metálico.

Además, en el Ejemplo anterior, aunque se muestra el caso en que se usa un láser de CO_2 pulsado con interruptor Q como fuente de luz láser para la formación de orificios, es también posible utilizar otras fuentes de láser especificando la propiedad de transmitancia del material de recubrimiento en relación con la longitud de onda del láser al margen de la presente invención. Por ejemplo, es posible usar un láser YAG (longitud de onda: $1,06 \text{ }\mu\text{m}$), un láser semiconductor (longitud de onda: aproximadamente $0,8 \text{ }\mu\text{m}$), y un láser excímero (longitud de onda: región ultravioleta), y similares.

Además, en el Ejemplo anterior, aunque se muestra el caso en el que se forman orificios finos de $170 \text{ }\mu\text{m}$ de diámetro y $80 \text{ }\mu\text{m}$ de profundidad, la presente invención es además aplicable a la formación de orificios con diámetro y profundidad mayores, o bien a la formación de orificios más finos.

Por la presente invención, puede producirse eficientemente una plancha delgada que no tiene defectos de superficie tales como grietas de superficie y resquebrajaduras, desigualdades de decapado, y grietas que acompañan a desigualdades de decapado.

Por consiguiente, la presente invención puede proporcionar una lámina de acero inoxidable de alta calidad de un excelente aspecto de superficie y que no tiene un brillo irregular, con un buen rendimiento y a bajo coste, y contribuye en gran medida al desarrollo de la industria de fabricación de bienes de consumo y de la industria de la construcción, en las que el acero inoxidable se usan como materiales para productos y materiales de construcción.

REIVINDICACIONES

1. Un tambor de enfriamiento para fleje metálico colado mediante colada continua, que tiene un material de base del tambor, una capa intermedia aplicada en la superficie de dicho material de base del tambor, y una capa chapada dura sobre la superficie más externa, **caracterizado** porque: la conductividad térmica del material de base del tambor no es inferior a $100 \text{ W/m} \cdot \text{K}$; la capa intermedia tiene de 100 a $2.000 \mu\text{m}$ de espesor, el coeficiente de expansión térmica de $0,50$ a $1,20$ veces el de dicho material de base del tambor, y una dureza Vickers Hv no inferior a 150 ; la capa chapada dura tiene de 1 a $500 \mu\text{m}$ de espesor, una dureza Vickers Hv no inferior a 200 ; además en la superficie se forman cavidades de 200 a $2.000 \mu\text{m}$ de diámetro y de 80 a $200 \mu\text{m}$ de espesor, de forma que estén en contacto entre sí o adyacentes entre sí; y se forman orificios de 50 a $200 \mu\text{m}$ de diámetro y de $30 \mu\text{m}$ o más de profundidad de manera que tengan una distancia de 100 a $500 \mu\text{m}$ pero que no estén en contacto entre sí.

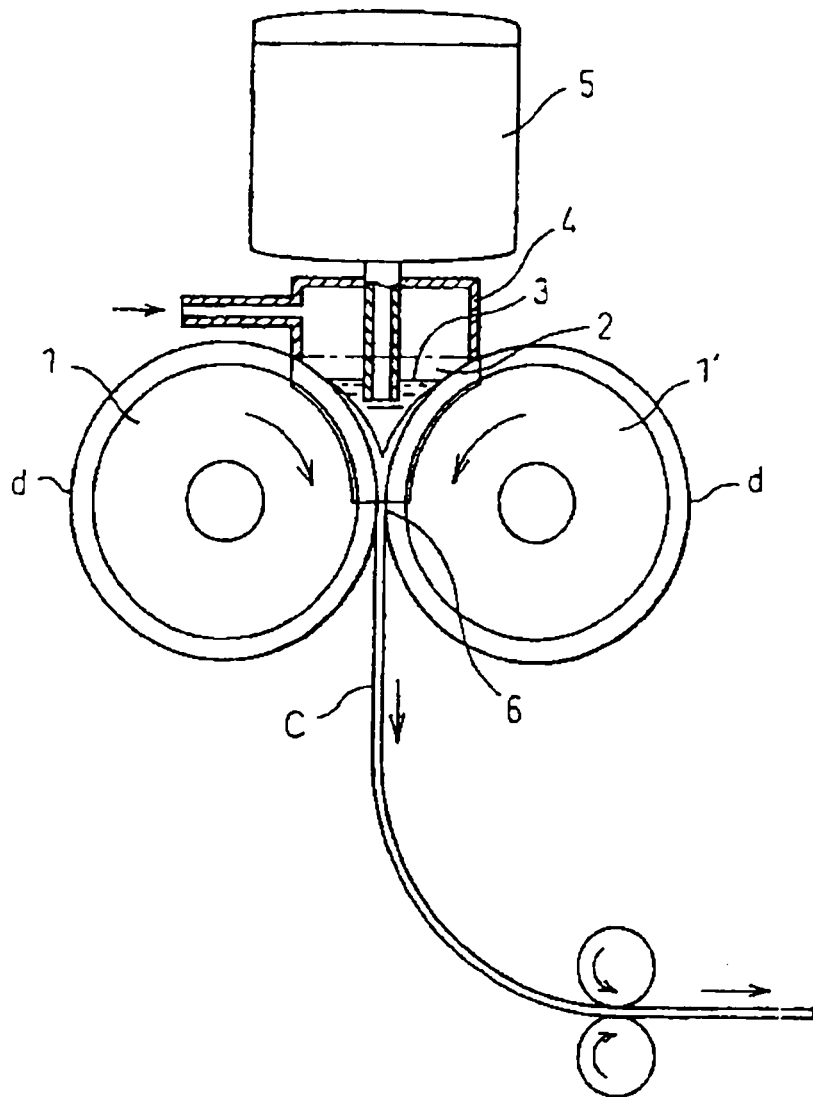
2. Un tambor de enfriamiento para fleje metálico colado por colada continua según la reivindicación 1, **caracterizado** porque: dicho material de base del tambor es cobre o aleación de cobre; dicha capa intermedia es una capa chapada consistente en Ni, Ni-Co, Ni-Co-W o Ni-Fe; y dicha capa chapada dura en la superficie más externa consiste en una cualquiera entre Ni-Co-W, Ni-W, Ni-Co, Co, Ni-Fe, Ni-Al y Cr.

3. Un tambor de enfriamiento para fleje metálico colado por colada continua según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado** porque: dichas cavidades se forman mediante granallado; y dichos orificios se forman mediante tratamiento del material con láser pulsado.

4. Un método para realizar la colada continua de un fleje metálico, **caracterizado** por: formar un depósito de acero fundido en las superficies periféricas de un par de tambores de enfriamiento para la colada continua de chapa fina según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que están dispuestos paralelos entre sí y que giran en direcciones opuestas, enfriar y solidificar dicho acero fundido vertido en dicho depósito sobre las superficies periféricas de dichos tambores de enfriamiento, y colar en continuo una chapa fina.

5. Un método para colar de forma continua un fleje metálico según la reivindicación 4, **caracterizado** por formar los orificios, mediante tratamiento, mientras dichos tambores de enfriamiento no están en contacto con acero fundido.

Fig.1



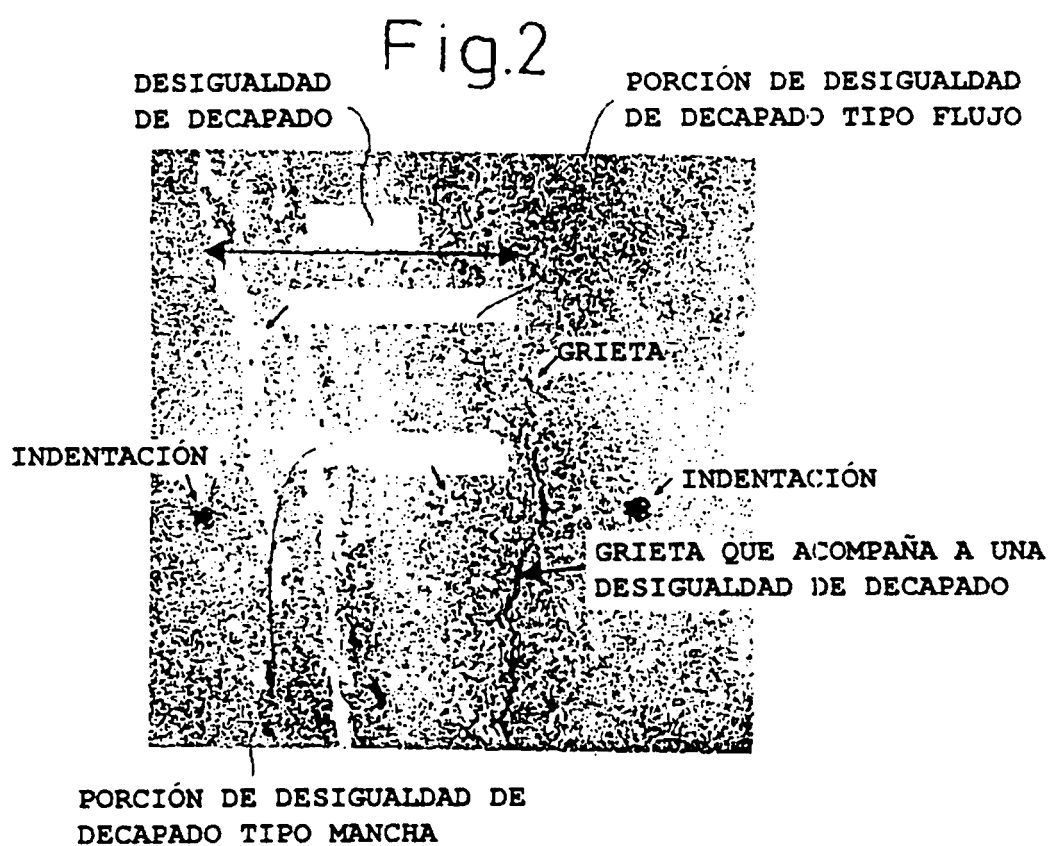


Fig.3

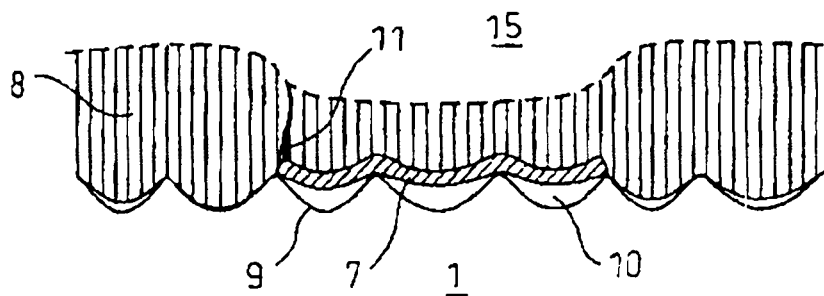


Fig.4

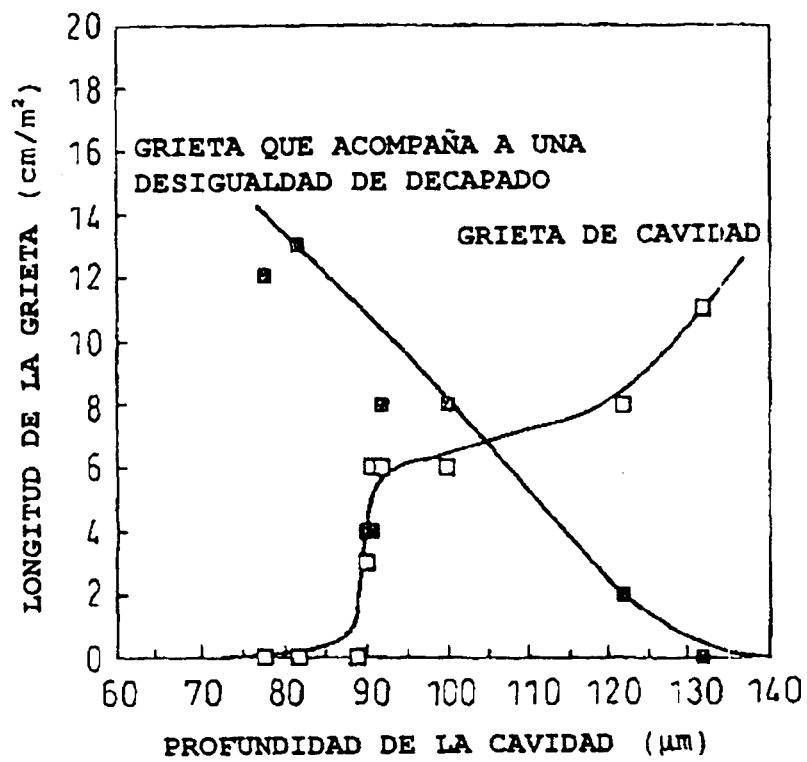


Fig.5

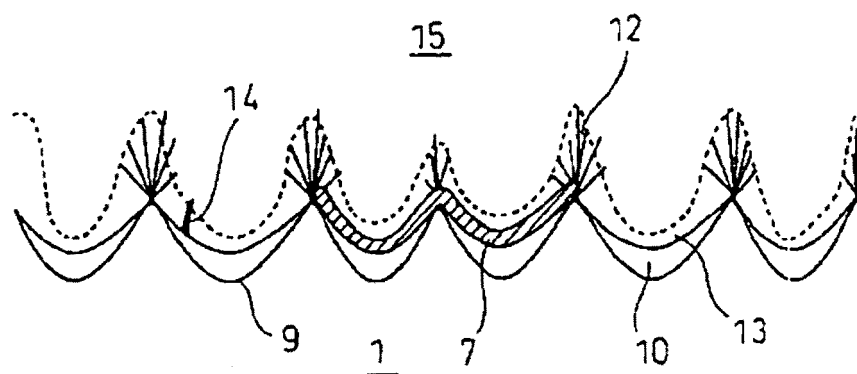
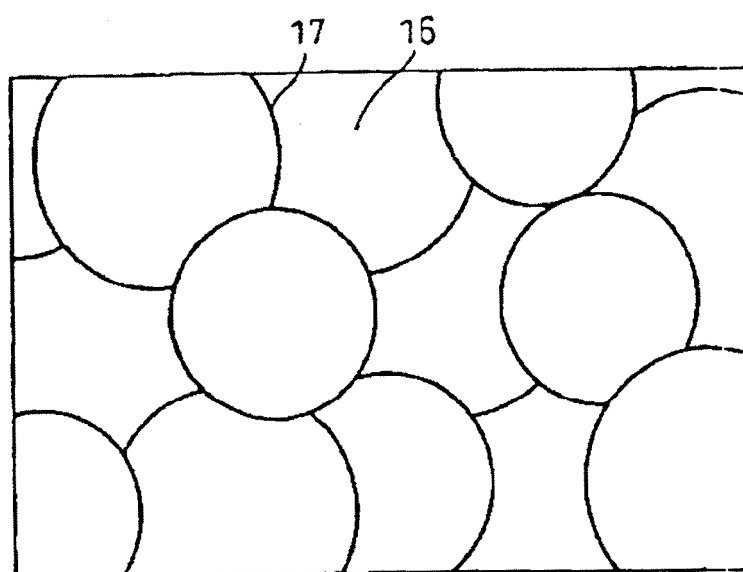


Fig.6

(a)



(b)

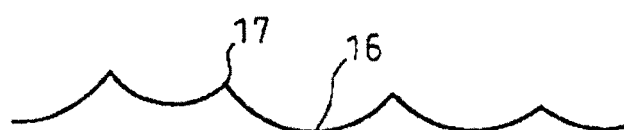


Fig.7



Fig.8



Fig.9

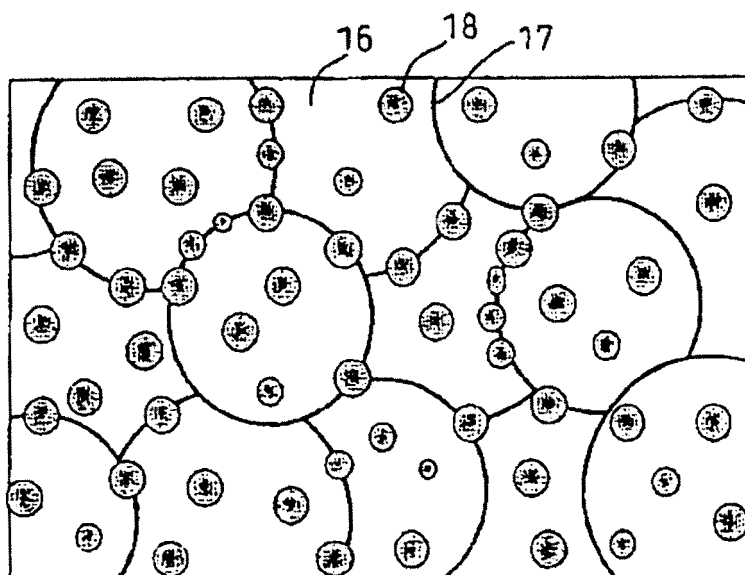


Fig.10

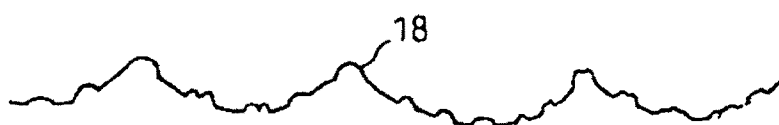


Fig.11

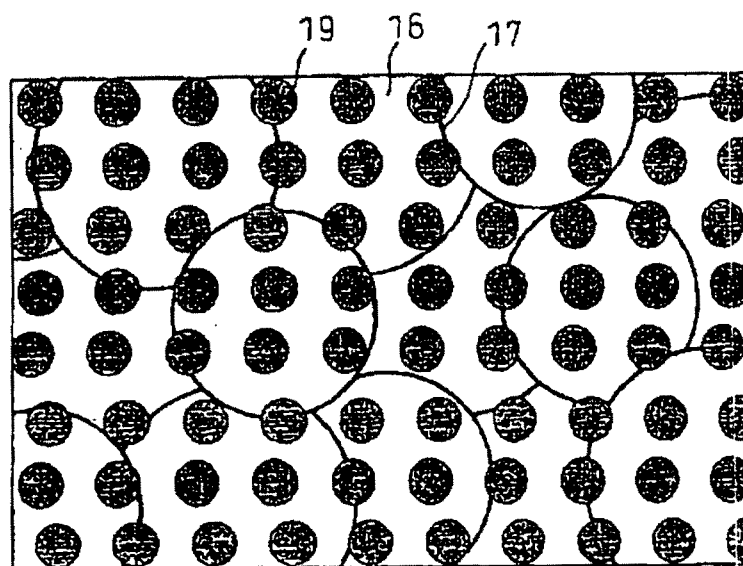


Fig.12

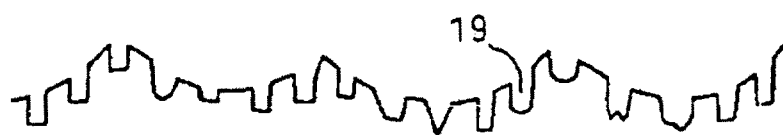
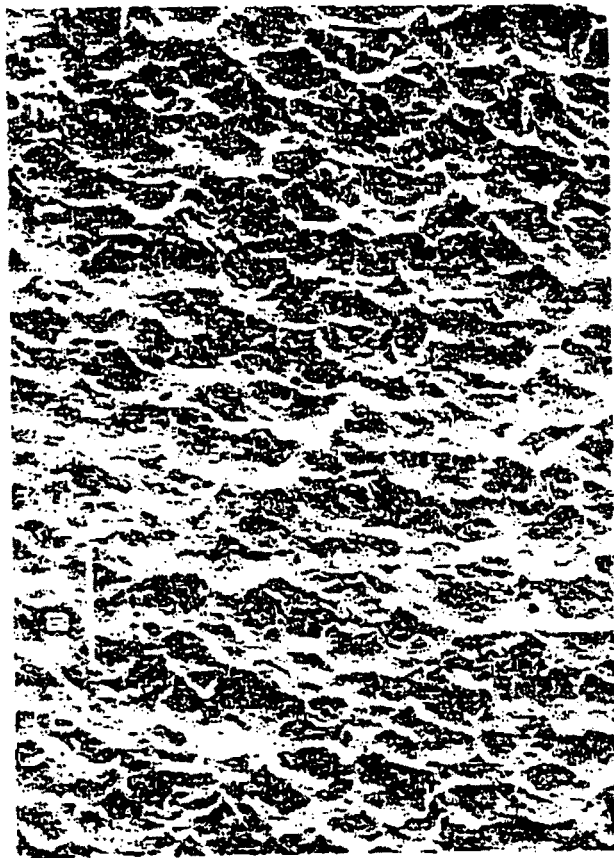


Fig.13

ASPECTO DE
LA SUPERFICIE

DIRECCIÓN DE
ROTACIÓN DEL
TAMBOR



X 15

Fig.14

ASPECTO DE
LA SUPERFICIE

DIRECCIÓN DE
ROTACIÓN DEL
TAMBOR

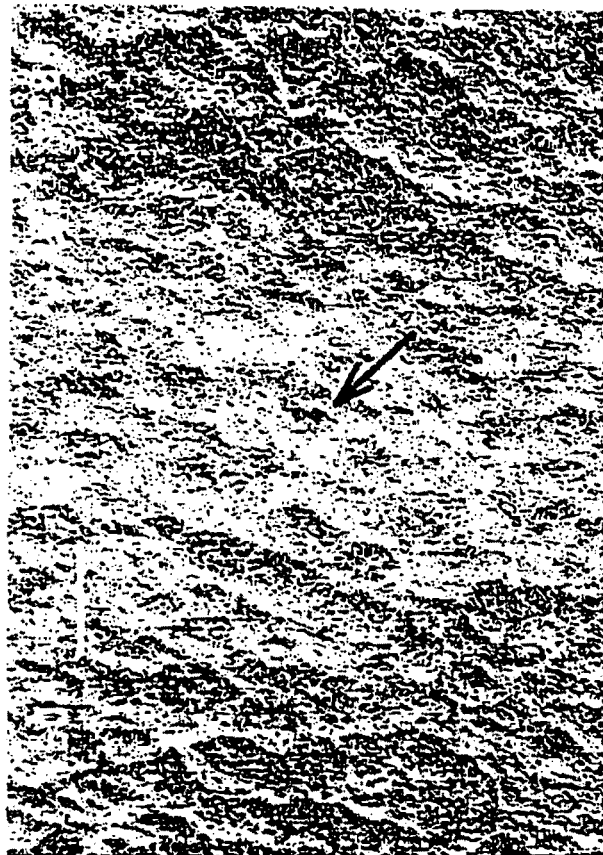


X 50

Fig.15

ASPECTO DE
LA SUPERFICIE

DIRECCIÓN DE
ROTACIÓN DEL
TAMBOR

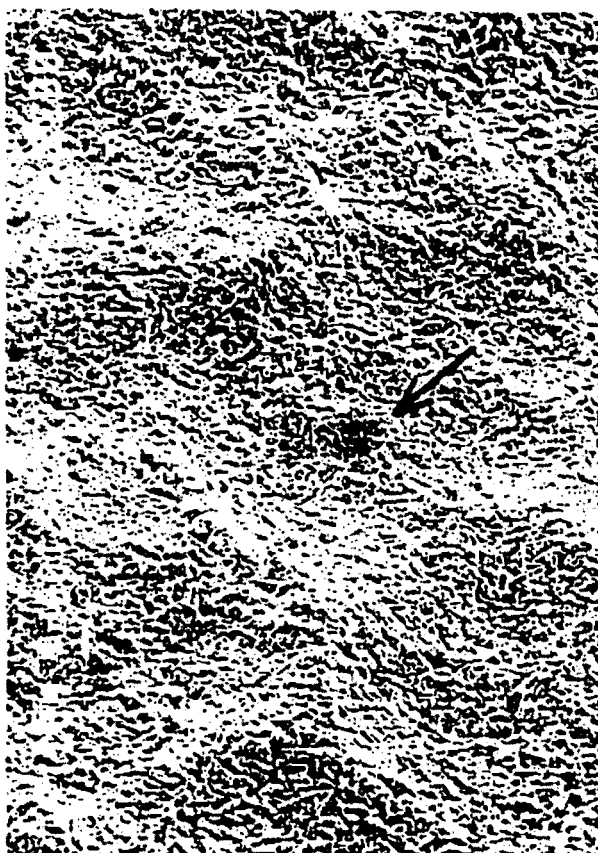


X15

Fig.16

ASPECTO DE
LA SUPERFICIE

DIRECCIÓN DE
ROTACIÓN DEL
TAMBOR



X 50

Fig.17

ASPECTO DE
LA SUPERFICIE

DIRECCIÓN DE
ROTACIÓN DEL
TAMBOR

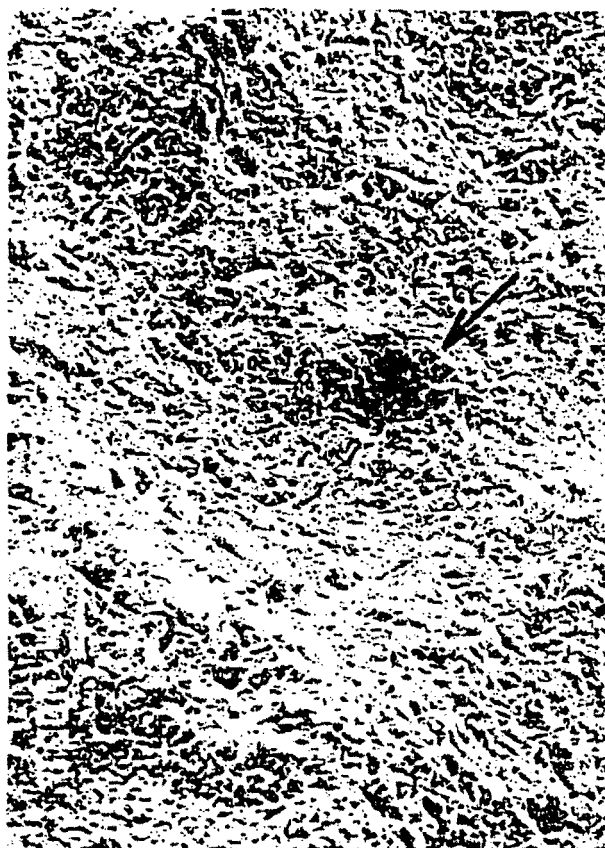


Fig.18

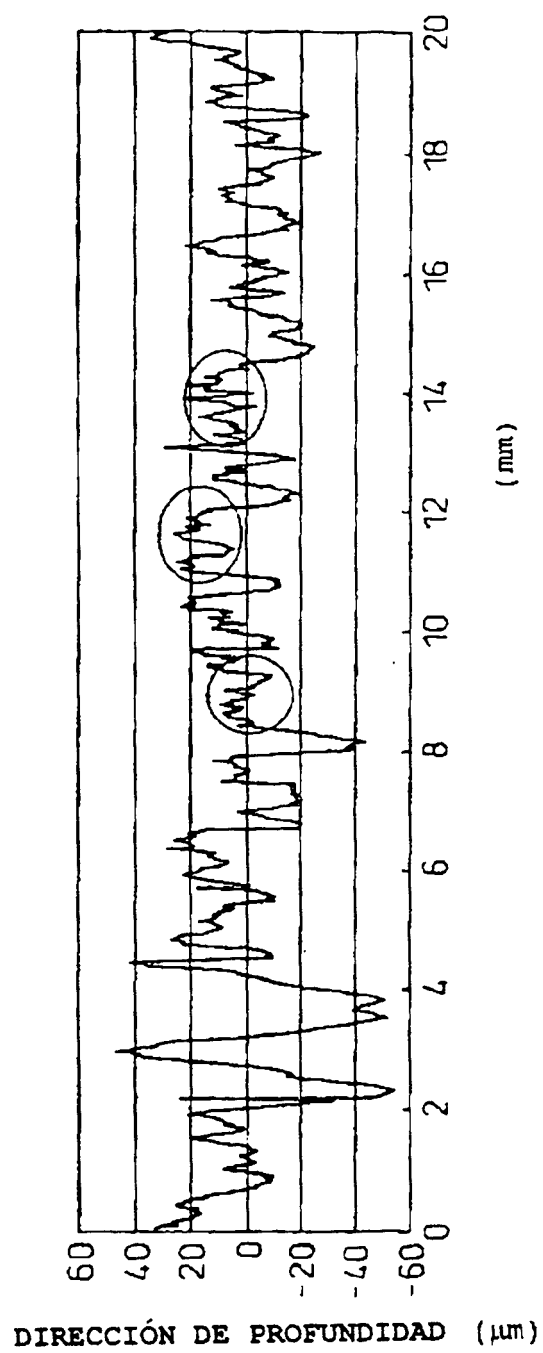


Fig.19

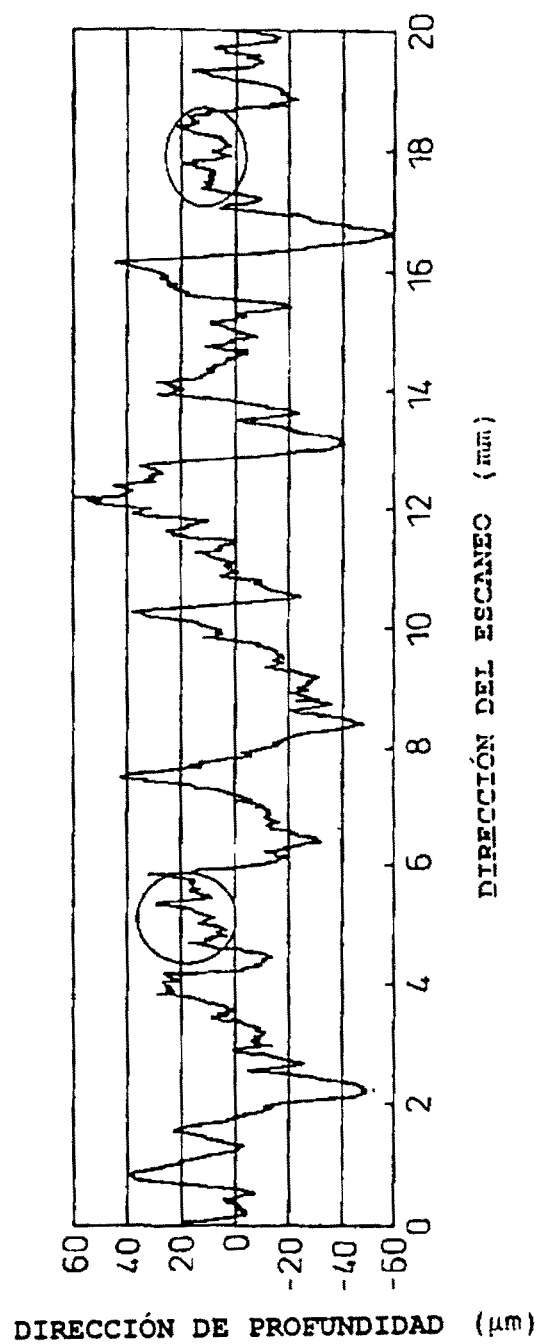


Fig.20

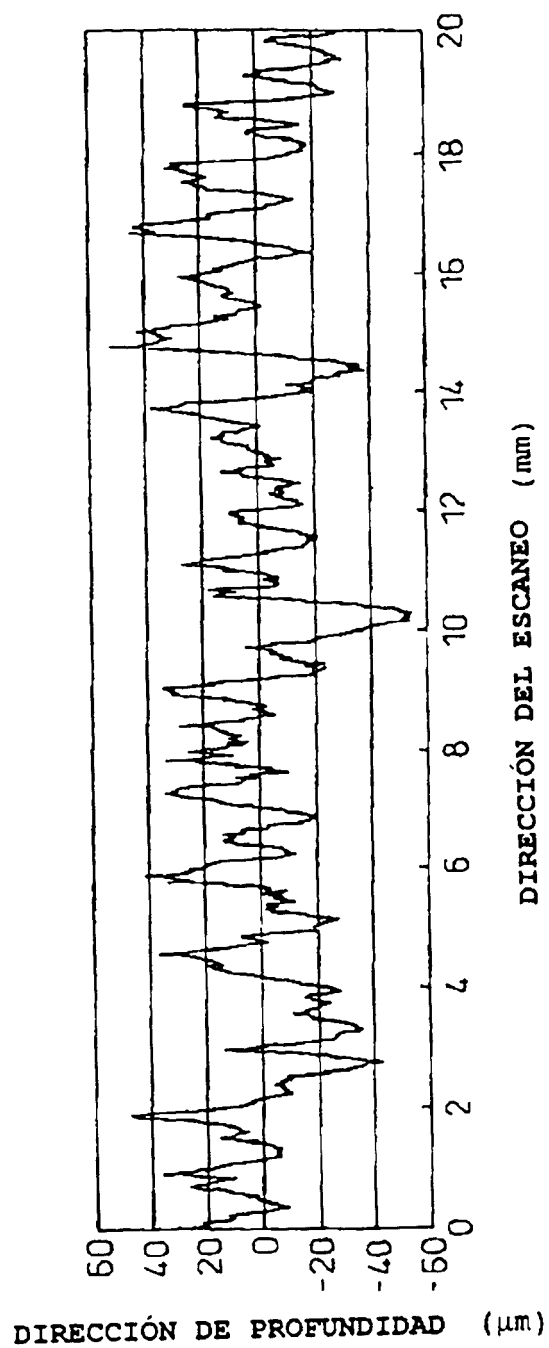


Fig.21

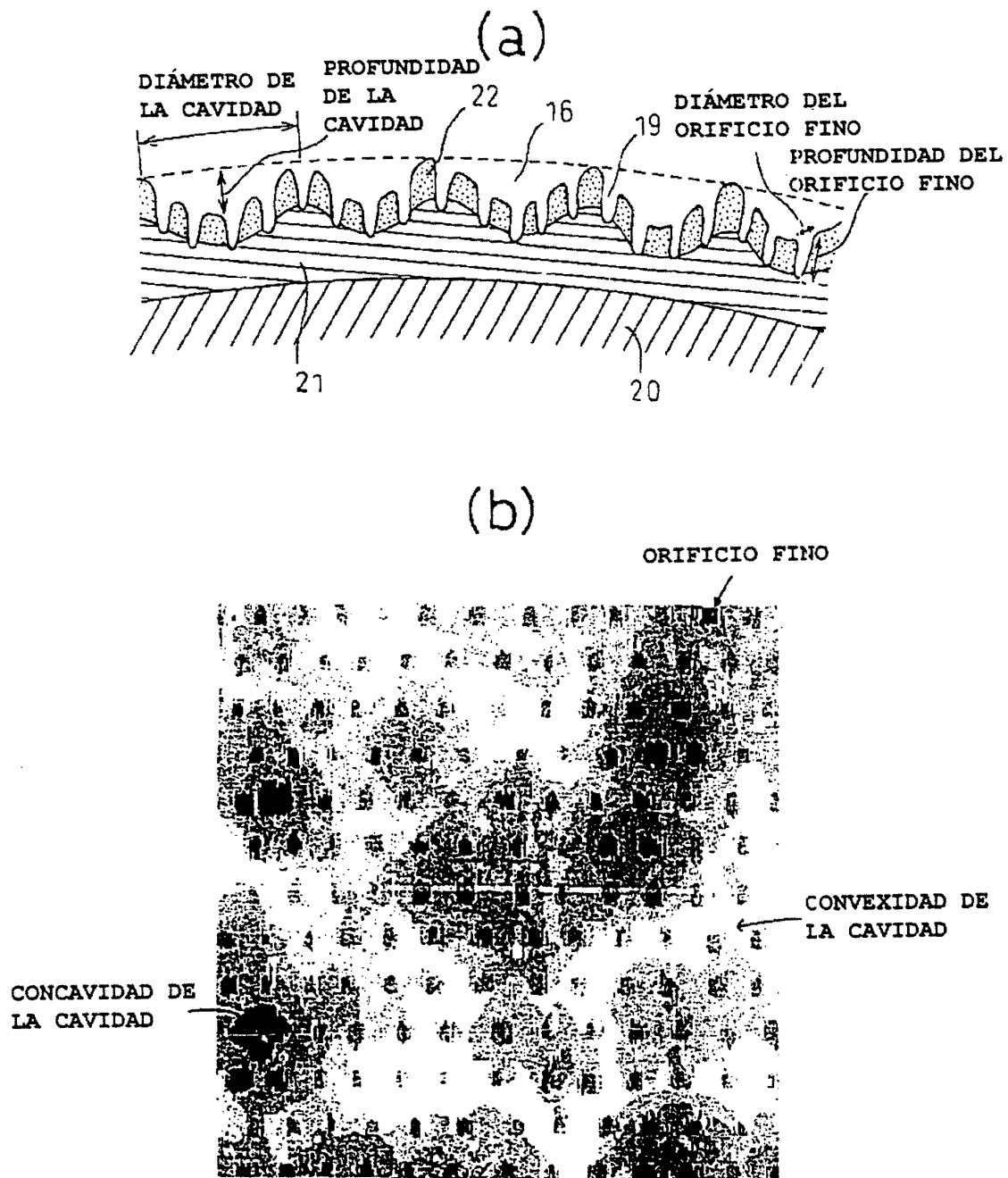


Fig. 22

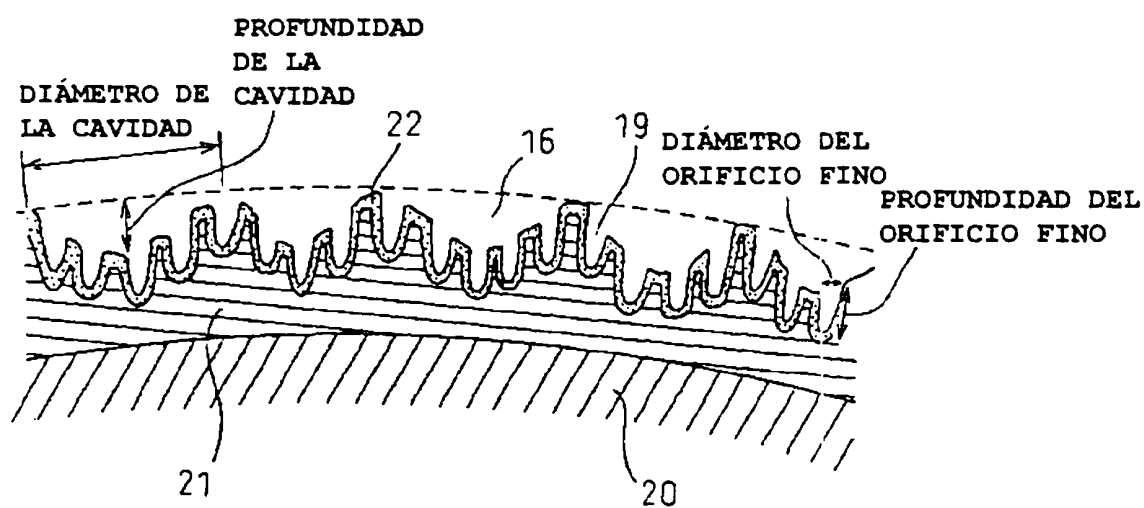


Fig. 23

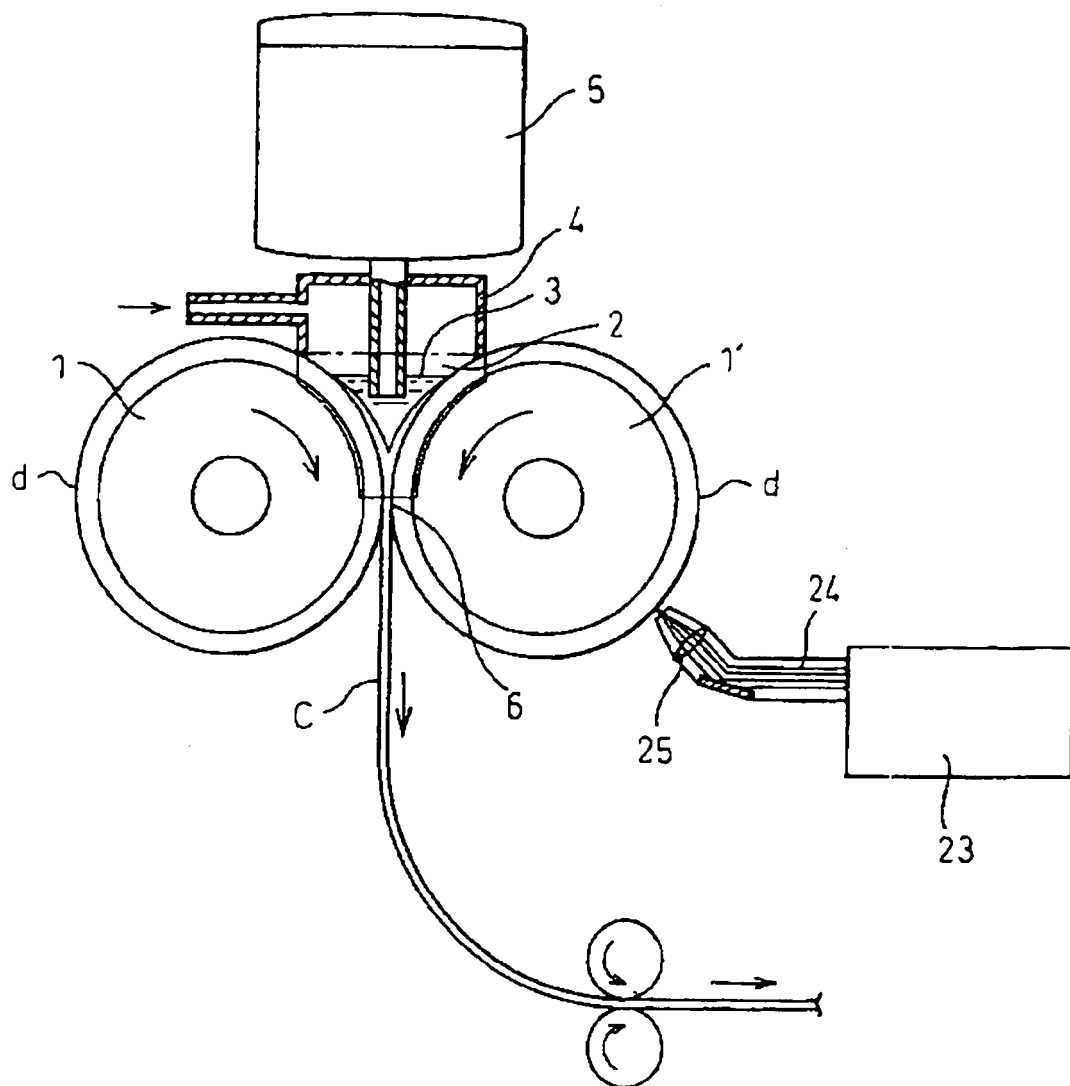


Fig.24

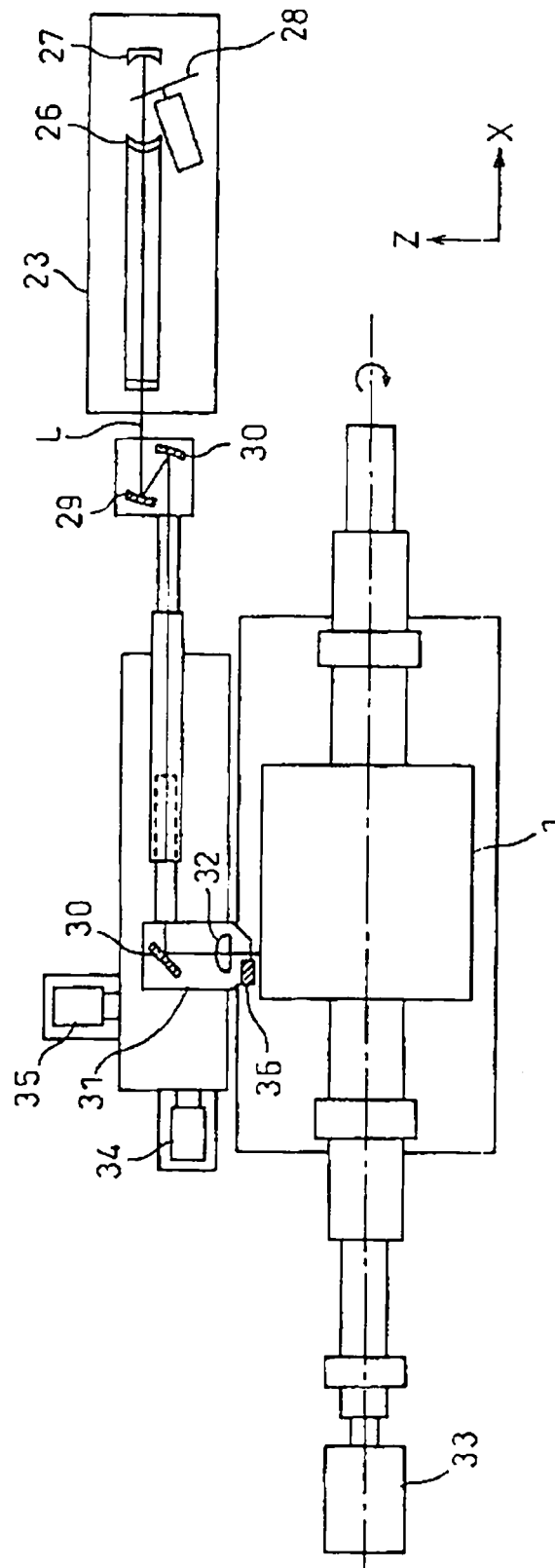


Fig. 25

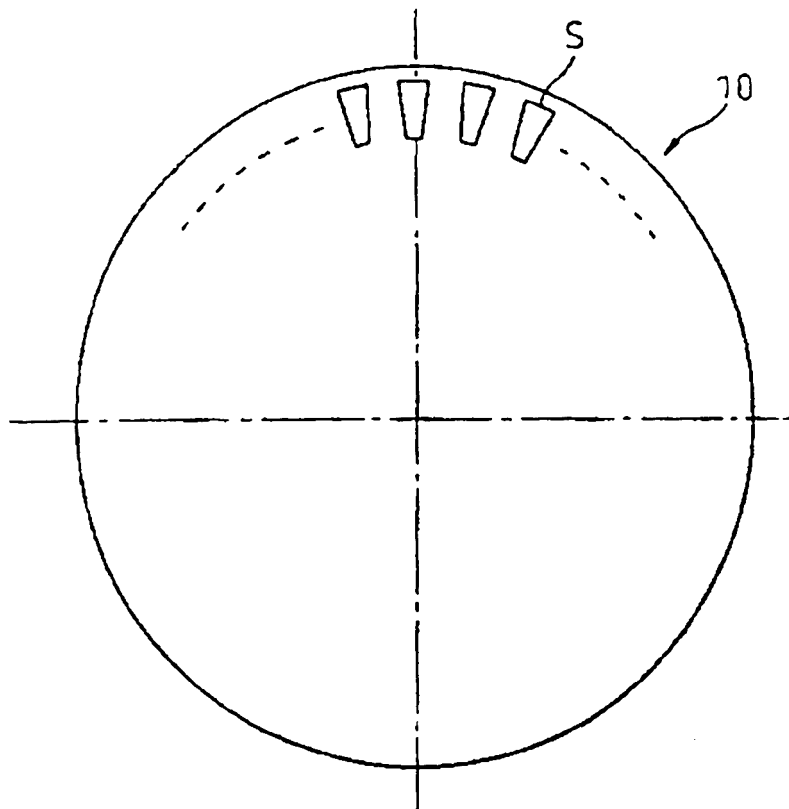


Fig.26

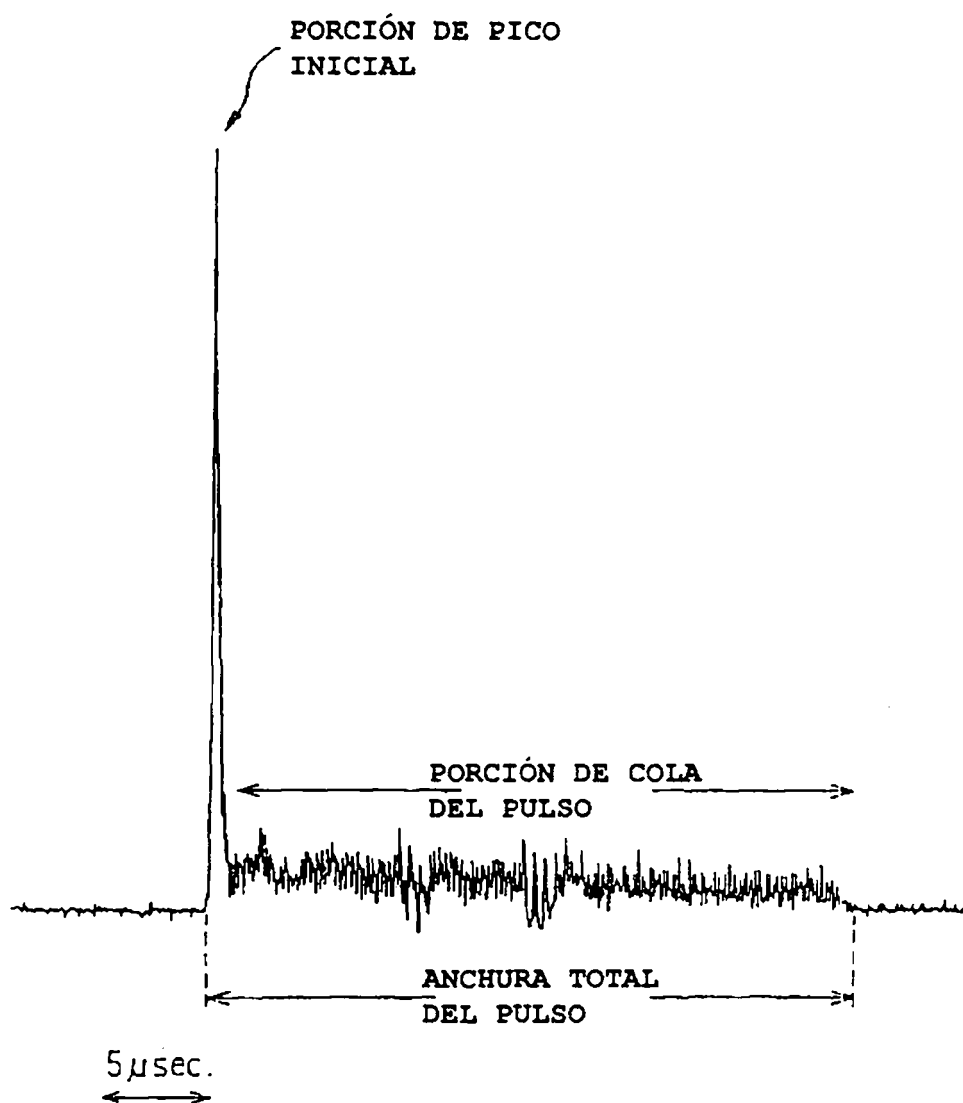
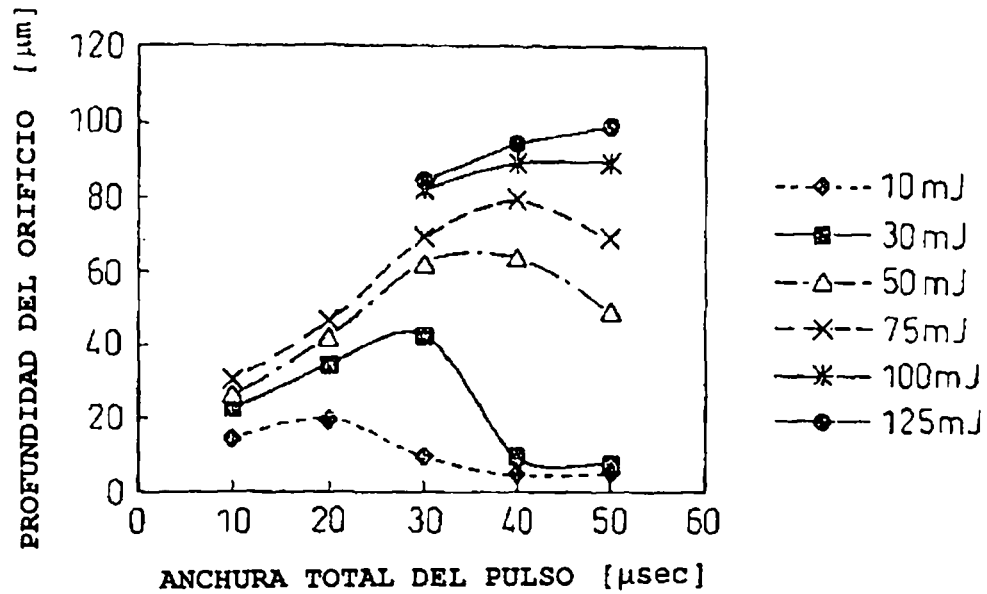


Fig.27
(a)



(b)

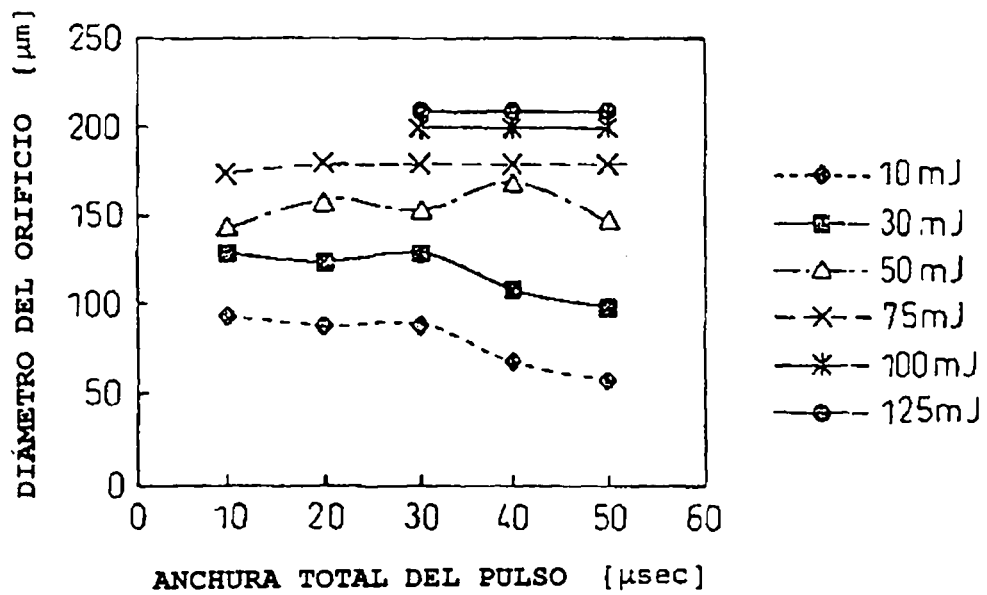


Fig.28

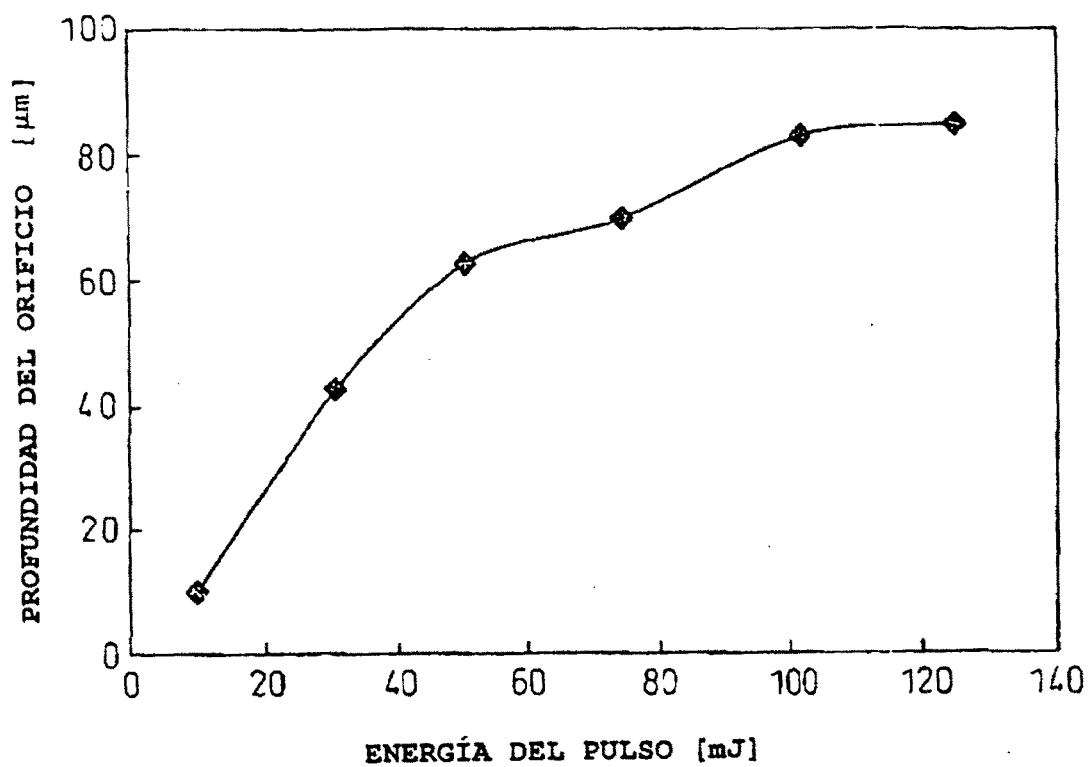


Fig.29

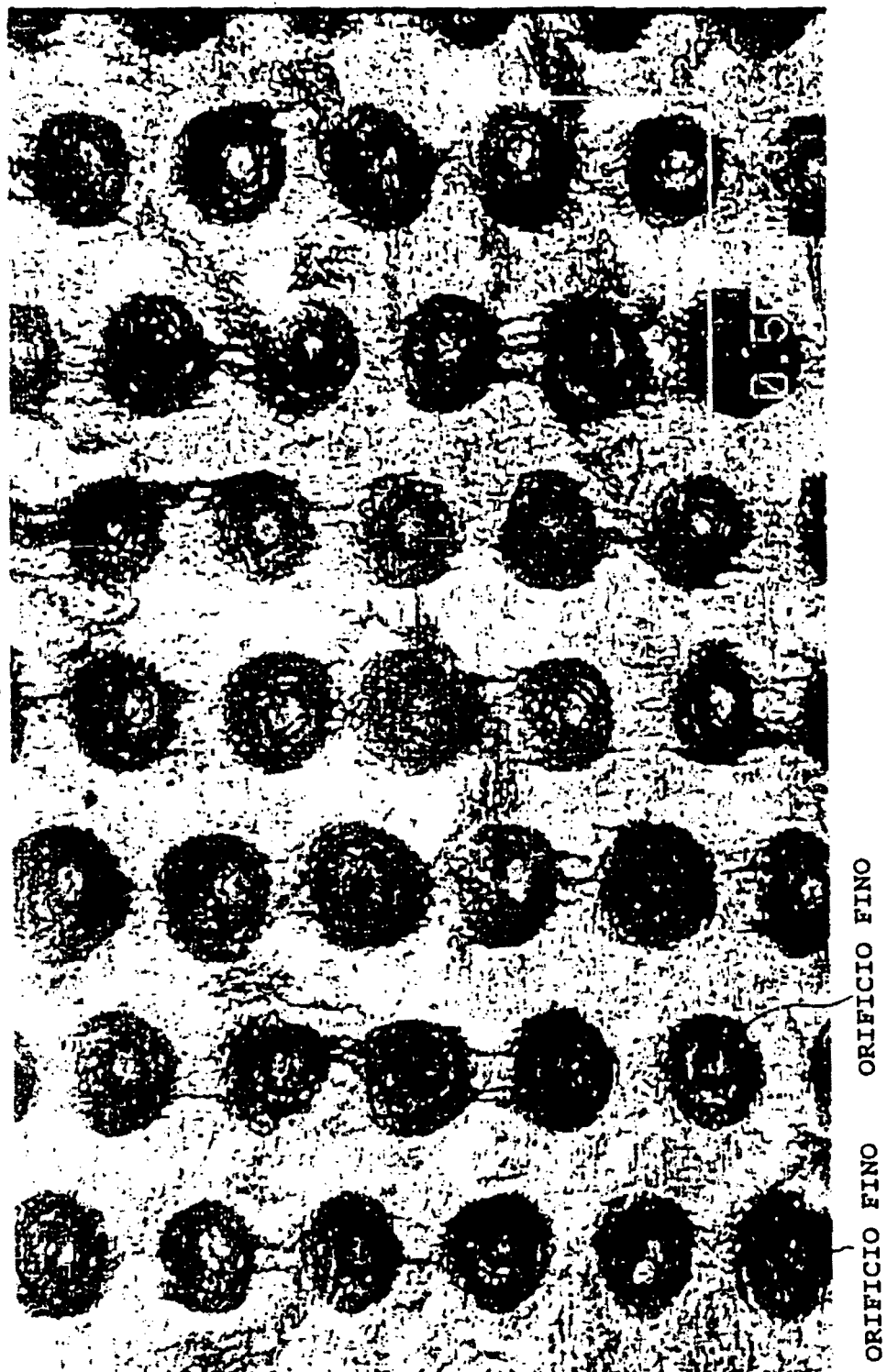


Fig.30

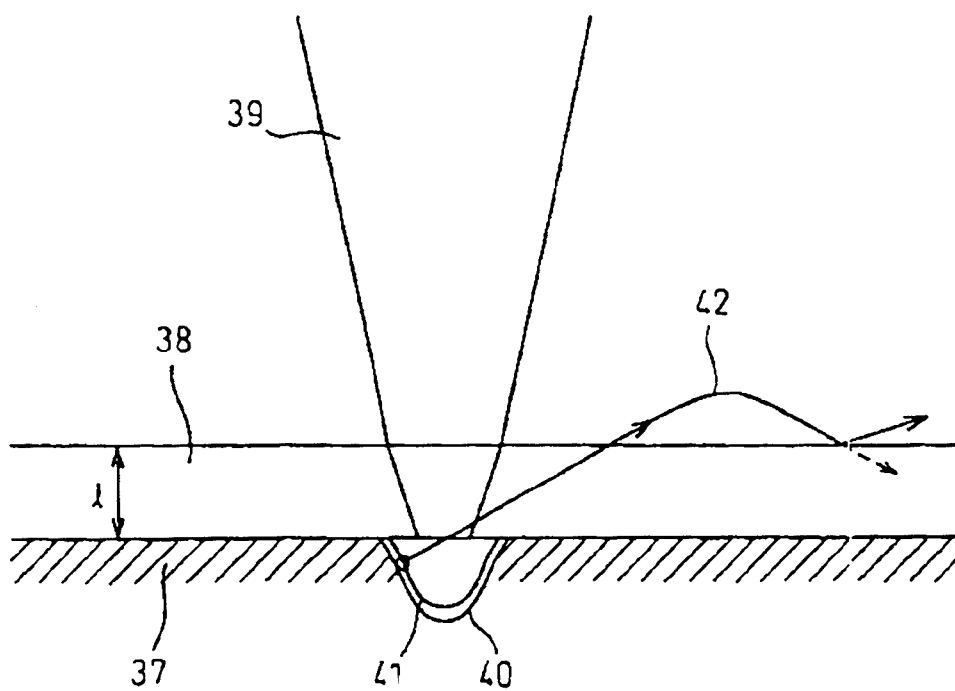
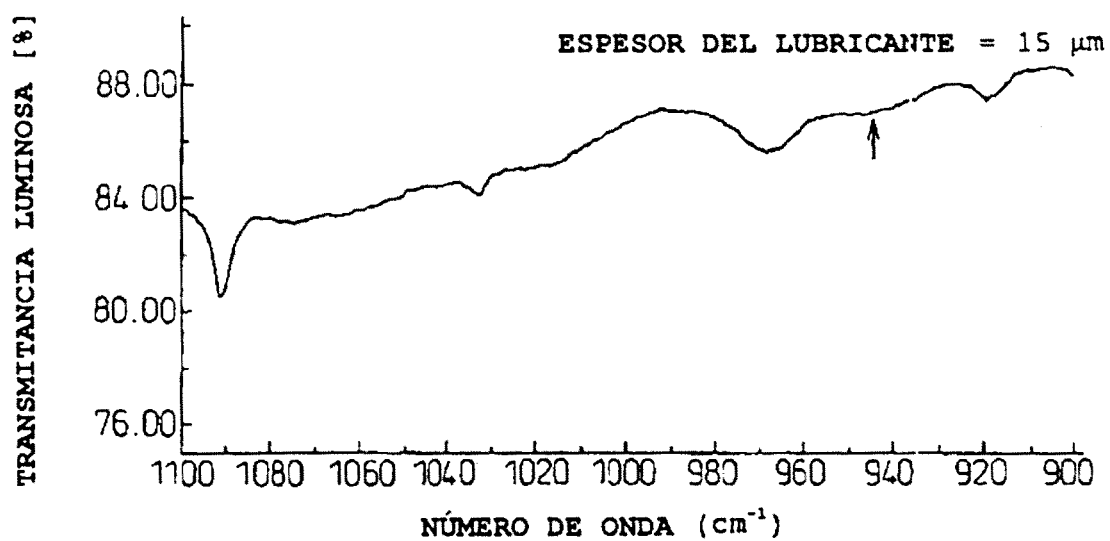


Fig.31

(a)



(b)

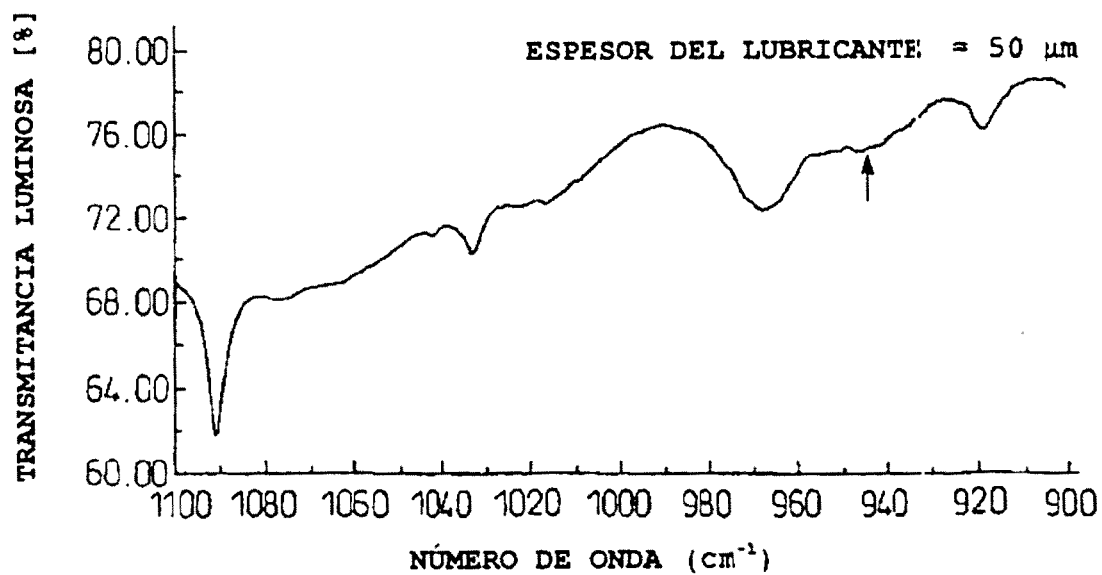


Fig.32

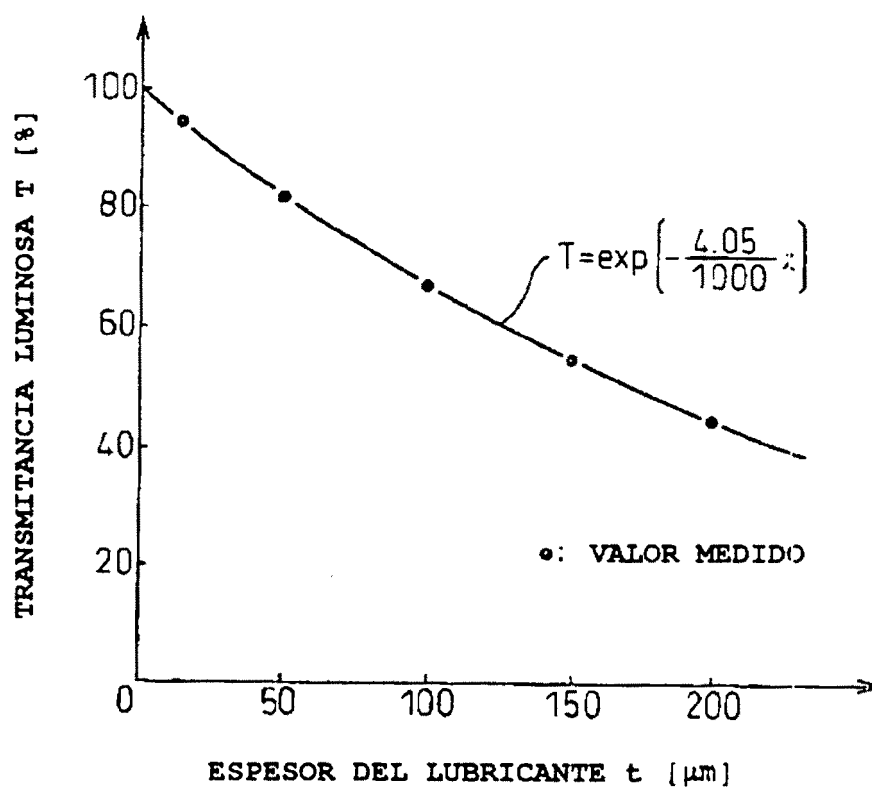
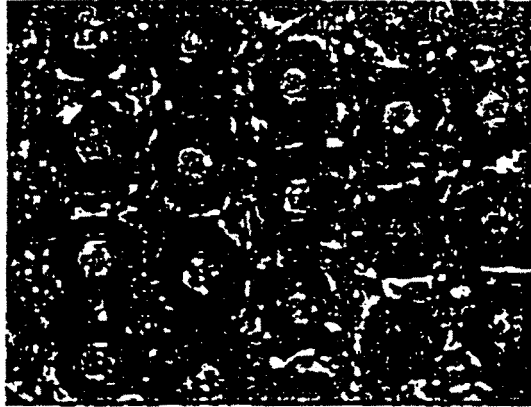
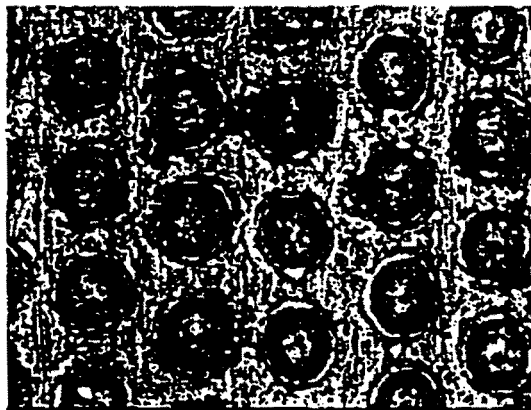


Fig.33

(a)



(b)



(c)

