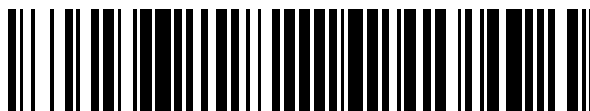


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 483**

51 Int. Cl.:

B22D 7/00 (2006.01)

B22D 30/00 (2006.01)

B22D 9/00 (2006.01)

B22D 11/00 (2006.01)

B22D 11/049 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2013** **E 17190498 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019** **EP 3290131**

54 Título: **Homogeneización in situ de metales de colada DC con templado adicional**

30 Prioridad:

23.03.2012 US 201261614790 P

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

25.02.2020

73 Titular/es:

NOVELIS, INC. (100.0%)
191 Evans Avenue
Toronto, Ontario M8Z 1J5, CA

72 Inventor/es:

FENTON, WAYNE J.;
MCDERMOTT, JEFF y
WAGSTAFF, ROBERT BRUCE

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 744 483 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Homogeneización *in situ* de metales de colada DC con templado adicional

5 **Antecedentes de la invención**

I. Campo de la invención

10 Esta invención se refiere a la colada de metales fundidos, en particular aleaciones de metales fundidos, mediante colada de enfriamiento directo y similares. Más particularmente, la invención se refiere a una colada de este tipo que implica homogeneización *in situ*.

II. Antecedentes de la técnica

15 Las aleaciones de metal, y en particular las aleaciones de aluminio, a menudo se cuelan a partir de la forma fundida para producir lingotes o tochos que posteriormente se someten a laminación, mecanización en caliente, y/u otros tratamientos, para producir artículos de chapa o plancha utilizados para la fabricación de numerosos productos. Los lingotes se producen frecuentemente por colada de enfriamiento directo (DC), pero existen métodos de colada equivalentes, tales como la colada electromagnética (p. ej. según lo tipificado por las patentes estadounidenses 3.985.179 y 4.004.631, ambas de Goodrich *et al.*), que también se emplean. El término “enfriamiento directo” se refiere a la aplicación de un líquido refrigerante directamente sobre una superficie de un lingote o tocho mientras se está colando. La siguiente exposición se refiere principalmente a colada DC, pero los mismos principios se aplican a todos los procedimientos de colada de este tipo que crean las mismas propiedades microestructurales, o equivalentes, en el metal colado.

25 La colada DC de metales (p. ej. aluminio y aleaciones de aluminio —a continuación, denominado en conjunto aluminio—) para producir lingotes se lleva a cabo normalmente en un molde de poca profundidad, abierto por los extremos, axialmente vertical que presenta una pared de molde (superficie de colada) que rodea una cavidad de colada. El molde está inicialmente cerrado en su extremo inferior por una plataforma móvil hacia abajo (a menudo denominada bloque de fondo) que permanece en su lugar hasta que una cantidad determinada de metal fundido se ha acumulado en el molde (el llamado material de arranque) y ha comenzado a refrigerarse. Luego, el bloque de fondo se mueve hacia abajo a una velocidad controlada para que un lingote salga gradualmente del extremo inferior del molde. La pared del molde normalmente está rodeada por una camisa de refrigeración a través de la cual se hace circular un fluido refrigerante tal como agua de manera continua proporcionando enfriamiento externo de la pared del molde y el metal fundido en contacto con la misma dentro de la cavidad de colada. El aluminio fundido (u otro metal) se introduce de manera continua en el extremo superior del molde enfriado para reemplazar el metal que sale del extremo inferior del molde a medida que desciende el bloque de fondo. Con un movimiento continuo de manera efectiva del bloque de fondo y consecuentemente con un suministro continuo de aluminio fundido al molde, puede producirse un lingote de longitud deseada, limitado solamente por el espacio disponible debajo del molde. Pueden obtenerse más detalles sobre colada DC a partir de la patente estadounidense 2.301.027 de Ennor y otras patentes.

45 Aunque generalmente se lleva a cabo verticalmente como se describe anteriormente, la colada DC también puede llevarse a cabo horizontalmente, es decir, con el molde orientado no verticalmente y a menudo exactamente de manera horizontal, con alguna modificación del equipo y, en tales casos, el funcionamiento de la colada puede ser esencialmente continuo ya que las longitudes deseadas se pueden cortar del lingote a medida que sale del molde. En el caso de la colada DC horizontal, se puede prescindir del uso de una pared de molde refrigerada externamente. En la siguiente exposición se hace referencia a la colada de enfriamiento directo vertical, pero los mismos conceptos generales se aplican a la colada DC horizontal.

50 El lingote que sale del extremo inferior (o de salida) del molde en colada DC es externamente sólido, pero sigue fundido en su núcleo central. En otras palabras, el conjunto de metal fundido dentro del molde se extiende hacia abajo hacia la parte central de un lingote que se mueve hacia abajo a lo largo de cierta distancia por debajo del molde como un foso de metal fundido dentro de una corteza sólida exterior. Este foso tiene una sección transversal que disminuye progresivamente en la dirección hacia abajo a medida que el lingote se refrigera y se solidifica hacia adentro desde la superficie exterior para formar una corteza exterior sólida hasta que la parte de núcleo se vuelve completamente sólida. La parte del producto de metal colado que tiene una corteza exterior sólida y un núcleo fundido se denomina en el presente documento lingote embrionario, el cual se convierte en un lingote fundido cuando se ha solidificado por completo.

60 Como se señaló anteriormente, la colada de enfriamiento directo normalmente se lleva a cabo en un molde que tiene paredes refrigeradas activamente que inician la refrigeración del metal fundido cuando el metal fundido entra en contacto con las paredes. Las paredes a menudo se refrigeran con un refrigerante primario (normalmente agua) que fluye a través de una cámara que rodea las superficies exteriores de las paredes. Cuando se emplea, esta refrigeración se denomina a menudo “refrigeración primaria” para el metal. En tales casos, la aplicación directa del primer líquido refrigerante (como agua) al lingote embrionario emergente se denomina “refrigeración secundaria”.

Este enfriamiento directo de la superficie del lingote sirve tanto para mantener la parte periférica del lingote en estado sólido adecuadamente para formar una corteza de confinamiento, como para promover la refrigeración y solidificación interna del lingote. La refrigeración secundaria a menudo proporciona la mayor parte de la refrigeración a la que está sometido el lingote.

5 Convencionalmente, se proporciona una sola zona de refrigeración debajo del molde. Por lo general, la acción de refrigeración en esta zona se lleva a cabo dirigiendo uniformemente un flujo de agua sustancialmente continuo alrededor de la periferia del lingote inmediatamente debajo de la salida del molde, descargándose el agua, por ejemplo, desde el extremo inferior de la camisa de refrigeración prevista para la refrigeración primaria. En este
10 procedimiento, el agua impacta con una fuerza o impulso considerable sobre la superficie del lingote en un ángulo sustancial con respecto a la misma y fluye hacia abajo sobre la superficie del lingote con un efecto de refrigeración continuo pero decreciente hasta que la temperatura de la superficie del lingote se aproxima a la del agua.

15 La patente estadounidense 7.516.775 que se expidió el 14 de abril de 2009 a Wagstaff *et al.* da a conocer un procedimiento de colada de metal fundido del tipo anterior con una característica adicional de que el refrigerante líquido utilizado para refrigeración secundaria (es decir, colada de enfriamiento directo) se retira del exterior del lingote a una distancia determinada por debajo de la salida del molde por medio de un contacto deslizante, que puede ser un elemento elastomérico sólido envolvente a través del cual pasa el lingote o puede ser alternativamente un contacto deslizante formado por chorros de fluido (gas o líquido) dirigido contracorriente a la corriente de líquido
20 refrigerante secundario para levantar las corrientes de refrigerante de la superficie del lingote. El motivo para retirar el refrigerante secundario de la superficie del lingote es permitir que la temperatura de la corteza sólida exterior del lingote embrionario suba y se acerque a la temperatura del interior aún fundido durante un tiempo suficiente para provocar cambios metalúrgicos en el metal sólido. Se ha descubierto que estos cambios metalúrgicos se asemejan a o reproducen los cambios que tienen lugar durante la homogeneización convencional de coladas sólidas realizadas después de la colada y la refrigeración completa de tales lingotes. El aumento de la temperatura de la corteza
25 después del frotamiento con contacto deslizante refrigerante se debe tanto al sobrecalentamiento del metal fundido en el interior en comparación con el metal enfriado de la corteza exterior sólida, como al calor latente que se genera a medida que el metal fundido del interior continúa solidificándose a lo largo del tiempo. Mediante este efecto de recalentamiento se logra la denominada "homogeneización *in situ*", evitando así la necesidad de una etapa adicional de homogeneización convencional tras el funcionamiento de la colada. Los detalles completos de este procedimiento pueden obtenerse a partir de la patente estadounidense n.º 7.516.775.

Aunque el procedimiento de homogeneización *in situ* ha demostrado ser más eficaz para el propósito previsto, se ha encontrado que ciertos efectos metalúrgicos pueden materializarse que, en algunas circunstancias (p. ej. cuando se
35 están moldeando lingotes particularmente grandes), no son deseables. Por ejemplo, a medida que la corteza sólida del lingote se calienta después del frotamiento con contacto deslizante refrigerante, comienza a expandirse en la interfase interna entre el metal sólido y el metal fundido, permitiendo así que el metal de composición eutéctica (el último metal fundido en solidificarse) se agrupe en grandes bolsas entre granos previamente solidificados o dendritas de metal de composición algo diferente presentes en la interfase. El metal agrupado de composición eutéctica finalmente se solidifica para formar grandes partículas constituyentes del metal que pueden ser indeseablemente gruesas para algunas aplicaciones. La retirada del refrigerante secundario mediante frotamiento con contacto deslizante también tiende a cambiar las características del foso de metal fundido (el conjunto central de metal fundido en el lingote embrionario). Esto puede conducir a cambios más severos en la química a través del grosor del lingote, también llamado macrosegregación, que puede encontrarse en un lingote DC estándar. Si el área
40 parcialmente solidificada entre las regiones completamente líquidas y completamente sólidas, denominada como la zona semisólida o pastosa, se vuelve más gruesa, entonces se mejorará el flujo inducido por contracción de solidificación. El flujo inducido por contracción de solidificación se produce cuando los cristales de aluminio (o cristales de otro metal solvente) se refrigeran y comienzan a contraerse. Los cristales contraídos crean una succión que extrae líquido rico en solutos desde lo alto de la zona pastosa hacia abajo hacia las pequeñas grietas en la parte inferior de la zona pastosa. Este fenómeno tiene la tendencia a agotar el centro del lingote de elementos solutos mientras enriquece el lingote o el metal de superficie de tocho. Otro fenómeno que afecta es la macrosegregación, se llama convección termosolutal; que también se mejora por un aumento en el grosor de la zona pastosa. En la convección termosolutal, el metal líquido que se encuentra con la zona fría en la parte superior del foso cerca de la pared de molde y las pulverizaciones de refrigeración de molde, se enfría y se vuelve más denso. Se hunde debido a su densidad aumentada, y puede recorrer la parte superior de la zona pastosa, siguiendo el perfil de foso hacia
45 abajo y hacia el centro del lingote. Este fenómeno tiene tendencia a extraer líquido rico en solutos hacia el centro del lingote, aumentando la concentración del soluto en el centro del lingote y disminuyendo el soluto en la superficie del lingote. Un tercer fenómeno que afecta a la macrosegregación es el de los granos flotantes. Los primeros cristales que se solidifican a partir de una aleación de aluminio son solutos pobres en sistemas con elementos de aleación eutéctica. En el área superior de la zona pastosa, estos cristales están sueltos y pueden desalojarse fácilmente. Si estos cristales se empujan hacia la parte inferior del foso, tal como tenderían a hacer tanto la gravedad como la convección termosolutal, entonces la concentración de soluto en el centro del lingote se reducirá a medida que estos granos se acumulan en la parte inferior del foso. Nuevamente, esto puede ser indeseable para ciertas aplicaciones.

65 La patente estadounidense n.º 3.763.921 que se expidió a Behr *et al.* el 9 de octubre de 1973 da a conocer colada de enfriamiento directo de metales en la que el refrigerante se retira de la superficie del lingote justo debajo del

molde, y se vuelve a aplicar el refrigerante a la superficie del lingote a un nivel algo inferior. Esto se hace para reducir el agrietamiento del lingote y permitir altas velocidades de colada de lingote.

5 La patente estadounidense n.º 5.431.214 que se expidió a Ohatake *et al.* el 11 de julio de 1995 da a conocer un molde de refrigeración que tiene primeras y segundas camisas de refrigeración de agua proporcionadas dentro del molde. Se dispone un contacto deslizante aguas abajo del molde de refrigeración para limpiar agua de refrigeración. Una tercera boca de chorro de agua de refrigeración se dispone aguas abajo del contacto deslizante. La divulgación se centra en los tochos de menor diámetro.

10 La patente estadounidense 5.431.214 A1 da a conocer un tubo de chorro de agua refrigerante anular (*cf.* la figura 4) dispuesto por delante de un contacto deslizante para rodear la periferia exterior de un lingote, en el que se aplica agua de refrigeración desde el tubo de chorro de agua refrigerante hasta la superficie del lingote de tal manera que el área de contacto del agua de refrigeración se dispone en un espacio predeterminado L4 desde el contacto deslizante.

15 El documento WO 2009/146527 A1 da a conocer un aparato en el que el agua de refrigeración se extrae de la superficie de un lingote dirigiendo chorros de agua sobre la superficie en un ángulo y con un impulso que provoca que el agua de refrigeración se desprenda de la superficie cuando entra en contacto con los chorros y siga un camino que impide que el agua de refrigeración vuelva a entrar en contacto con la superficie del lingote en una posición más allá del punto de extracción.

20 Es objeto de la presente invención proporcionar un aparato para colada de un lingote de metal que proporcione una refrigeración mejorada.

25 **Sumario de la invención**

Este objeto se soluciona según la invención mediante un aparato de colada de un lingote de metal según la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

30 Según la invención, se proporciona un aparato para colar un lingote de metal, que comprende: (a) un molde de colada de enfriamiento directo abierto por los extremos que tiene una región donde el metal fundido suministrado al molde a través de una entrada de molde está confinado periféricamente por paredes de molde, proporcionando de ese modo metal fundido suministrado al molde con una parte periférica, y una salida de molde que recibe un bloque de fondo móvil; (b) una cámara que rodea las paredes de molde para contener un refrigerante primario para refrigerar las paredes de molde y refrigerar de ese modo la parte periférica del metal para formar un lingote embrionario que presenta una corteza sólida externa y un núcleo fundido interno; c) un soporte móvil para el bloque de fondo que posibilita que el bloque de fondo avance alejándose de la salida del molde en una dirección de avance mientras que el metal fundido se introduce en el molde a través de la entrada, permitiendo así la formación de un lingote embrionario que tiene el núcleo fundido y la corteza sólida; d) chorros para dirigir un suministro de primer líquido refrigerante a la superficie exterior del lingote embrionario; e) un contacto deslizante para extraer el primer líquido refrigerante de la superficie exterior del lingote embrionario en un primer lugar a lo largo de la superficie exterior del lingote donde una sección transversal del lingote perpendicular a la dirección de avance cruza una parte del núcleo fundido; y (f) salidas para aplicar un segundo líquido refrigerante a la superficie exterior del lingote embrionario en un segundo lugar donde una sección transversal del lingote perpendicular a la dirección de avance cruza una parte del núcleo fundido, aplicando las salidas el segundo líquido refrigerante en una cantidad menor que el primer líquido refrigerante aplicado por los chorros, donde dichas salidas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante son boquillas que proyectan pulverizaciones de dicho segundo líquido refrigerante, y en el que las boquillas de pulverización están inclinadas de tal manera que las áreas de contacto de las pulverizaciones se compensan verticalmente de manera alterna.

50 Preferiblemente, dicho molde es generalmente rectangular para producir un lingote generalmente rectangular que tiene caras de laminado más anchas y caras de laminado más estrechas.

55 Preferiblemente, dichas boquillas para aplicar el segundo líquido refrigerante se sitúan adyacentes a regiones centrales de dichas caras de laminado más anchas del lingote que salen de dicho molde.

Preferiblemente, dichas boquillas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante son boquillas que proyectan pulverizaciones de dicho segundo líquido refrigerante.

60 Preferiblemente, dichas boquillas están adaptadas para producir dichos chorros que tienen una forma seleccionada del grupo que consiste en forma de V, cónica y plana.

65 Preferiblemente, dichas boquillas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante se adaptan para suministrar dicho líquido en cantidades correspondientes del 4 al 20% de las cantidades de dicho primer líquido refrigerante suministrado por dichos chorros.

Preferiblemente, las boquillas están inclinadas de manera que la distancia entre la primera ubicación y la segunda ubicación es entre 150 mm y 450 mm.

5 Preferiblemente dicho molde está conformado y dimensionado para producir lingotes rectangulares que tienen extremos más cortos de al menos 400 mm de anchura.

Preferiblemente, dicho contacto deslizante comprende material elastomérico resistente al calor conformado para unirse a y rodear dicho lingote.

10 Preferiblemente, dicho contacto deslizante comprende un chorro de fluido dirigido a retirar dicho refrigerante secundario de dicho lingote.

Preferiblemente, dicho chorro de fluido es un chorro de líquido.

15 Preferiblemente, dicho contacto deslizante y dichas boquillas de salida se sitúan de tal manera que la segunda ubicación está separada de dicha primera ubicación a lo largo de dicho lingote en dicha dirección de avance a una distancia de 150 a 450 mm.

20 Las realizaciones anteriores pueden tener el efecto de disminuir el tamaño de las partículas recristalizadas después de la laminación en caliente del lingote, y/o de disminuir la macrosegregación en comparación con un lingote producido por un método de colada *in situ* convencional.

25 A continuación, se dan a conocer realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Breve descripción de los dibujos

30 la figura 1 es una sección transversal vertical de una forma de molde de colada de enfriamiento directo que ilustra equipos para colada convencional con homogeneización *in situ*;

la figura 2 es una sección transversal similar a la de la figura 1, pero que ilustra una realización a modo de ejemplo de la presente invención;

35 la figura 3A es una sección transversal esquemática horizontal del lingote de la figura 2 debajo del contacto deslizante que muestra las boquillas y pulverizaciones utilizadas para refrigeración de lingote terciaria (templado con agua);

40 la figura 3B es una vista lateral parcial del lingote mostrado en la figura 3A que ilustra esquemáticamente las posiciones donde las pulverizaciones de refrigeración terciarios entran en contacto con la cara del lingote;

las figuras 4 a 9, 10A, 11A, 12A, 13A, 14A, 14B, 15A y 15B, son gráficos que muestran los resultados de los experimentos realizados y examinados en la sección Ejemplos de la siguiente descripción;

45 las figuras 10B, 11B, 12B y 13B son diagramas que muestran las posiciones en el lingote donde se obtuvieron las muestras utilizadas para generar los gráficos de las figuras 10A, 11A, 12A y 13A, respectivamente;

las figuras 16A, 16B, 16C, 17A, 17B, 17C, 18A, 18B, 18C, 19A, 19B y 19C son fotomicrografías de metales colados según los ejemplos; y

50 las figuras 16D, 17D, 18D y 19D son diagramas que muestran las posiciones en el lingote donde se obtuvieron las muestras respectivas para las fotomicrografías.

Descripción detallada de la invención

55 La siguiente descripción se refiere a la colada de enfriamiento directo de aleaciones de aluminio, pero solamente como ejemplo porque otras aleaciones eutécticas y peritéticas pueden presentar los problemas expuestos anteriormente cuando se someten a colada *in situ* DC.

60 Por tanto, la realización a modo de ejemplo descrita a continuación, y, de hecho, la invención en general, puede aplicarse a diversos métodos de colado de lingotes de metal, a la colada de la mayoría de las aleaciones, particularmente aleaciones de metal ligeras, y especialmente a aquellas que tienen una temperatura de transformación por encima de 425°C (797°F), y especialmente por encima de 450°C (842°F), y que se benefician de la homogeneización después de la colada y antes de la mecanización en caliente, p. ej. laminado para formar una chapa o plancha. Además de las aleaciones basadas en aluminio, ejemplos de otros metales que pueden moldearse
65 incluyen aleaciones basadas en magnesio, cobre, zinc, plomo-estaño y hierro.

La figura 1 de los dibujos adjuntos es una reproducción de la figura 1 de la patente estadounidense n.º 7.516.775 y se proporciona para ilustrar los aparatos y equipos utilizados para la homogeneización *in situ*. La figura muestra una sección transversal vertical simplificada de un fundidor DC vertical 10. Por supuesto, los expertos en la técnica se percatarán de que un lanzador de este tipo puede formar parte de un grupo más grande de fundidores que funcionan todos en la misma manera al mismo tiempo, p. ej. que forme parte de una mesa de colada múltiple.

El metal fundido 12 se introduce en un molde abierto por un extremo refrigerado por agua orientado verticalmente 14 a través de una entrada de molde 15 y sale como un lingote 16 de una salida de molde 17. La parte superior del lingote 16 donde el lingote es embrionario tiene un núcleo de metal fundido 24 que forma un foso que se estrecha hacia dentro 19 dentro de una corteza exterior sólida 26 que se engrosa a una distancia cada vez mayor de la salida del molde 17 a medida que la parte embrionaria del lingote se refrigera, hasta que se forma un lingote colado completamente sólido a una distancia determinada por debajo de la salida del molde 17. Se entenderá que el molde 14, que tiene paredes de molde refrigeradas por líquido (superficies coladas) debido a que el refrigerante líquido fluye a través de una camisa de refrigeración circundante, proporciona la refrigeración primaria inicial del metal fundido, confina y refrigera periféricamente el metal fundido para comenzar la formación del corteza sólida 26, y el metal de refrigeración se mueve hacia fuera y alejándose del molde a través de la salida del molde 17 en una dirección de avance indicada por la flecha A. Los chorros 18 de líquido refrigerante se dirigen desde la camisa de refrigeración a la superficie exterior del lingote 16 a medida que sale del molde para proporcionar refrigeración directa que engrosa la corteza 26 y mejora el procedimiento de refrigeración. El líquido refrigerante es normalmente agua, pero posiblemente puede emplearse otro líquido, p. ej. etilenglicol, para aleaciones especializadas tales como aleaciones de aluminio-litio.

Un contacto deslizante anular estacionario 20 de la misma forma que el lingote (normalmente rectangular) se proporciona en contacto con la superficie exterior del lingote distanciado a una distancia X por debajo de la salida 17 del molde y esto tiene el efecto de retirar líquido refrigerante (representado por corrientes 22) de la superficie del lingote de modo que la superficie de la parte del lingote por debajo del contacto deslizante esté libre de líquido refrigerante a medida que el lingote avanza más. Las corrientes 22 de refrigerante se muestran vertiendo desde el contacto deslizante 20, pero están separadas de la superficie del lingote 16 a una distancia tal que no proporcionan ningún efecto de refrigeración significativo.

La distancia X (entre la salida del molde y el contacto deslizante) se hace de tal manera que la retirada del líquido refrigerante del lingote se lleva a cabo donde el lingote es todavía embrionario (es decir, en una posición en la que el lingote todavía contiene el centro fundido 24 dentro del foso 19 que se encuentra dentro de la corteza sólida 26). Dicho de otra manera, el contacto deslizante 20 se sitúa en una ubicación donde una sección transversal del lingote tomada en perpendicular a la dirección de avance A cruza una parte del núcleo de metal fundido 24 del lingote embrionario. En posiciones por debajo de la superficie superior del contacto deslizante 20 (donde se retira el refrigerante), la refrigeración y la solidificación continuadas del metal fundido dentro del núcleo del lingote liberan calor latente de solidificación y calor sensible a la corteza sólida 26 que antes se había enfriado por los chorros 18. Esta transferencia de calor latente y sensible desde el núcleo hasta la corteza, en ausencia refrigeración directa (mediante líquido) forzada continuada, provoca que la temperatura de la corteza sólida 26 (por debajo de la posición en la que el contacto deslizante 20 retira el refrigerante) suba (en comparación con su temperatura inmediatamente por encima del contacto deslizante) y converja con la del núcleo fundido a una temperatura que se dispone por encima de una temperatura de transformación a la que el metal experimenta homogeneización *in situ*. Al menos en el caso de aleaciones de aluminio, la temperatura de convergencia se dispone generalmente para que esté a o por encima de 425°C (797°F), y más preferiblemente a o por encima de 450°C (842°F). Por razones prácticas en términos de medición de la temperatura, se considera que la "temperatura de convergencia" (la temperatura común alcanzada primero por el núcleo fundido y la corteza sólida) es la misma que la "temperatura de rebote", que es la temperatura máxima a la que se eleva la superficie exterior de la corteza sólida en este procedimiento después de la retirada de líquido refrigerante secundario, y es una temperatura que es mucho más fácil de monitorizar.

La temperatura de rebote se provoca preferiblemente para que ascienda todo lo posible por encima de 425°C (797°F), y generalmente cuanto mayor sea la temperatura mejor es el resultado deseado de la homogeneización *in situ*, pero la temperatura de rebote, por supuesto, no se elevará al punto de fusión incipiente del metal porque la corteza exterior refrigerada y solidificada 26 absorbe el calor del núcleo e impone un límite superior a la temperatura de rebote. Se menciona de pasada que la temperatura de rebote, siendo generalmente de al menos 425°C (797°F), normalmente estará por encima de la temperatura de recocido del metal (las temperaturas de recocido para aleaciones de aluminio se encuentran normalmente en el intervalo de 343 a 415°C (de 650 a 779°F)).

La temperatura de 425°C (797°F) es una temperatura crítica para la mayoría de las aleaciones de aluminio porque, a temperaturas más bajas, las velocidades de difusión de los elementos de metal dentro de la estructura solidificada son demasiado lentas para normalizar o igualar la composición química de la aleación a través de los granos de metal. A esta temperatura y por encima de la misma, y particularmente a y por encima de 450°C (842°F), las velocidades de difusión son adecuadamente rápidas para producir una igualación deseable que provoque la homogeneización *in situ* del metal.

De hecho, a menudo es deseable garantizar que la temperatura de convergencia alcance una temperatura mínima

determinada por encima de 425°C (797°F). Para cualquier aleación en particular, generalmente hay una temperatura de transición entre 425°C (797°F) y el punto de fusión de la aleación, por ejemplo, una temperatura de solvus o una temperatura de transformación, a y por encima de la cual se producen determinados cambios microestructurales de la aleación, p. ej. conversión de la fase β a la fase α de constituyentes o estructuras intermetálicas. Si la temperatura de convergencia se dispone para superar una temperatura de transformación de este tipo, pueden introducirse cambios de transformación deseados adicionales en la estructura de la aleación.

Los detalles completos del procedimiento y del aparato de homogeneización *in situ* pueden obtenerse, como se ha mencionado, a partir de la divulgación de la patente estadounidense n.º 7.516.775.

La figura 2 de los dibujos adjuntos ilustra una forma de aparato según una realización a modo de ejemplo de la invención. El aparato es, en parte, similar al de la figura 1 y, por lo tanto, se han identificado partes similares o idénticas con números de referencia iguales a los utilizados en la figura 1. Como en el caso de la figura 1, esta vista es una sección transversal vertical de un aparato de colada de enfriamiento directo rectangular 10 que se muestra en el procedimiento de colada de un lingote rectangular 16 que presenta caras opuestas grandes 25A (véase la figura 3A), denominado generalmente como caras de laminado, y caras de extremo opuestas estrechas 25B. La sección transversal de la figura 2 se toma a lo largo de un plano vertical central paralelo a las caras de extremo estrechas 25B del lingote y muestra un lingote embrionario que tiene un foso de metal fundido cónico 19 de metal todavía fundido 24. Una sección transversal vertical en ángulo recto con respecto a la mostrada (tomada en un plano vertical central paralelo a las caras de laminado 25A) sería similar, excepto porque, en vista de la mayor anchura del lingote en esta dirección, la parte inferior del foso sería esencialmente plana aproximadamente entre los puntos situados a un cuarto del grosor del lingote (es decir, entre los puntos ubicados en $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la distancia a través del lingote desde los extremos estrechos). Como en el caso de la figura 1, el aparato tiene un molde abierto por los extremos refrigerado por agua orientado verticalmente 14, una entrada de molde 15 y una salida de molde 17. El metal fundido se introduce en el molde a través de un canal 26 que descarga el metal a través de una bolsa de filtro de malla de metal extraíble 27 diseñada para distribuir el metal entrante en la cabeza de lingote. El metal se somete a refrigeración primaria en el molde 14 y comienza a formar una corteza sólida 26 en contacto con las paredes de molde. El lingote embrionario emerge de la salida del molde 17 donde se suministra con refrigerante líquido de chorros 18 que proporciona refrigeración de metal directa para el exterior del lingote 16. El aparato también está dotado de un contacto deslizante 20 que, como en la realización de la figura 1, rodea completamente el lingote embrionario 16 que sale de la salida del molde y sirve para limpiar el líquido refrigerante proporcionado por los chorros 18 para que el refrigerante permanezca en contacto con la superficie exterior del lingote solamente durante la distancia X por debajo de la salida del molde. En cuanto al aparato de la figura 1, el contacto deslizante 20 se ubica en una posición en el lingote en la que el lingote todavía es embrionario, es decir, en la que el lingote tiene una corteza sólida 26 que rodea a un foso 19 que contiene metal todavía fundido 24 de modo que el aparato es eficaz para provocar que el metal de la corteza se someta a homogeneización *in situ* a medida que desciende el lingote. A diferencia del aparato de la figura 1, sin embargo, el aparato de la figura 2 está dotado de un número de boquillas 28, al menos en las regiones centrales de las caras de laminado grandes 25A, que emiten pulverizaciones dirigidas hacia abajo 30 de refrigerante líquido sobre la superficie exterior previamente limpiada del lingote. Las pulverizaciones dotan al lingote de un llamado "templado", o refrigeración directa adicional del lingote. El refrigerante de las pulverizaciones 30 puede ser el mismo que el refrigerante líquido de los chorros 18 y suele ser agua. De hecho, si se desea, las pulverizaciones 30 pueden hacerse de agua refrigerante previamente retirada del lingote por el contacto deslizante 20 y redirigida a través de las boquillas 28. Las boquillas 28 están inclinadas hacia adentro y hacia abajo para que las pulverizaciones 30 entren en contacto con la superficie exterior del lingote en ubicaciones 32 que están a una distancia Y por debajo del punto donde el contacto deslizante 20 retira el refrigerante líquido de la superficie exterior del lingote (es decir, de la superficie superior del contacto deslizante 20). Las ubicaciones 32 se toman como los puntos donde las corrientes principales de las pulverizaciones 30 entran primero en contacto con la superficie exterior del lingote. A velocidades normales de colada (p. ej. de 30 a 75 mm/min (1,18-2,95 pulgadas/min), más comúnmente 40-65mm/min (1,57-2,56 pulgadas/min) y a menudo alrededor de 65mm/min (2,56 pulgadas/min), la distancia Y se encuentra preferiblemente dentro del intervalo de 150 a 450 mm (5,9-17,7 pulgadas), más preferiblemente de 250 a 350 mm (9,8 a 13,8 pulgadas), y generalmente alrededor de 300mm (11,8 pulgadas) $\pm 10\%$. Actualmente, velocidades superiores a 75 mm/min (2,95 pulgadas/min) no son comunes en la industria, pero la técnica dada a conocer en el presente documento seguiría pudiéndose aplicar con ajustes menores dados. A medida que se incrementan las velocidades de colada, la distancia Y normalmente también se hace aumentar porque se necesita una mayor distancia del contacto deslizante para permitir que la corteza de metal rebote en temperatura a partir de los efectos de la refrigeración secundaria. Generalmente, es preferible permitir que la corteza exterior rebote a una temperatura de al menos 100°C (212°F), y posiblemente de hasta unos 400°C (752°F), aunque un intervalo común es de 200 a 400°C (392 a 752°F) a lo largo de la distancia Y. Por tanto, la corteza exterior disminuye de temperatura a medida que sale de la salida del molde y se encuentra con los chorros de líquido refrigerante 18, rebota en temperatura después de que se haya retirado este líquido refrigerante por el contacto deslizante para alcanzar una primera temperatura de rebote, luego se reduce de nuevo en temperatura cuando se somete al templado proporcionado por pulverizaciones 30, y luego aumenta de nuevo en temperatura a una segunda temperatura de rebote a medida que el efecto del refrigerante de templado retrocede y predomina el calentamiento del núcleo aún fundido. Por tanto, la corteza exterior alcanza finalmente una segunda temperatura de rebote (que es un indicador del logro de una convergencia de temperaturas entre la corteza y el núcleo fundido tal como se requiere para la homogeneización *in situ*) antes de refrigerar gradualmente a temperatura ambiente (que

puede llevar varias horas o días de refrigeración al aire).

La temperatura de la superficie exterior del lingote 16 en las ubicaciones 32 es generalmente lo suficientemente alta como para provocar la ebullición nucleada, o incluso la ebullición de película, del líquido de templado y la evaporación resultante y desviación del líquido desde la superficie de metal (debido a la formación de vapor o salpicaduras) significa generalmente que la distancia a lo largo de la superficie del lingote desde las ubicaciones 32 en las que la refrigeración de templado es efectiva puede ser bastante limitada (p. ej. no más de unas pocas pulgadas).

El propósito del templado proporcionado por las pulverizaciones 30 es retirar suficiente calor del lingote que el foso fundido en la posición 19' mostrado por la línea discontinua (que es la posición en la que las paredes del foso se formarían en ausencia del templado de las pulverizaciones 30) se vuelve más superficial y forma un foso real 19 en la posición mostrada por la línea continua. Es decir, el lingote embrionario se vuelve completamente sólido en un punto más alto en el lingote cuando las pulverizaciones 30 están activas de lo que sería el caso en ausencia de tal refrigeración. Como se muestra por las flechas B, el calor se retira del interior del lingote por el refrigerante de las pulverizaciones 30 y esto tiene el efecto de elevar el foso tal como se representa por las flechas C. De este modo, puede ser posible elevar el foso de 100 a 300 mm, o más generalmente de 150 a 200 mm, dependiendo del tamaño del lingote y otras variables. Como se puede ver en la figura 2, el resultado de la refrigeración terciaria es un foso 19 menos profundo con una pared que tiene un ángulo más pequeño con relación a la horizontal que el ángulo de la pared formado en ausencia de refrigeración terciaria 19'. Otro resultado no visible en la figura 2 es la formación de una zona pastosa más delgada como resultado de la refrigeración adicional de las pulverizaciones 30. Estos dos efectos combinados pueden reducir la macrosegregación realizada en el lingote completamente solidificado debido a la contracción de la solidificación, convección termosolutal y granos flotantes.

Como se ha señalado, el líquido refrigerante de templado (pulverizaciones 30) se aplica primero en un lugar del lingote donde, de no ser por efecto la refrigeración terciaria, el lingote seguiría siendo embrionario, es decir, una posición en la que el núcleo adyacente seguiría fundiéndose. La refrigeración de templado en sí misma disminuye la profundidad del foso, pero no tanto como para que el lingote se vuelva completamente sólido en este lugar. Es decir, después del templado, el lingote todavía tiene un núcleo líquido que provoca que la temperatura de la corteza exterior rebote después de la refrigeración. De hecho, las pulverizaciones de refrigerante terciario 30 se aplican preferiblemente en un lugar correspondiente a aproximadamente la mitad, o un poco menos, de la profundidad del foso de refrigeración previa al templado (profundidad del metal fundido en el centro del foso), y más preferiblemente no más de tres cuartas partes de la profundidad del foso de refrigeración previa al templado. Si bien la refrigeración de templado es suficiente para disminuir la profundidad del foso, no debe ser tan grande como para interferir con la homogeneización *in situ* deseada que se produce después del enfriamiento. Es decir, el metal sólido del lingote todavía debe experimentar una temperatura de rebote (segunda temperatura de rebote) por encima de la temperatura de transición del metal (p. ej. por encima de 425°C (797°F)) durante un tiempo adecuado (normalmente al menos 10 minutos y más preferiblemente 30 minutos o más) para lograr una transformación deseada de la estructura de metal. Mientras que el templado reduce temporalmente la temperatura de la corteza de metal sólida exterior desde una primera temperatura de rebote, su corta duración y efecto limitado permite un segundo rebote de temperatura superficial adecuado una vez que el refrigerante de templado se ha disipado. La corta duración y el efecto limitado del efecto de templado se debe en parte a la ebullición nucleada o de película que tiene lugar (que provoca que el refrigerante se evapore y/o se eleve de la superficie), pero también se debe al uso de una relación de volumen reducida de líquido refrigerante (por unidad de tiempo y unidad de distancia a través de la periferia del lingote) en comparación con el volumen (por unidad de tiempo y unidad de distancia) aplicado por chorros 18 para la refrigeración directa inicial. El volumen de líquido refrigerante empleado para la refrigeración de templado se encuentra preferiblemente dentro de un intervalo del 2 al 25% del empleado para la refrigeración directa inicial, y más preferiblemente dentro del intervalo del 4 al 15%. Si se encuentra la ebullición de película, puede requerirse una mayor tasa de flujo para compensar la falta de contacto con la superficie con el fin de proporcionar el grado deseado de refrigeración de templado. Generalmente, el refrigerante utilizado para la refrigeración directa inicial puede aplicarse en un intervalo de 0,60 a 1,79 litros por minuto por centímetro alrededor de la circunferencia del lingote (lpm/cm) (de 0,40 a 1,2 galones estadounidenses por minuto por pulgada lineal en la circunferencia del lingote (gpm/pulgada)), y es más preferiblemente de 0,67 a 1,49 lpm (de 0,45 a 1,00 gpm/pulgada). Después, el refrigerante utilizado para refrigeración de templado se puede aplicar mediante pulverizaciones 30 a una velocidad en un intervalo de preferiblemente de 0,042 a 0,140 lpm/cm (de 0,028 a 0,094 gpm/pulgada), y más preferiblemente de 0,057 a 0,098 lpm/cm (0,038 a 0,066 gpm/pulgada).

Como puede apreciarse mejor a partir de las figuras 3A y 3B, el refrigerante para el templado se aplica preferiblemente en forma de pulverizaciones 30 que se encuentran en forma de V (aumentando en anchura con la distancia de la boquilla) con un flujo de refrigerante bastante bajo que puede resultar en la formación de gotículas antes de que las pulverizaciones lleguen a la superficie del lingote. Alternativamente, las pulverizaciones 30 pueden ser cónicas (circulares en sección transversal) o esencialmente lineales (rayas horizontales delgadas alargadas), o incluso cualquier forma que produzca una distribución uniforme del refrigerante a través de la superficie del lingote sin provocar patrones desiguales de flujo de refrigerante. Las pulverizaciones generalmente se superponen en los bordes extremos, pero no tanto como para que las zonas de refrigeración irregulares se produzcan a través de la superficie de la superficie del lingote. De hecho, en una realización, las boquillas de pulverización pueden estar

inclinadas de tal manera que las áreas de contacto de las pulverizaciones 30 estén compensadas verticalmente de manera alterna, p. ej. como se muestra en la figura 3B. Esta figura muestra las tres pulverizaciones de la figura 3A compensadas verticalmente por una distancia Z que es generalmente una pulgada (2,54 cm) o menos. Si bien no hay superposición directa de las áreas de contacto iniciales de las pulverizaciones 30 debido al espaciado vertical, las áreas de contacto iniciales tienen un ligero solapamiento considerado en la dirección horizontal de modo que no hay espacio en la refrigeración de la cara del lingote a medida que el lingote avanza hacia abajo más allá de las boquillas 28, pero la falta de superposición directa impide la interacción entre las pulverizaciones que puede provocar patrones de flujo de agua inusuales y, en consecuencia, refrigeración inusual. La distancia Y (distancia entre la extracción del refrigerante secundario y el contacto con las pulverizaciones 30) se basa en la posición vertical media de las áreas de contacto de las pulverizaciones, como se muestra en la figura 3A y varía según el tamaño del lingote según y las condiciones de colada (p. ej. velocidad de colada) como se ha mencionado anteriormente.

Generalmente es suficiente aplicar el refrigerante de templado de manera continua sobre la anchura media de las caras de laminado más grandes del lingote rectangular, de modo que no haya necesidad de aplicar el refrigerante de templado a las caras de borde estrechas 25B o a las regiones de esquina de las caras de laminado grandes 25A. Idealmente, la refrigeración de templado se aplica a una región directamente adyacente al foso fundido dentro del núcleo del lingote embrionario para provocar la elevación deseada del foso. El número de boquillas 28 requerido para lograr la región deseada de aplicación dependerá del tamaño del lingote y las condiciones de colada, la distancia entre las boquillas y la superficie del lingote y la propagación de las pulverizaciones 30. Normalmente, sin embargo, puede ser suficiente proporcionar solamente tres o cuatro boquillas de templado para cada cara de laminado larga del lingote. La aplicación del refrigerante de templado puede reducir la temperatura superficial de la superficie del lingote en 200°C (392°F) o más, p. ej. 200-250°C (392-482°F) o incluso hasta 400°C (752°F), pero después de que el efecto de refrigeración se disipe, la temperatura sube de nuevo por encima de una temperatura de transformación, p. ej. por encima de 425°C (797°F) y posiblemente hasta de 500°C a 560°C (932 a 1040°F) en puntos por debajo de los lugares de contacto 32 de las pulverizaciones 30. La temperatura superficial puede entonces permanecer por encima de la temperatura de transformación durante un período de al menos 10 minutos, y normalmente más largo, p. ej. 30 minutos o más, para permitir que tenga lugar la homogeneización *in situ*. Durante este tiempo, y hasta que el lingote alcance la temperatura ambiente, se puede dejar refrigerar lentamente en contacto con el aire. Mientras que el aparato de la figura 2 emplea un contacto deslizante físico 20 realizado, por ejemplo, en un material elastomérico resistente al calor, puede ser ventajoso utilizar un fluido en lugar de retirar el líquido refrigerante de chorros 18 de la superficie del lingote a la distancia deseada X del molde. Por ejemplo, es posible utilizar chorros de agua para retirar el líquido refrigerante, como se da a conocer en la publicación de patente estadounidense n.º 2009/0301683 de Reeves *et al.* También es posible ajustar la posición vertical del contacto deslizante 20 en diferentes etapas del funcionamiento de la colada (como se dan a conocer en la patente estadounidense n.º 7.516.775) para variar la distancia X, en cuyo caso las posiciones verticales de las boquillas 28 pueden ajustarse en una cantidad similar para mantener una distancia deseada Y. Aunque las realizaciones a modo de ejemplo pueden ser adecuadas para lingotes de cualquier tamaño, son particularmente efectivas cuando se aplican a lingotes grandes donde la profundidad del foso tiende a ser grande y los efectos perjudiciales, p. ej. la formación de gránulos grandes y macrosegregación, son más pronunciados. Por ejemplo, las realizaciones son especialmente adecuadas para lingotes rectangulares que tienen un tamaño de 400 mm o mayor en la cara lateral más corta.

A continuación, se describen ejemplos específicos de la invención con el fin de proporcionar comprensión adicional. Estos ejemplos no deben considerarse como limitantes del alcance de la presente invención, ya que se proporcionan únicamente con fines ilustrativos.

Ejemplos

Se realizaron fundiciones experimentales de lingote para investigar los efectos de la colada de enfriamiento directo con homogeneización *in situ* con y sin templado (refrigeración terciaria) para investigar los efectos de las realizaciones a modo de ejemplo de la invención. Los resultados obtenidos se ilustran en las figuras 4 a 19 de los dibujos adjuntos.

En primer lugar, se expone una breve descripción de cada muestra a continuación. Estas muestras se enumeran en orden cronológico y no en el orden en que aparecen más adelante.

La muestra 1 es una muestra de prueba moldeada en un centro de producción sobre un molde de 600 x 1850 mm (23,6 x 72,8 pulgadas) con una velocidad de fundición de 68 mm/min (2,68 pulgadas/min). Esta colada utilizó la práctica normal de colada DC.

La muestra 2 procede del mismo molde que la muestra 1, pero de un lingote diferente que se sometió al método de homogeneización *in situ*. Esto dio como resultado una temperatura máxima de rebote de 550°C (1022°F). La muestra 2 se refiere a una lámina cortada de este lingote, con múltiples puntos de interés examinados a través de la anchura y el grosor de la lámina.

Las muestras 3A y 3B se colaron en un centro de investigación sobre un molde de 560 x 1350 mm (22 x 53,1 pulgadas). Si bien este es un molde más pequeño, los anchos de lingote son similares (600 frente a 560), que es la cuestión importante. La velocidad de colada fue similar a la de la producción del lingote, a 65 mm/min (2,56 pulgadas/min). La muestra 3A se tomó con una longitud de colada de 700 mm (27,6 pulgadas). Se sometió a una homogeneización *in situ* normal en un intento de reproducir la misma estructura que se encontró en la muestra 2. La muestra 3B se tomó a 1900 mm (74,8 pulgadas) de longitud de colada y fue sometida a refrigeración terciaria.

Las muestras 4A y 4B provienen de un molde de 560 x 1350 mm (22 x 53,1 pulgadas) con homogeneización *in situ* y refrigeración terciaria. Estas muestras son de 1200 mm (47,2 pulgadas) y 1900 mm (74,8 pulgadas) de longitud de colada, respectivamente.

Las muestras 5A y 5B son también de un molde de 560 x 1350 mm (22 x 53,1 pulgadas). Se realizaron pequeños ajustes al contacto deslizante de homogeneización *in situ* y a la configuración de la refrigeración terciaria respecto a la muestra 4. La muestra 5A es de 1000 mm (39,4 pulgadas) de longitud de colada y la muestra 5B es de 1900 mm (74,8 pulgadas) de longitud de colada.

La muestra 6 proviene de un molde de 560 x 1350 mm (22 x 53,1 pulgadas) con ajustes al contacto deslizante de homogeneización *in situ* y la refrigeración terciaria. Esta muestra en particular se tomó de un punto de la superficie que se encontró que tenía una macrosegregación muy alta para el análisis de los constituyentes gruesos.

La figura 4 muestra los resultados de un funcionamiento de colada DC que comenzó simplemente con la aplicación y posterior frotamiento con contacto deslizante del refrigerante secundario, pero en el que también se aplicó parcialmente refrigeración terciaria (templado) a través del funcionamiento de la colada. Se incrustaron termopares en el lingote embrionario en varios puntos a lo largo de la sección transversal (en la superficie, el cuarto y el centro) y se movieron hacia abajo a medida que el lingote avanzaba desde el molde, notificando las temperaturas detectadas a medida que lo hacían. La figura muestra las temperaturas registradas contra el tiempo desde el inicio de la colada. Como se ha señalado, la colada comenzó sin refrigeración terciaria y la refrigeración terciaria se activó en el momento indicado por la línea A. La línea B indica cuándo alcanzó el lingote una longitud de 700 mm (27,5 pulgadas) y la línea C indica cuándo el lingote alcanzó una longitud de 1900 mm (74,8 pulgadas). La figura también muestra mediante la línea D la profundidad medida del foso frente al tiempo de colada. Se utilizaron dos conjuntos de termopares incrustados, el segundo se incrustó tras la activación del agua de refrigeración terciaria. Las líneas E, F y G muestran las temperaturas detectadas por los termopares de superficie inicial, cuarto y centro, respectivamente, y las líneas H, I y J muestran las temperaturas detectadas por los termopares de segunda superficie, cuarto y centro. Las muestras 3A y 3B se tomaron de esta colada.

La primera mitad del gráfico muestra la temperatura superficial (línea E) que cae inicialmente cuando se encuentra con el agua de refrigeración secundaria, pero que rebota a 550+°C (1022+°F) después del "frotamiento con contacto deslizante" y se acerca a la temperatura del metal fundido en el centro (línea G). La segunda mitad del gráfico muestra una caída de temperatura y rebote (a 500+°C (1022+°F)) similar en la temperatura superficial después de refrigeración secundaria y frotamiento con contacto deslizante (línea H), y una disminución adicional de la temperatura cuando se encuentra con agua de refrigeración terciaria. En este caso, la temperatura superficial después de la refrigeración terciaria no rebotó lo suficiente porque la temperatura se mantuvo por debajo de 400°C (752°F), es decir, no lo suficientemente caliente como para modificar correctamente las características de la estructura de colado. Se consideró que en este caso se empleaba demasiada refrigeración terciaria.

El gráfico muestra que la profundidad del foso medida alcanzó unos 1050 mm antes de que se activara la refrigeración terciaria. La figura 5 es un gráfico similar a la figura 4, pero mostrando una colada DC tanto con frotamiento con contacto deslizante de agua de refrigeración secundaria como con posterior aplicación de agua de refrigeración terciaria (templado) a lo largo de la misma. La profundidad del foso se indica mediante la línea D. Las líneas E, F y G representan las temperaturas detectadas por un primer conjunto de termopares de superficie, cuarto y centro, respectivamente, y las líneas H, I y J representan las temperaturas detectadas por un segundo conjunto de termopares de superficie, cuarto y centro, respectivamente. La línea B representa la longitud de la colada frente al tiempo. Las trazas de superficie, cuarto y centro convergen a 550°C (1022°F) después del templado, lo que es efectivo para la homogeneización *in situ*. La línea H muestra que la superficie del lingote, después de la refrigeración secundaria, rebotó a una temperatura de aproximadamente 460°C (primer rebote) antes de encontrarse con la refrigeración terciaria (templado). Además, la línea D indica que el foso medido se encuentra en el intervalo de 900 mm (35,4 pulgadas), intervalo que es 150 mm (5,9 pulgadas) menos profundo que el caso sin la refrigeración terciaria. La muestra 4 se tomó de esta colada. Las figuras 6 a 9 muestran la macrosegregación de lingotes emitidos por la técnica *in situ* con y sin refrigeración terciaria (templado). Estas mediciones y gráficos se hicieron originalmente en pulgadas, por lo que las unidades se expondrán como tales cuando corresponda. Los lingotes se moldearon de la misma aleación de aluminio (8135, que es una variante ligeramente más aleada de la aleación comercial AA3104 y se le denominará a continuación en el presente documento como 3104) que contenía Fe y Mg. Se tomaron muestras de los lingotes en puntos que oscilan desde la superficie hasta el centro, y se determinaron las diferencias de contenido de Fe y Mg con respecto al estándar (contenido de los elementos en aleación fundida antes de la solidificación). Las coordenadas muestran las diferencias de porcentaje de peso con respecto al estándar en los distintos puntos. Una línea plana en "O" no mostraría desviación de la composición del estándar a través del

lingote. La abscisa muestra la distancia, en pulgadas, de la superficie del lingote donde se tomaron las muestras. En el caso de la figura 6, muestra 2, el lingote se coló sin refrigeración terciaria (templado). El lingote tenía 23-24 pulgadas (1 pulgada equivale a 2,54 cm) de ancho, por lo que la muestra de 12 pulgadas estaba en o cerca del centro del lingote. El gráfico muestra un aumento de Fe y Mg entre 5 y 8 pulgadas de la superficie y luego un agotamiento de estos elementos más lejos hacia el centro.

La figura 7, que es la muestra 3A, muestra la variación de Fe y Mg desde la superficie hasta el centro de un lingote de 22 pulgadas de grosor colado sin refrigeración terciaria (es decir, con refrigeración secundaria seguida de frotamiento con contacto deslizante). Se tomó una muestra de metal fundido del foso para actuar como estándar. Teniendo en cuenta el contenido de Fe, la muestra a aproximadamente 8 pulgadas de la superficie se enriqueció con Fe en un +17,4% y la muestra del centro se agotó en Fe en un -20,8%.

Las figuras 8 y 9 muestran resultados de las muestras 4A y 4B, respectivamente. En la figura 8, la desviación máxima para Fe se produjo a 7 pulgadas de la superficie con un porcentaje enriquecido de +12,2%, pero la muestra en el centro tuvo un valor agotado de -11,9%. En la figura 9, para Fe, la desviación a 7 pulgadas fue +10,9% y en el centro fue -17,7%. Esto demuestra que para la homogeneización *in situ* sin refrigeración terciaria (templado) de la figura 6, la desviación en la macrosegregación de Fe fue de 38,2%, mientras que para la *in situ* con templado de las figuras 8 y 9, la desviación fue menos del 24% a 1200 mm y menos del 28,6% a 1900 mm.

El gráfico de la figura 10A muestra, para varias piezas moldeadas de aleación 3104 (muestras 1, 2, 3B, 4B, 5A, 5B y 6), los diámetros de las partículas observadas en mm en la abscisa y el número de partículas de ese tamaño o mayor en la ordenada, con la ordenada representada en el gráfico logarítmicamente para producir una línea recta. La figura 10B muestra la posición en los lingotes donde se tomaron las muestras (es decir, grosor central - anchura de cuarto o QC). Se realizaron cuatro coladas con homogeneización *in situ* y templado, y estas son las muestras 3B, 5A, 5B y 6. También se suministraron datos de coladas producidas solo por colada DC (identificada como muestra 1), y colada DC con refrigeración secundaria y frotamiento con contacto deslizante solo (muestra 2). Los datos mostraron que el material templado tenía un mayor número total de partículas. Una pendiente descendente más pronunciada es más deseable, lo que indica que más de las partículas son de un tamaño menor, y los gráficos muestran que el lingote del que se tomaron las muestras 5A y 5B tenía una pendiente más pronunciada. Las profundidades de foso de las piezas fundidas se muestran en la tabla 1 a continuación, y las pendientes de las curvas se muestran en la tabla 2.

Tabla 1

Colada	Longitud de colada	Profundidad de foso
Muestra 3B	1900 mm	1067 mm
Muestra 5A	1000 mm	806 mm
Muestra 5B	1900 mm	946 mm
Muestra 6	2000 mm	1000 mm

Tabla 2

Colada	QC	CQ	QQ	CC
Muestra 1	-0,142	N/A	N/A	N/A
Muestra 2	-0,191	N/A	N/A	N/A
Muestra 3B	-0,180	N/A	N/A	N/A
Muestra 5A	-0,135	N/A	N/A	N/A
Muestra 5B	-0,261	N/A	N/A	N/A
Muestra 6	-0,137	N/A	N/A	N/A

Dado que el gráfico es logarítmico, se utilizó una línea de ajuste mejor que utiliza una ecuación exponencial para determinar la pendiente. (La energía en la función exponencial define la pendiente). Debido a los efectos de la macrosegregación, los puntos de datos representados en el gráfico no son lineales en el gráfico logarítmico. Dado que el propósito es observar los efectos sobre la microsegregación, se ignoraron los puntos no lineales y se aplicó una línea solamente a la sección recta de los datos.

También se analizaron el lingote DC (Muestra 1) y los lingotes 3104 (Muestra 2) *in situ* solos. La muestra 1 tuvo un exponente de -0,261, que es mayor que cualquiera de los lingotes de prueba *in situ* más templado. Sin embargo, la muestra 2 tuvo un valor de -0,137. Si se observan la muestra 1 y la muestra 2 como el mejor y el peor resultado de caso, puede verse que las muestras 4 y 5 se están moviendo en la dirección deseada.

En otra ocasión, el contacto deslizante de refrigeración secundaria se elevó por encima de una pulgada más alto para mejorar la temperatura de rebote, y las boquillas de templado se elevaron 100 mm para reducir el primer rebote y aumentar el efecto de compresión en el lingote debido a la contracción térmica. Al comprimir el lingote de esta manera se invirtió la mecánica que causa la contracción de la solidificación, reduciendo de ese modo la

macrosegregación. El análisis de esta localización mostró una ligera disminución en el tamaño de constituyente grueso. Para la colada que hizo las muestras 5A y 5B, el contacto deslizante estaba situado a 50 mm (2 pulgadas) por debajo del molde, las barras de templado estaban a 300 mm (11,8 pulgadas) por debajo de la cabeza, y se unió al imán (desde fuera del molde) después de 1500 mm (59,0 pulgadas) de longitud de colada. El primer punto de datos a 1000 mm (39,4 pulgadas) muestra una buena mejora cambiando el exponente a -0,191. El segundo punto de datos a 1900 mm (74,8 pulgadas) es -0,180.

La figura 11A muestra los resultados de las muestras de las mismas coladas, excepto porque se tomaron las muestras en el punto indicado en la figura 11B (anchura central de cuarto de grosor o QC). También hay una muestra adicional desde el punto de mayor macrosegregación en la muestra 2, denominada muestra 2-a. Las partículas intermetálicas eran mucho más grandes en este lingote que en cualquiera de los lingotes de prueba con templado. Ese lingote tenía un exponente negativo de 0,108. Las profundidades de foso de las coladas fueron, naturalmente, como se muestra en la Tabla 1, y las pendientes de las curvas se muestran en la Tabla 4 (junto con los datos anteriores).

Tabla 3

Colada	QC	CQ	QQ	CC
Muestra 1	-0,142	-0,161	N/A	N/A
Muestra 2	-0,191	-0,296	N/A	N/A
Muestra 3B	-0,180	-0,237	N/A	N/A
Muestra 5A	-0,135	-0,184	N/A	N/A
Muestra 5B	-0,261	-0,232	N/A	N/A
Muestra 6	-0,137	-0,144	N/A	N/A

La muestra 3B muestra un exponente negativo de 0,161. Los cambios para la muestra 2 mejoraron además el exponente, rindiendo -0,296 para la lámina a 1000 mm.

La muestra 2 es de nuevo el peor escenario, con -0,144 en la posición CQ. Sin embargo, el valor DC de -0,232 es en realidad menor que el resultado de la prueba de abril, -0,237 y -0,296.

La figura 12A muestra los resultados de las muestras tomadas de la ubicación de anchura de cuarto y grosor de cuarto (QQ) como se muestra en la figura 12B. Los datos de exponente para la muestra 5A rindieron -0,232. La muestra 2 es -0,135 y la muestra 1 es -0,262. Esta vez, los datos de muestra de producción se incluyen entre el resto de los resultados. Los datos de muestra 4 y 5 seguían siendo una mejora con respecto a la producción y los resultados iniciales de las pruebas, y se acercaban al valor objetivo DC (Muestra 1).

Las pendientes de la figura 12A se muestran a continuación en la tabla 4.

Tabla 4

Colada	QC	CQ	QQ	CC
Muestra 1	-0,142	-0,161	-0,161	N/A
Muestra 2	-0,191	-0,296	-0,232	N/A
Muestra 3B	-0,180	-0,237	-0,214	N/A
Muestra 5A	-0,135	-0,184	-0,170	N/A
Muestra 5B	-0,261	-0,232	-0,262	N/A
Muestra 6	-0,137	-0,144	-0,135	N/A

La figura 13A muestra los resultados de las muestras tomadas desde la posición de anchura central y grosor central (CC). La posición CC es el último metal líquido en solidificar. Como tal, suele ser el más concentrado y tiene más intermetálicos grandes que otras posiciones. También es la posición más difícil de afectar y la más difícil de recristalizar durante el laminado. Las pendientes se muestran a continuación en la tabla 5.

Tabla 5

Colada	QC	CQ	QQ	CC
Muestra 1	-0,142	-0,161	-0,161	-0,145
Muestra 2	-0,191	-0,296	-0,232	-0,163
Muestra 3B	-0,180	-0,237	-0,214	-0,134
Muestra 5A	-0,135	-0,184	-0,170	-0,137
Muestra 5B	-0,261	-0,232	-0,262	-0,196
Muestra 6	-0,137	-0,144	-0,135	-0,154

La pendiente de la línea de mejor ajuste para estas muestras es casi siempre más plana que en las otras posiciones

de la muestra. Mirando los puntos de datos a la izquierda de la abscisa, puede verse que existen menos partículas pequeñas en esta área que en cualquiera de las otras ubicaciones. Menos partículas pequeñas y más partículas grandes indican que las pequeñas tuvieron tiempo de crecer mientras que el resto del lingote se solidificaba. Las partículas más grandes pueden romperse durante el laminado, o pueden permanecer grandes y provocar problemas para el producto final. En cualquier caso, las partículas grandes no serán de tanta ayuda para la nucleación de nuevos granos como las partículas pequeñas.

Dicho esto, las muestras 1 y 2 tuvieron exponentes de -0,196 y -0,154, respectivamente. El mejor lingote que implicaba homogeneización *in situ* con templado tuvo una pendiente de -0,163.

Las figuras 14A y 14B son gráficas de microsegregación que comparan las concentraciones de elementos porcentuales para muestras tratadas de manera diferente. La figura 14A compara la microsegregación en una estructura de colada de enfriamiento directo normal como estructura de colada con una muestra como colada *in situ*. El coeficiente de partición efectivo es de 0,73 para el lingote DC (línea A), comparado con un máximo teórico de 0,51. Este es el coeficiente de partición de base utilizado para la comparación con el caso *in situ* de 0,87 (línea B, figura 14B muestra una muestra DC después de un precalentamiento simulado según el ciclo de precalentamiento AluNorf de 600°C/500°C (1112/932°F) con un coeficiente de partición efectivo de 0,89 (línea C), mucho más cercano a un nivel de equilibrio teórico de 1,0. La muestra *in situ*, después de un breve calentamiento para un ciclo de laminado de hasta 500°C (932°F) (línea D), rindió un coeficiente de partición de 0,90, o básicamente el mismo grado exacto de microsegregación que mostró la colada DC y la muestra precalentada (durante un tiempo más largo a temperatura más alta).

Las figuras 15A y 15B son gráficos similares para muestras de posición CC, o anchura central y grosor central. Los datos no se tomaron en este punto para las muestras 1 o 2, pero fue posible hacer una comparación entre las muestras 3, 4 y 5. Las muestras 4 y 5 mostraron una buena mejora con respecto a los resultados anteriores de la muestra 3, solamente con cambios menores en el procedimiento *in situ* y de templado.

Los datos se muestran a continuación en la tabla 6.

Tabla 6

	Muestra 2	Muestra 4A	Muestra 4B
QC	0,79		0,82
CQ	0,78	0,83	0,85
CC		0,79	0,84

Las figuras 16A, 16B y 16C son micrografías tomadas con el mismo aumento de las muestras 1, 2 y 6. La figura 16D muestra la posición en el lingote del que se tomaron las muestras (la posición CC). Se muestran micrografías similares en las figuras 17A, 17B y 17C, y en las figuras 18A, 18B y 18C, y en las figuras 19A, 19B y 19C para muestras tomadas, respectivamente, de las posiciones mostradas en las figuras 17D, 18D y 19D (las posiciones CQ, QQ y QC, respectivamente).

Estas imágenes muestran que el lingote *in situ* normal (las figuras con un subíndice B) tiende a tener constituyentes gruesos más grandes que el lingote DC (las figuras con el subíndice A). Los gráficos logarítmicos anteriores mostraron que los lingotes producidos por *in situ* con templado (ISQ) tenían constituyentes gruesos tan grandes o más grandes que los lingotes *in situ* (IS) o a lo largo (DC) de enfriamiento directo. Sin embargo, las micrografías muestran que los componentes de los lingotes *in situ* con templado (ISQ) tienen una forma física que los hace propensos a romperse durante el laminado, proporcionando componentes gruesos pequeños adicionales para que los granos pequeños se nucleen.

Según otros aspectos de la invención, se proporcionan los siguientes puntos:

1. Método para colar un lingote de metal, que comprende las etapas de:
 - (a) suministrar metal fundido de al menos una fuente a una región donde el metal fundido está confinado periféricamente y formar un lingote embrionario que tiene una corteza sólida externa y un núcleo fundido interno;
 - (b) avanzar el lingote embrionario en una dirección de avance alejándose de la región donde el metal fundido está confinado periféricamente mientras que se suministra metal fundido adicional a dicha región, extendiendo así el núcleo fundido contenido dentro de la corteza sólida más allá de dicha región;
 - (c) proporcionar refrigeración directa al lingote embrionario dirigiendo un suministro de un primer líquido refrigerante en una primera cantidad sobre una superficie exterior del lingote embrionario que sale de dicha región en la que el metal está confinado periféricamente;

- 5 (d) retirar el primer líquido refrigerante de la superficie exterior del lingote embrionario en una primera ubicación a lo largo de la superficie exterior del lingote donde una sección transversal del lingote perpendicular a la dirección de avance cruza una parte de dicho núcleo fundido de manera que el calor interno del núcleo fundido recalienta la corteza sólida adyacente al núcleo fundido después de retirar dicho primer refrigerante; y
- 10 (e) proporcionar además refrigeración directa a dicha superficie exterior del lingote embrionario después de dicha retirada de dicho primer líquido refrigerante líquido aplicando un segundo líquido refrigerante a dicha superficie exterior en una segunda ubicación, más adelante a lo largo del lingote desde la primera ubicación en dicha dirección de avance, donde una sección transversal del lingote perpendicular a la dirección de avance cruza una parte de dicho núcleo fundido, aplicándose dicho segundo líquido refrigerante en una segunda cantidad que es menor que dicha primera cantidad de dicho primer líquido refrigerante, y que es eficaz para templar dicho lingote embrionario sin impedir que dichas temperaturas de dicho núcleo y corteza se aproximen posteriormente a una temperatura de convergencia de 425°C (797°F) o superior durante un período de tiempo de al menos 10 minutos después de dicho templado.
- 20 2. Método según el punto 1, en el que dicha segunda ubicación está separada de dicha primera ubicación a lo largo de dicho lingote en dicha dirección de avance a una distancia efectiva para permitir que el calor de dicho núcleo fundido recaliente dicha corteza sólida a al menos 100°C (212°F) por encima de una temperatura del mismo inmediatamente después de la retirada del primer líquido refrigerante.
- 25 3. Método según el punto 1, en el que dicha segunda ubicación está separada de dicha primera ubicación a lo largo de dicho lingote en dicha dirección de avance a una distancia efectiva para permitir que el calor de dicho núcleo fundido recaliente dicha corteza sólida a 200-400°C (392-752°F) por encima de una temperatura del mismo inmediatamente después de la retirada del primer líquido refrigerante.
- 30 4. Método según el punto 1, en el que dicha segunda ubicación está separada de dicha primera ubicación a lo largo de dicho lingote en dicha dirección de avance a una distancia en un intervalo de 150 a 450 mm.
- 35 5. Método según el punto 1, en el que dicha segunda ubicación se encuentra en una posición a lo largo de dicho lingote donde la temperatura de la corteza sólida es tal que provoca ebullición nucleada o ebullición de película de dicho segundo líquido refrigerante.
- 40 6. Método según cualquiera de los puntos 1 a 5, en el que dicho segundo líquido refrigerante se aplica en una cantidad que se encuentra en un intervalo de 2 a 25% de la cantidad del primer líquido refrigerante aplicado en dicha primera ubicación.
- 45 7. Método según cualquiera de los puntos 1 a 6, donde dicho molde es generalmente rectangular produciendo dicho lingote que tiene caras de laminado más anchas y caras de extremo más estrechas.
8. Método según el punto 7, en el que dichas caras de extremo más estrechas tienen una anchura de 400mm o más.
- 50 9. Método según el punto 7 o el punto 8, en el que dicha refrigeración adicional de dicho lingote se limita a las regiones centrales de dichas caras de laminado más anchas.
10. Método según cualquiera de los puntos 1 a 9, en el que dicho segundo líquido refrigerante se aplica desde boquillas que producen pulverizaciones de refrigerante.
- 55 11. Método según el punto 10, en el que dichas boquillas producen pulverizaciones que tienen una forma seleccionada de entre forma en V, cónica y plana.
- 60 12. Método según cualquiera de los puntos 1 a 11, en el que dicha aplicación de dicho segundo líquido refrigerante reduce la temperatura de dicha corteza sólida en una cantidad de al menos 200°C (392°F).
13. Método según cualquiera de los puntos 1 a 12, en el que dicho segundo líquido refrigerante comprende refrigerante previamente utilizado una parte de dicho primer líquido refrigerante.
- 65 14. Método según cualquiera de los puntos 1 a 13, en el que dicho metal es una aleación de aluminio.
15. Método según cualquiera de los puntos del 1 a 14, en el que se aplica refrigeración primaria a dicho metal fundido en dicha región donde dicho metal fundido está confinado periféricamente.
16. Método según el punto 15, en el que dicha refrigeración primaria aplicada en dicha región donde dicho

metal fundido está confinado periféricamente se aplica a través de una pared de confinamiento de un molde de colada que se refrigera activamente provocando que un refrigerante fluya a través de una cámara que rodea dicha pared de confinamiento.

- 5 17. Aparato para colar un lingote de metal, que comprende:
- 10 (a) un molde de colada de enfriamiento directo abierto por los extremos que tiene una región donde el metal fundido suministrado al molde a través de una entrada de molde está confinado periféricamente por paredes de molde, proporcionando así metal fundido suministrado al molde con una parte periférica, y una salida de molde que recibe un bloque de fondo móvil;
- 15 (b) una cámara que rodea las paredes de molde para contener un refrigerante primario para refrigerar las paredes de molde y así refrigerar dicha parte periférica del metal para formar un lingote embrionario que tiene una corteza sólida externa y un núcleo fundido interno;
- 20 (c) un soporte móvil para que el bloque de fondo permita que el bloque de fondo avance alejándose de la salida de molde en una dirección de avance mientras que se introduce metal fundido en el molde a través de dicha entrada, habilitando de este modo la formación de un lingote embrionario que tiene dichos núcleo fundido y corteza sólida;
- 25 (d) chorros para dirigir un suministro de un primer líquido refrigerante sobre dicha superficie exterior de dicho lingote embrionario;
- 30 (e) un contacto deslizante para retirar el primer líquido refrigerante de la superficie exterior del lingote embrionario en una primera ubicación a lo largo de la superficie exterior del lingote donde una sección transversal del lingote perpendicular a la dirección de avance cruza una parte de dicho núcleo fundido; y
- 35 (f) salidas para aplicar un segundo líquido refrigerante a dicha superficie exterior de dicho lingote embrionario en una segunda ubicación donde una sección transversal del lingote perpendicular a la dirección de avance cruza una parte de dicho núcleo fundido, estando adaptadas dichas salidas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante en una cantidad menor que dicho primer líquido refrigerante aplicado por dichos chorros.
- 35 18. Aparato según el punto 17, donde dicho molde es generalmente rectangular para producir un lingote generalmente rectangular que tiene caras de laminado más anchas y caras de borde más estrechas.
- 40 19. Aparato según el punto 18, en el que dichas salidas para la aplicación del segundo líquido refrigerante se sitúan de manera adyacente a las regiones centrales de dichas caras de laminado más anchas del lingote que salen de dicho molde.
- 45 20. Aparato según los puntos 17, 18 o 19, en el que dichas salidas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante son boquillas que proyectan pulverizaciones de dicho segundo líquido refrigerante.
- 50 21. Aparato según el punto 20, en el que dichas boquillas están adaptadas para producir dichos chorros que tienen una forma seleccionada del grupo que consiste en forma de V, cónica y plana.
- 55 22. Aparato según cualquiera de los puntos 17 a 21, en el que dichas salidas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante están adaptadas para suministrar dicho líquido en cantidades correspondientes a del 4 al 20% de las cantidades de dicho primer líquido refrigerante suministrado por dichos chorros.
- 60 23. Aparato según cualquiera de los puntos 17 a 22, en el que dichas salidas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante se sitúan a una distancia de dicho contacto deslizante en la dirección de avance de 150-450 mm.
- 65 24. Aparato según cualquiera de los puntos 17 a 22, en el que dicho molde está conformado y dimensionado para producir lingotes rectangulares que tienen caras de extremo más cortas de al menos 400 mm de anchura.
25. Aparato según cualquiera de los puntos 17 a 23, en el que dicho contacto deslizante comprende material elastomérico resistente al calor conformado para unirse a y rodear dicho lingote.
26. Aparato según cualquiera de los puntos 17 a 25, en el que dicho contacto deslizante comprende un chorro de fluido dirigido a retirar dicho refrigerante secundario de dicho lingote.
27. Aparato según el punto 26, en el que dicho chorro de fluido es un chorro de líquido.

28. Aparato según cualquiera de los puntos 17 a 27, en el que dicho contacto deslizante y dichas salidas se sitúan de manera que la segunda ubicación está separada de dicha primera ubicación a lo largo de dicho lingote en dicha dirección de avance a una distancia de 150 a 450 mm.

5

REIVINDICACIONES

1. Aparato (10) para colar un lingote de metal (16), que comprende:
 - 5 (a) un molde de colada de enfriamiento directo abierto por los extremos (14) que tiene una región donde el metal fundido (12) suministrado al molde (14) a través de una entrada de molde (15) está confinado periféricamente por paredes de molde, proporcionando de ese modo metal fundido (12) suministrado al molde (14) con una parte periférica, y una salida de molde (17) que recibe un bloque de fondo móvil;
 - 10 (b) una cámara que rodea las paredes de molde para contener un refrigerante primario para refrigerar las paredes de molde y refrigerar de ese modo dicha parte periférica del metal (12) para formar un lingote embrionario (16) que tiene una corteza sólida externa (26) y un núcleo fundido interno (24);
 - 15 (c) un soporte móvil para el bloque de fondo que permite que el bloque de fondo avance alejándose de la salida del molde (17) en una dirección de avance mientras que se introduce metal fundido (12) en el molde (14) a través de dicha entrada (15), permitiendo de ese modo la formación de un lingote embrionario (16) que tiene dichos núcleo fundido (24) y corteza sólida (26);
 - 20 (d) chorros (18) para dirigir un suministro de un primer líquido refrigerante sobre dicha superficie exterior (25) de dicho lingote embrionario (16);
 - 25 (e) un contacto deslizante (20) para retirar el primer líquido refrigerante de la superficie exterior (25) del lingote embrionario en una primera ubicación a lo largo de la superficie exterior (25) del lingote (16) donde una sección transversal del lingote (16) perpendicular a la dirección de avance cruza una parte de dicho núcleo fundido (24); y
 - 30 (f) salidas para aplicar un segundo líquido refrigerante a dicha superficie exterior (25) de dicho lingote embrionario (16) en una segunda ubicación (32) donde una sección transversal del lingote (16) perpendicular a la dirección de avance cruza una parte de dicho núcleo fundido (24), estando adaptadas dichas salidas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante en una cantidad menor que dicho primer líquido refrigerante aplicado por dichos chorros (18),
 - 35 en el que dichas salidas para aplicar dicho segundo líquido refrigerante son boquillas (28) que proyectan pulverizaciones (30) de dicho segundo líquido refrigerante, y
 - 40 en el que las boquillas de pulverización (28) están inclinadas de tal manera que las áreas de contacto de las pulverizaciones (30) se compensan verticalmente de manera alterna.
2. Aparato (10) según la reivindicación 1, en el que el molde (14) es rectangular para producir un lingote rectangular (16) que tiene caras de laminado más anchas (25A) y caras de borde más estrechas (25B).
3. Aparato (10) según la reivindicación 2, en el que dichas boquillas (28) para aplicar el segundo líquido refrigerante se sitúan de manera adyacente a regiones centrales de dichas caras de laminado más anchas (25A) del lingote (26) que sale de dicho molde (14).
4. Aparato (10) según la reivindicación 1 a 3, en el que cada una de dichas boquillas (28) está adaptada para producir dichas pulverizaciones (30) que tienen una forma seleccionada del grupo que consiste en forma de V, cónica y plana.
5. Aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dichas boquillas (28) para aplicar dicho segundo líquido refrigerante están adaptadas para suministrar dicho líquido en cantidades correspondientes del 4 al 20% de las cantidades de dicho primer líquido refrigerante suministrado por dichos chorros (18).
6. Aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que las boquillas están inclinadas de manera que la distancia (Y) entre la primera ubicación y la segunda ubicación es entre 150 mm y 450 mm.
7. Aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho molde (14) está conformado y dimensionado para producir lingotes rectangulares (16) que tienen caras de extremo más cortas (25B) de al menos 400 mm de anchura.
8. Aparato (10) según las reivindicaciones 1 a 7, en el que dicho contacto deslizante (20) comprende material elastomérico resistente al calor conformado para unir y rodear dicho lingote (16).
9. Aparato (10) según las reivindicaciones 1 a 8, en el que dicho contacto deslizante comprende un chorro de fluido dirigido a retirar dicho refrigerante secundario de dicho lingote (16).

10. Aparato (10) según la reivindicación 9, en el que dicho chorro de fluido es un chorro de líquido.
- 5 11. Aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que dicho contacto deslizante (20) y dichas boquillas (28) se sitúan de manera que la segunda ubicación (32) está separada de dicha primera ubicación a lo largo de dicho lingote (16) en dicha dirección de avance a una distancia (Y) de 150 a 450 mm.

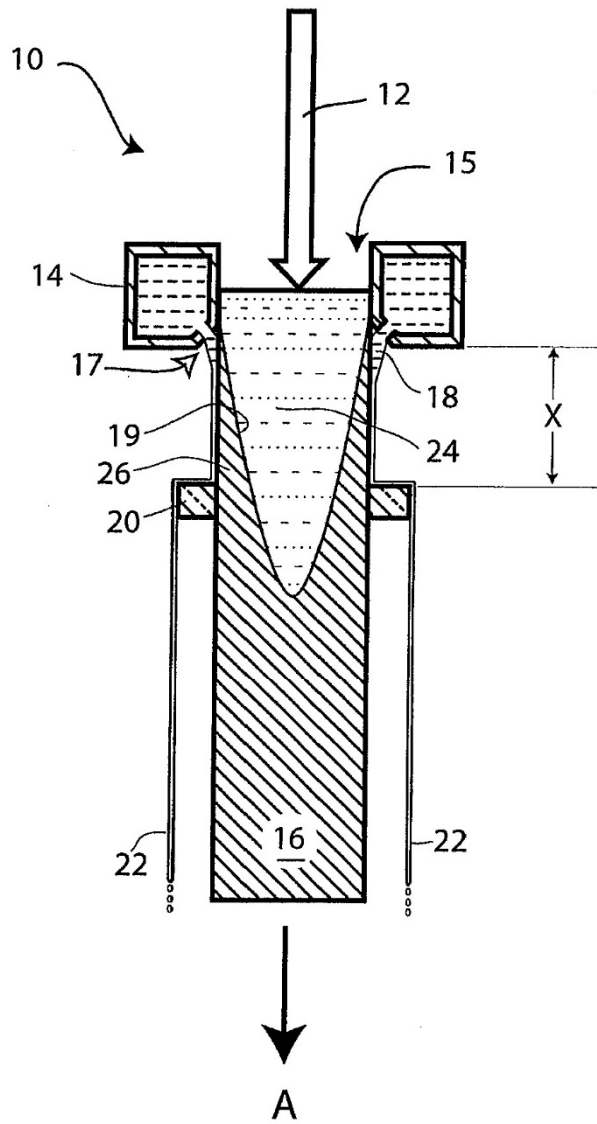


Fig. 1
(Técnica anterior)

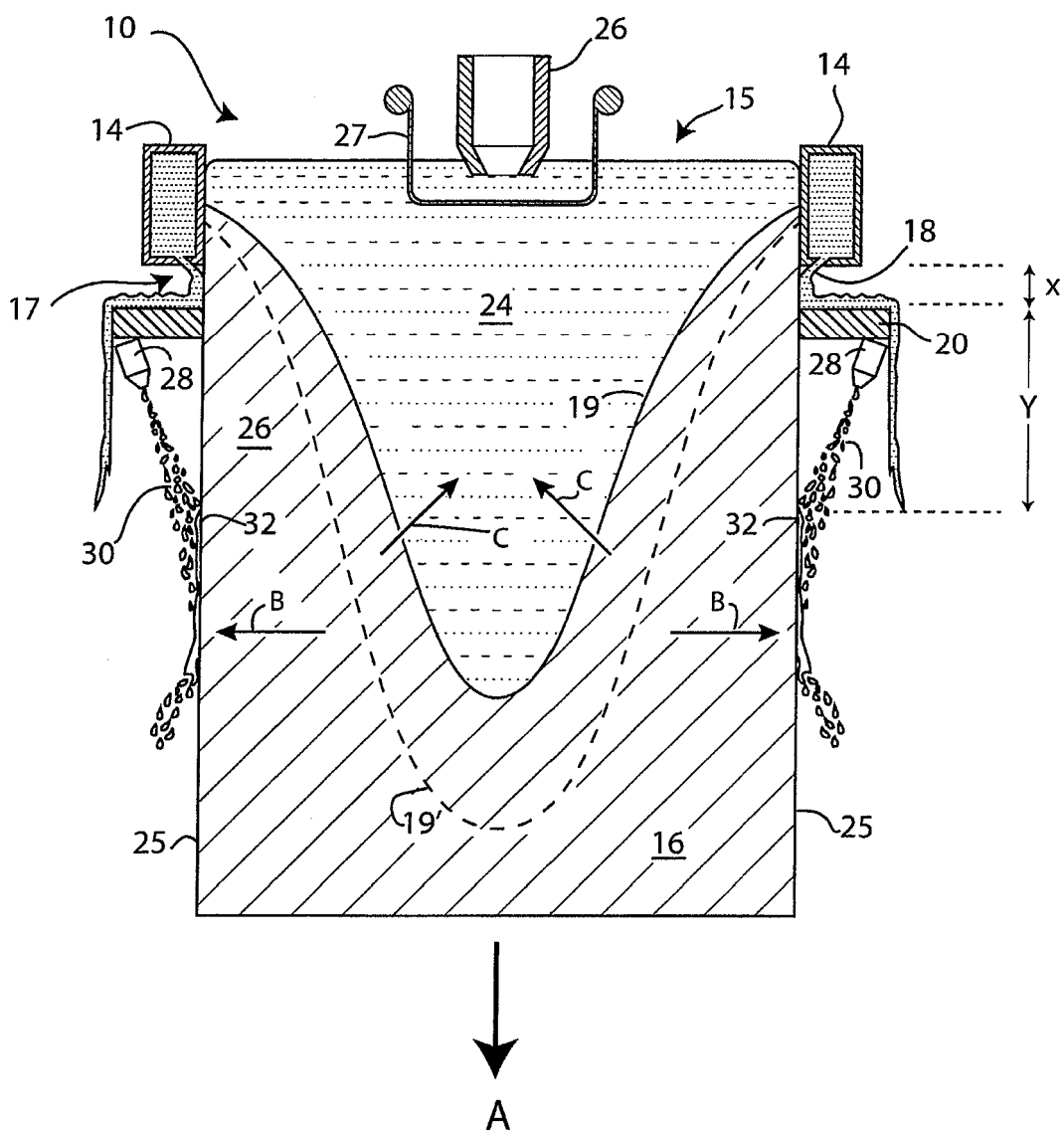


Fig. 2

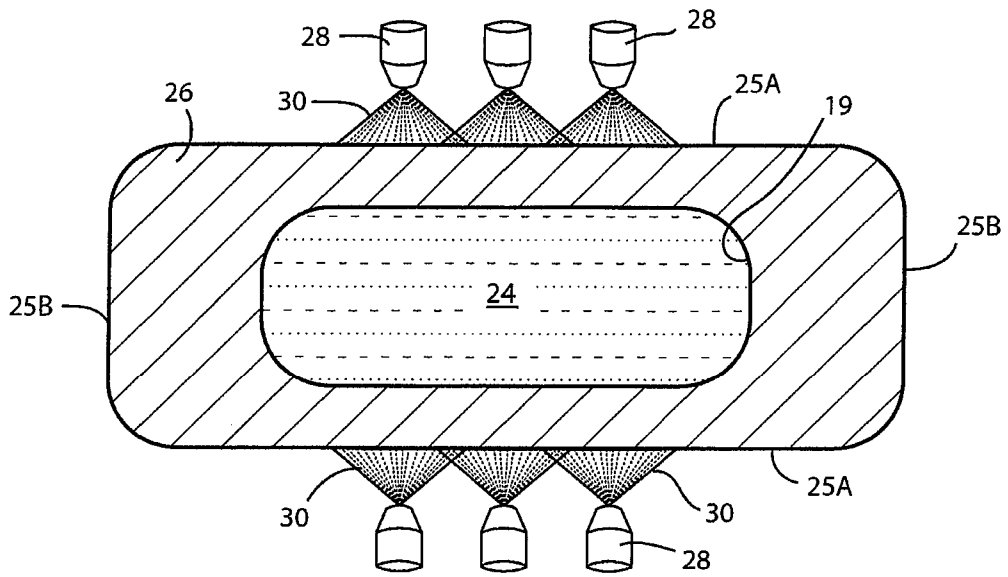


Fig. 3A

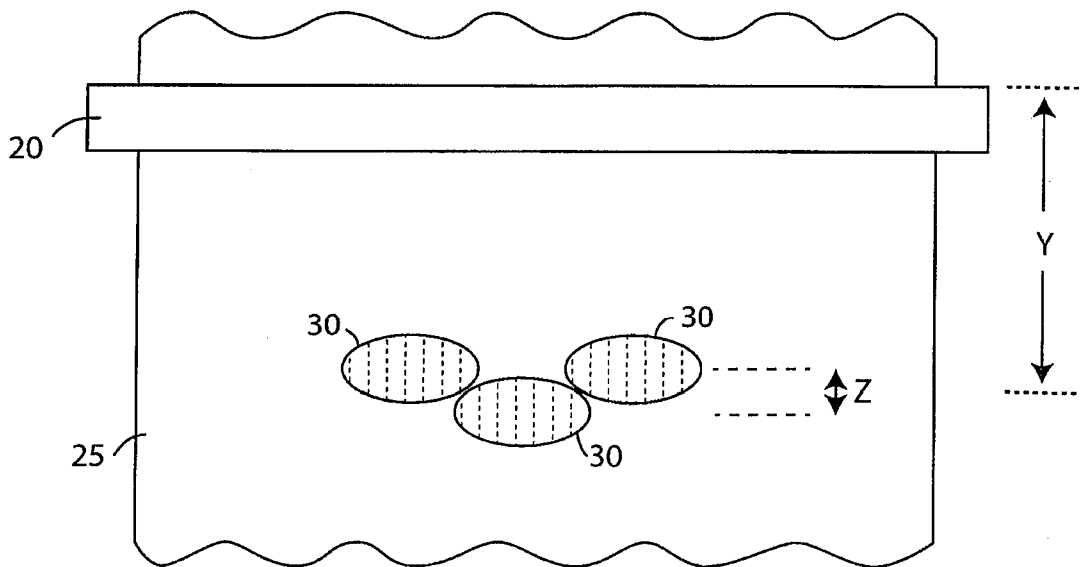


Fig. 3B

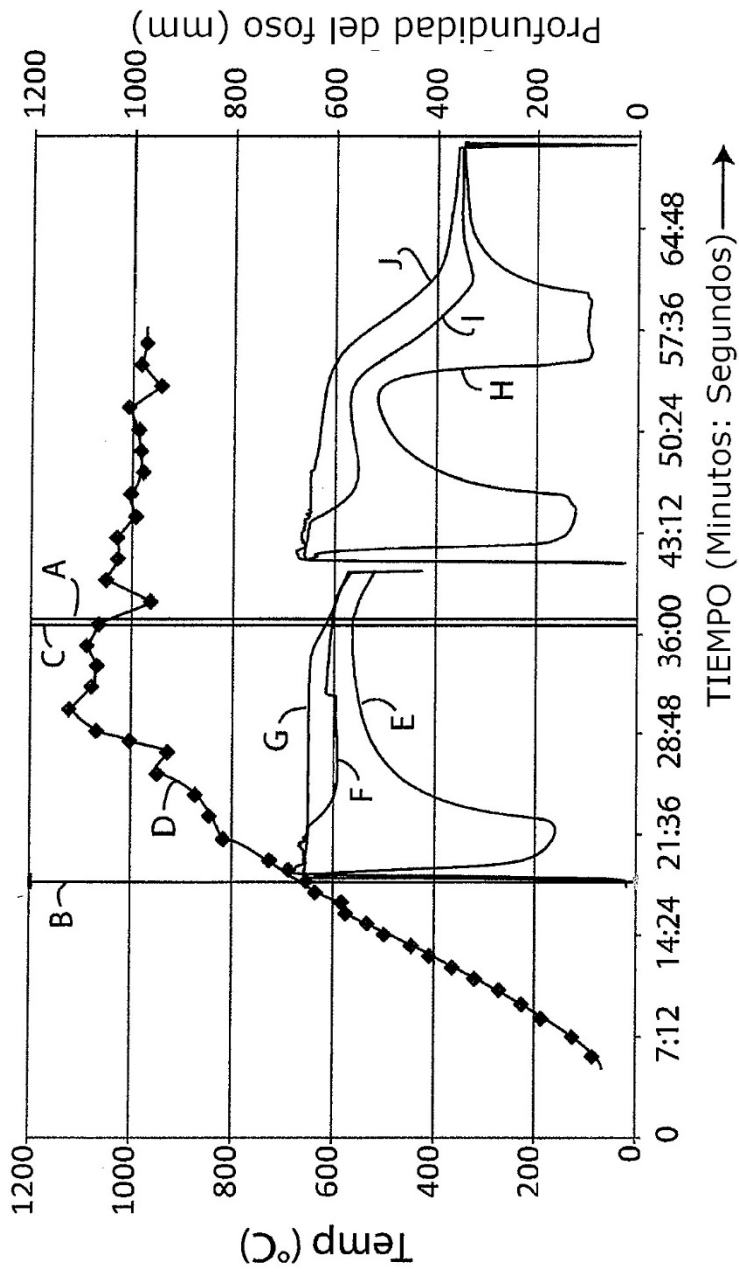


Fig. 4

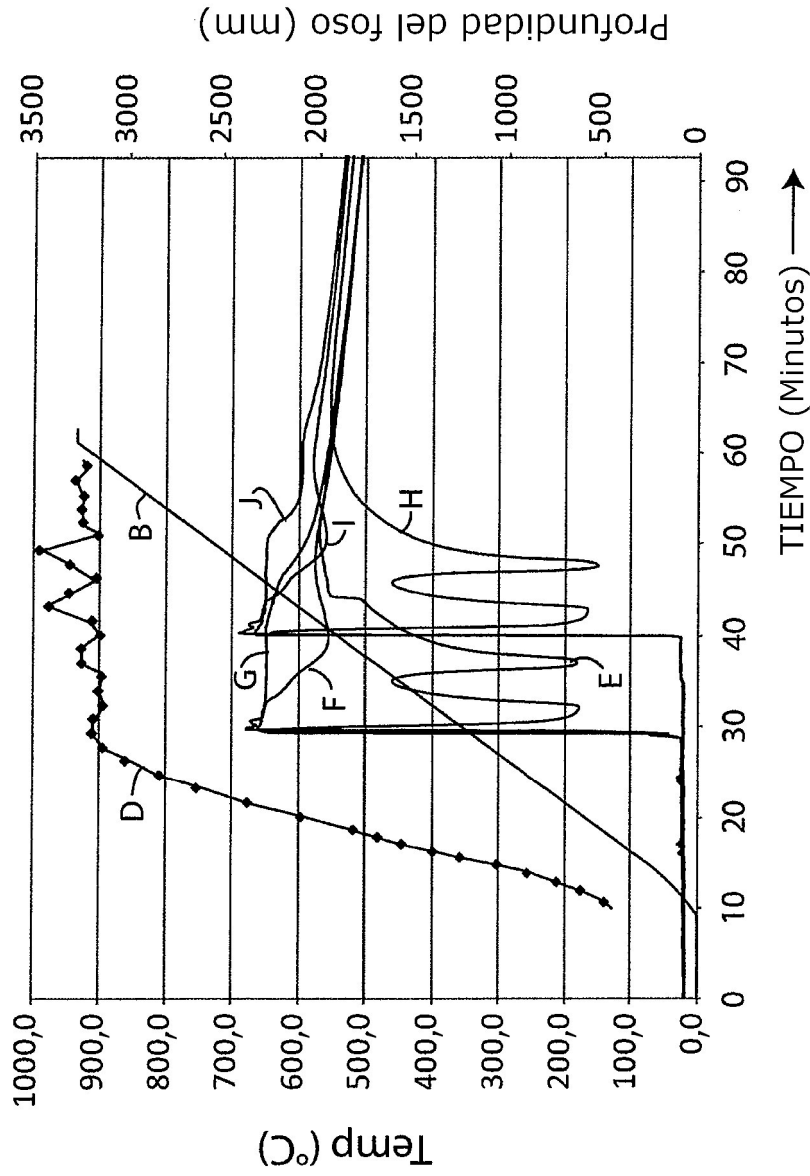
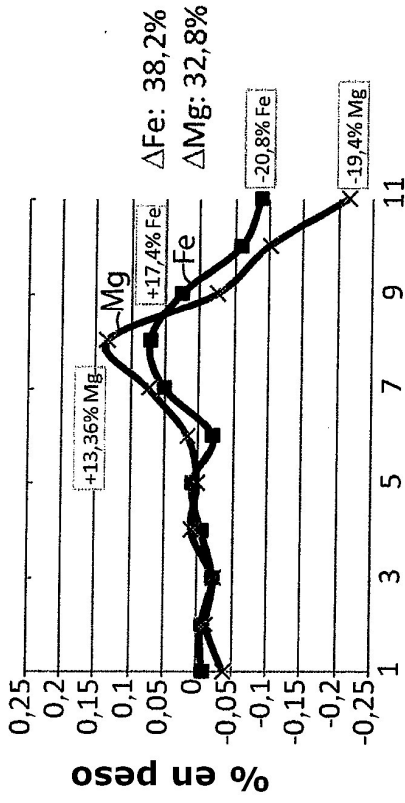
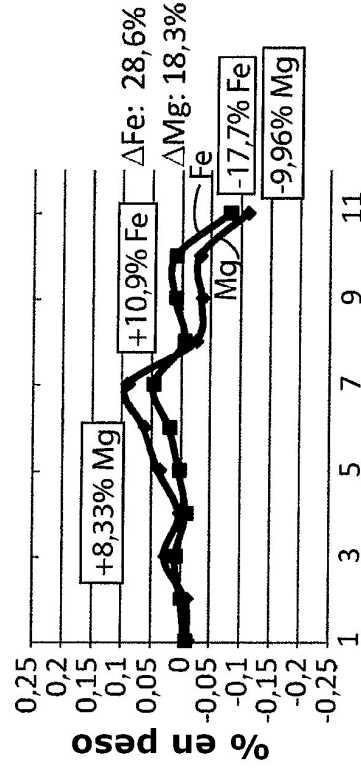


Fig. 5



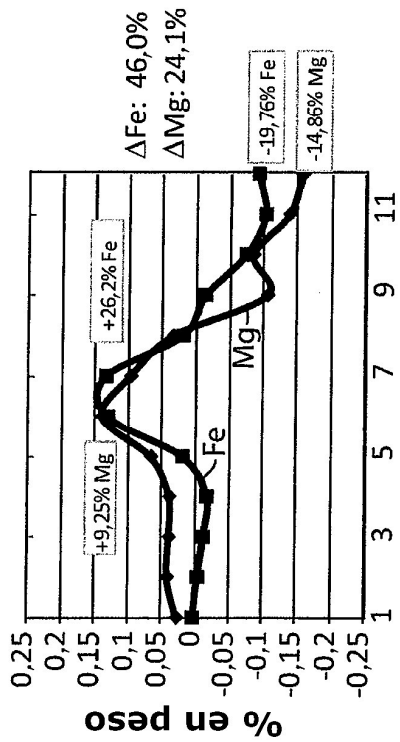
Distancia desde la superficie (pulgadas)

Fig. 7



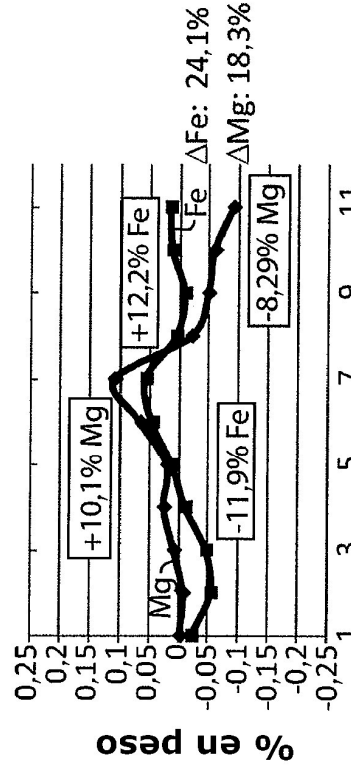
Distancia desde la superficie (pulgadas)

Fig. 9



Distancia desde la superficie (pulgadas)

Fig. 6



Distancia desde la superficie (pulgadas)

Fig. 8

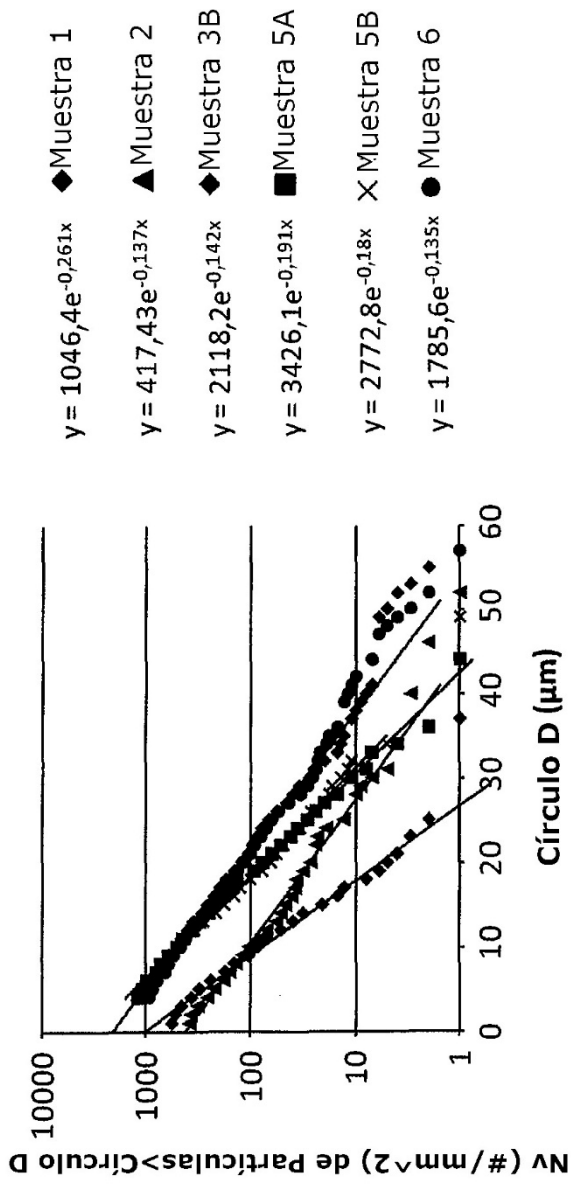


Fig. 10A

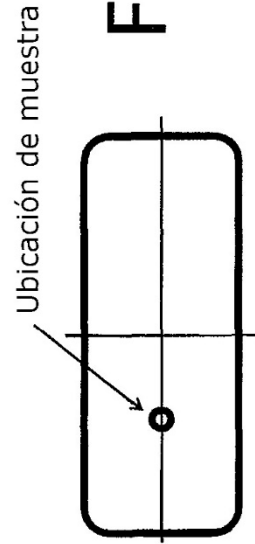


Fig. 10 B

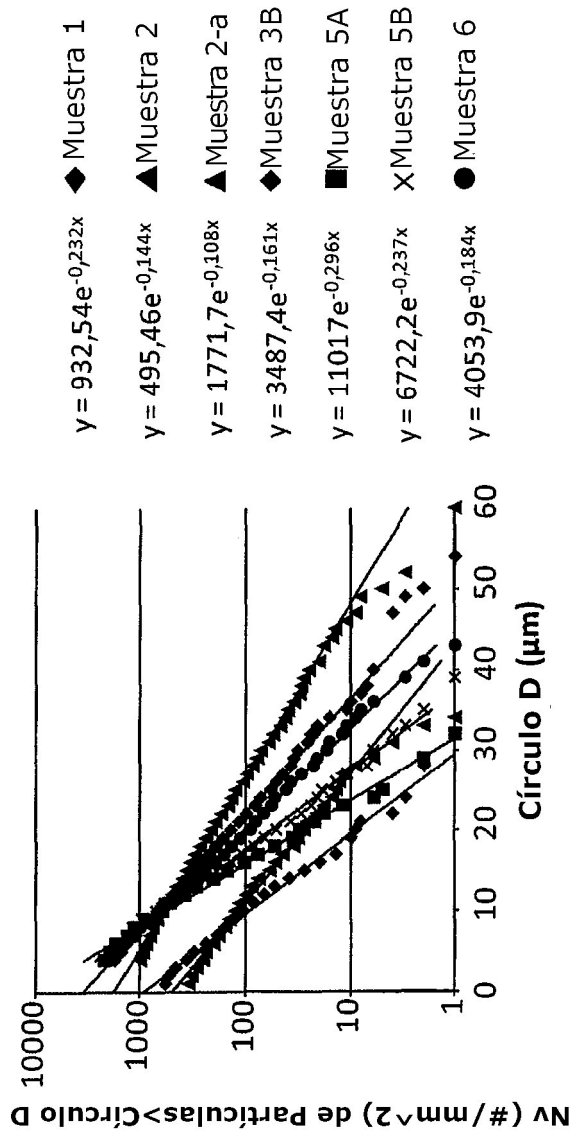


Fig. 11A

Ubicación de muestra

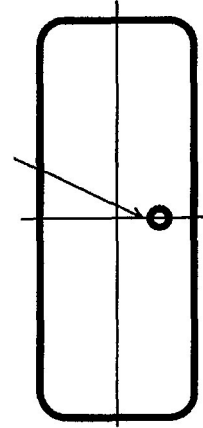


Fig. 11B

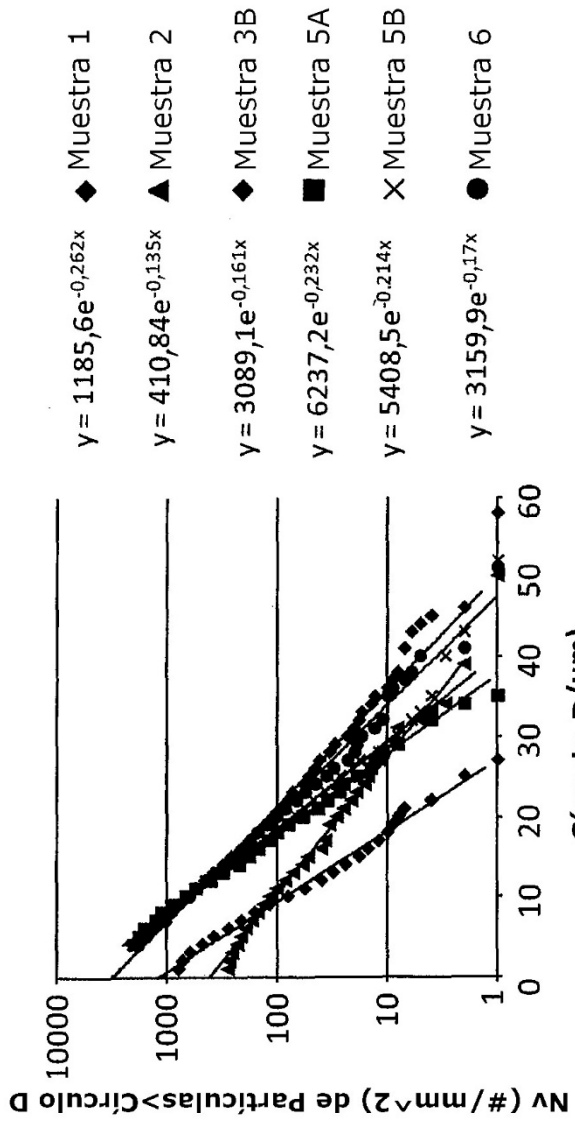


Fig. 12A

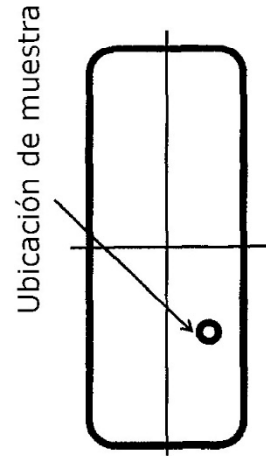


Fig. 12B

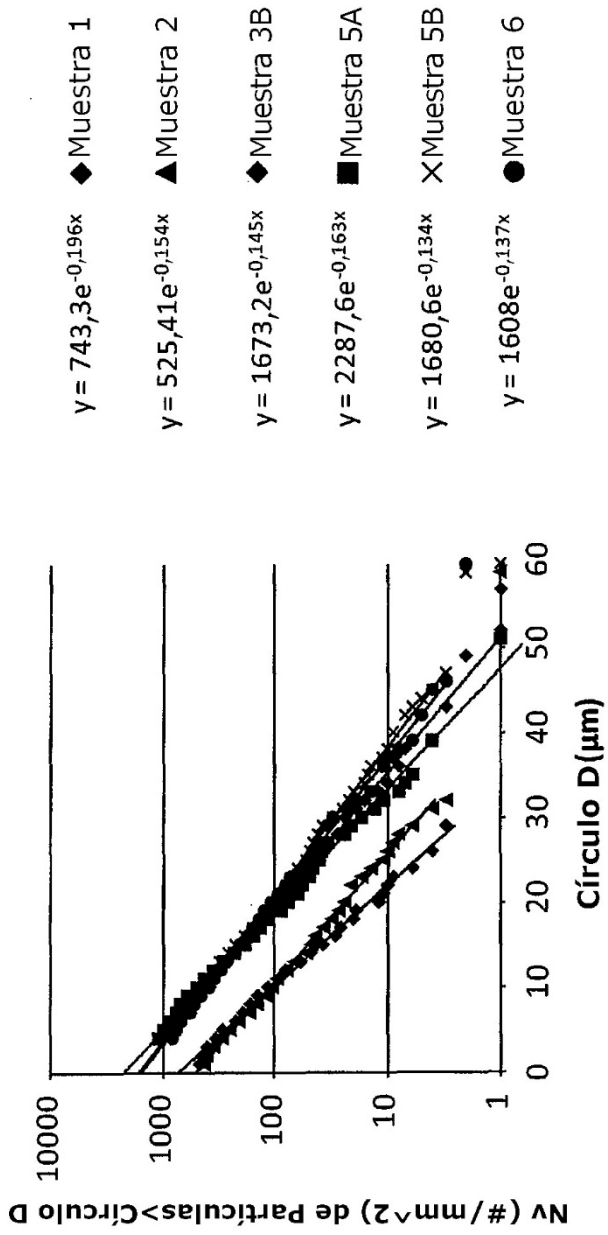


Fig. 13A

Ubicación de muestra

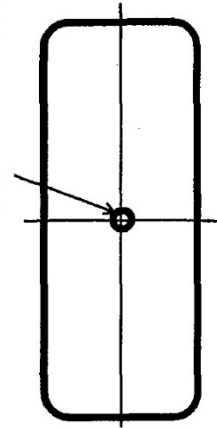


Fig. 13B

Fig. 14A

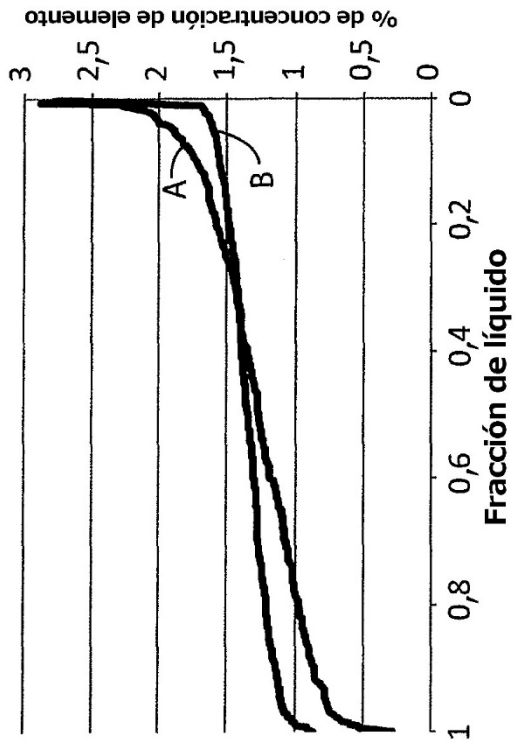


Fig. 14B

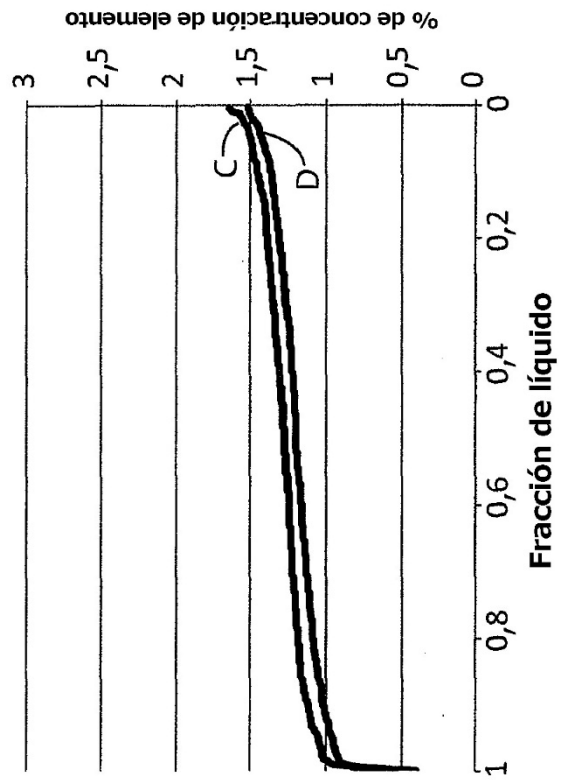


Fig. 15A

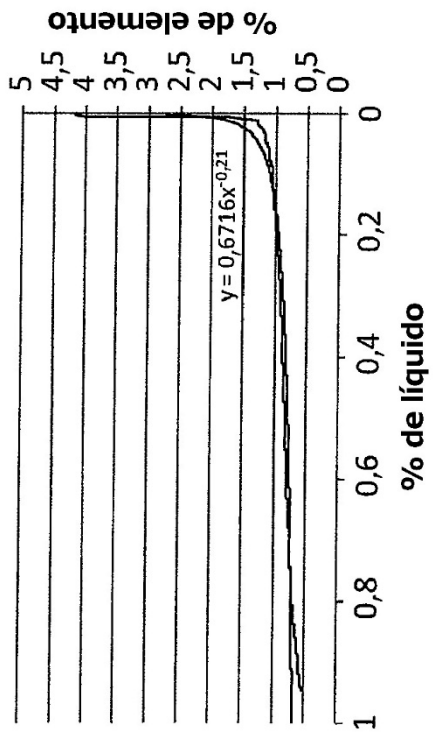
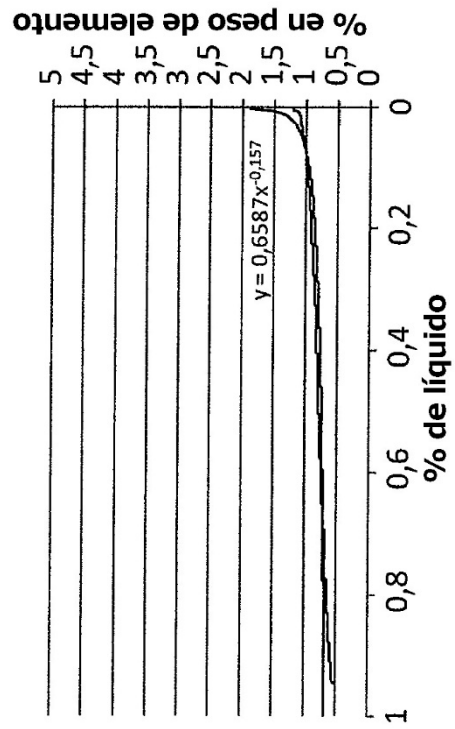
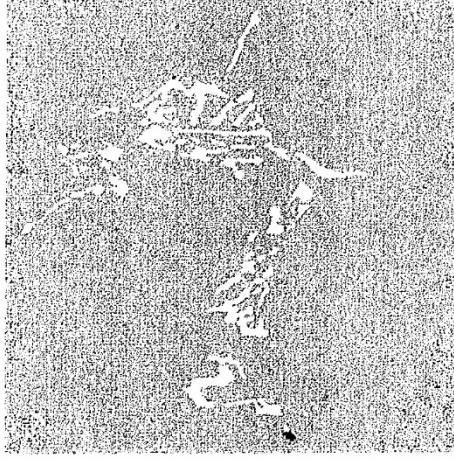


Fig. 15B





Muestra 1 CC: 250X



Muestra 2CC: 250X



Muestra 6 CC: 250X



Fig. 16A

Fig. 16B

Fig. 16C

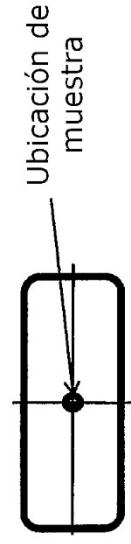


Fig. 16D

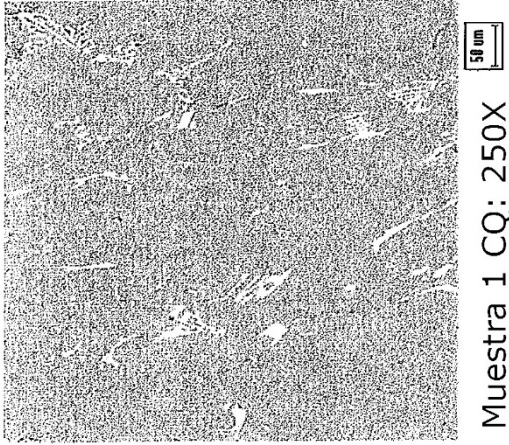


Fig. 17A

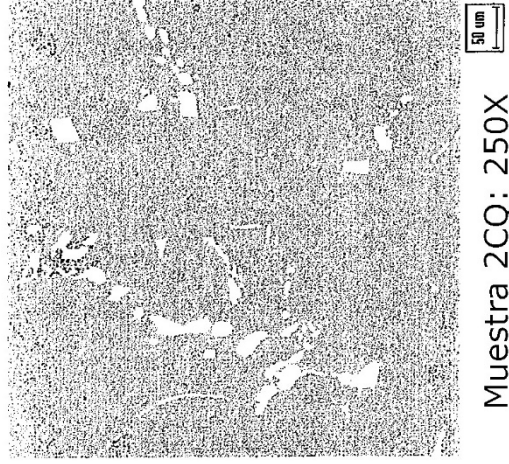


Fig. 17B

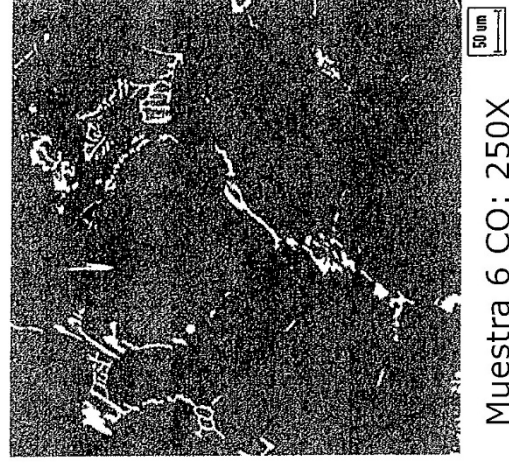
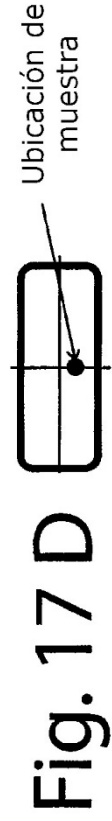


Fig. 17C



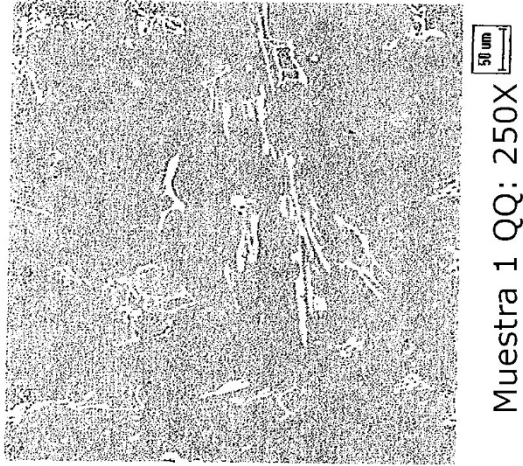


Fig. 18A

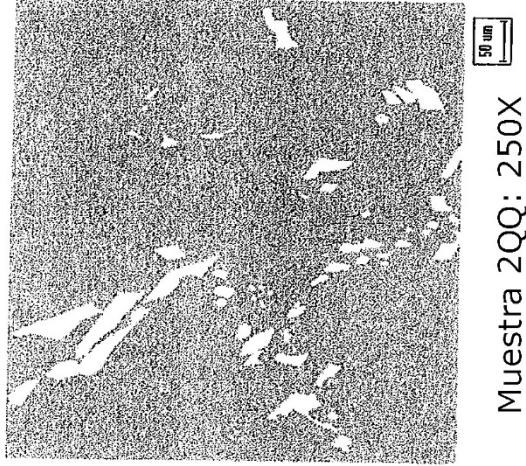


Fig. 18B

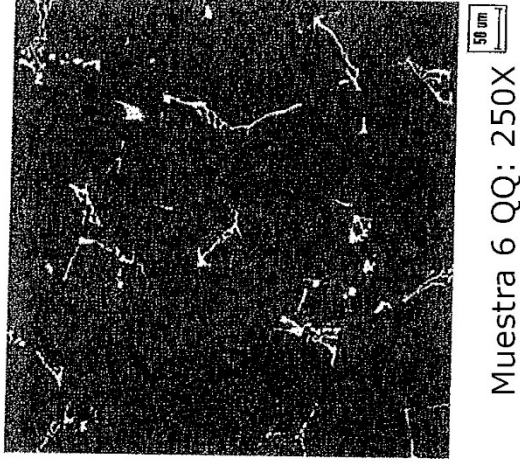
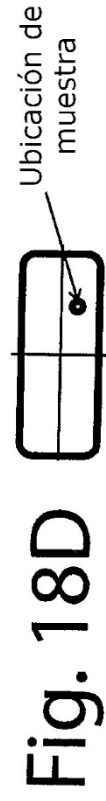


Fig. 18C



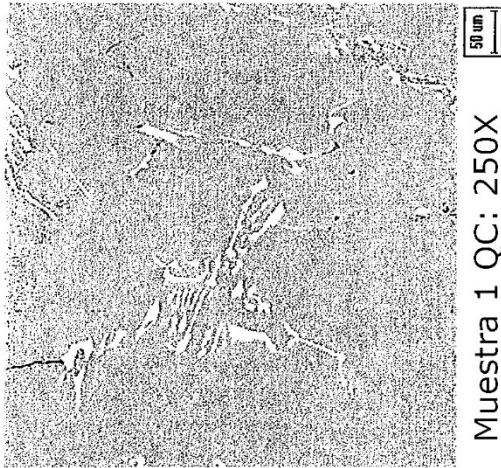


Fig. 19A

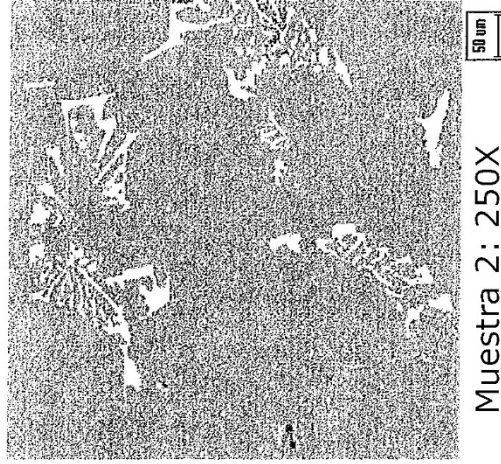


Fig. 19B

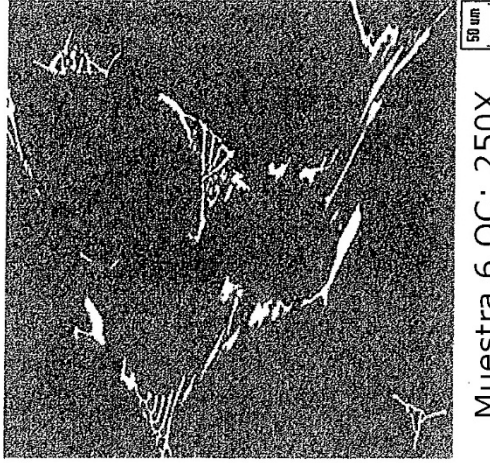


Fig. 19C

