

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 001**

51 Int. Cl.:

B22D 11/00 (2006.01)

B22D 11/049 (2006.01)

B22D 11/124 (2006.01)

B22D 11/22 (2006.01)

B22D 27/04 (2006.01)

C22F 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.10.2006 E 06804654 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.02.2016 EP 1940571**

54 Título: **Homogeneización y tratamiento térmico de metales colados**

30 Prioridad:

28.10.2005 US 731124 P

03.11.2005 US 733943 P

25.04.2006 US 794600 P

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

08.04.2016

73 Titular/es:

NOVELIS, INC. (100.0%)
3560 Lenox Road, Suite 2000
Atlanta, GA 30326, US

72 Inventor/es:

WAGSTAFF, ROBERT BRUCE y
FENTON, WAYNE J.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 566 001 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 y tratamiento térmico de metales colados

CAMPO TÉCNICO

5 Esta invención se refiere a la colada de metales, en particular aleaciones de metales, y a su tratamiento para que sean adecuados para formar productos metálicos tales como artículos laminados y de chapa.

ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

10 Aleaciones metálicas y, en particular, aleaciones de aluminio, a menudo son coladas a partir de una forma fundida para producir lingotes o tochos que se someten posteriormente a laminado, tratamiento en caliente, o similar, para producir artículos laminados o de chapa utilizados para la fabricación de numerosos productos. Los lingotes se producen con frecuencia por colada con enfriamiento rápido directo (DC), pero existen métodos de colada equivalentes tales como la colada electromagnética (p. ej., tal como se tipifica por las patentes de EE.UU. 3.985.179 y 4.004.631, ambas expedidas a Goodrich et al.), que también se emplean. La siguiente discusión se refiere principalmente a la colada DC, pero los mismos principios se aplican a todos los procesos de colada que crean las mismas o equivalentes propiedades micro-estructurales en el metal colado.

15 La colada DC de metales (p. ej., aluminio y aleaciones de aluminio - a las que se alude colectivamente en lo sucesivo como aluminio) para producir lingotes se lleva a cabo típicamente en un molde poco profundo, de extremos abiertos, axialmente vertical que está inicialmente cerrado en su extremo inferior por una plataforma móvil hacia abajo (a la que alude a menudo como un bloque inferior). El molde está rodeado por una camisa de refrigeración a través de la cual se hace circular continuamente un fluido refrigerante tal como agua para proporcionar un
20 enfriamiento rápido externo de la pared del molde. El aluminio fundido (u otro metal) se introduce en el extremo superior del molde enfriado y, a medida que el metal fundido solidifica en una región adyacente a la periferia interior del molde, la plataforma se mueve hacia abajo. Con un movimiento eficazmente continuo de la plataforma y el suministro correspondientemente continuo de aluminio fundido al molde, se puede producir un lingote de longitud deseada limitado solamente por el espacio disponible debajo del molde. Detalles adicionales de la colada DC
25 pueden obtenerse a partir de la patente de EE.UU. 2.301.027 y otras patentes.

La colada DC también se puede llevar a cabo horizontalmente, es decir, con el molde no orientado verticalmente, con algunas modificaciones de los equipos y, en tales casos, la operación de colada puede ser esencialmente continua. En la siguiente discusión, se hace referencia a la colada por enfriamiento rápido directo vertical, pero los mismos principios se aplican a la colada DC horizontal.

30 El lingote que emerge desde el extremo inferior (de salida) del molde en la colada DC vertical es sólido externamente, pero todavía está fundido en su núcleo central. En otras palabras, la agrupación de metal fundido dentro del molde se extiende hacia abajo hacia la porción central del lingote que se mueve hacia abajo a lo largo de una cierta distancia por debajo del molde como un sumidero de metal fundido. Este sumidero tiene una sección transversal progresivamente decreciente en la dirección hacia abajo a medida que el lingote se solidifica hacia
35 dentro desde la superficie exterior hasta que su parte de núcleo se vuelve completamente sólida. A la parte del producto de metal colado que tiene una envuelta exterior sólida y un núcleo fundido se la alude en esta memoria como un lingote embrionario que se convierte en un lingote colado cuando se solidifica completamente.

40 Como una característica importante del proceso de colada con enfriamiento rápido directo, un fluido refrigerante continuamente suministrado, tal como agua, se pone en contacto directo con la superficie exterior del lingote embrionario que avanza, directamente debajo del molde, provocando el enfriamiento rápido directo del metal de la superficie. Este enfriamiento rápido directo de la superficie del lingote sirve tanto para mantener la parte periférica del lingote en estado sólido como para fomentar la refrigeración interna y la solidificación del lingote.

45 Convencionalmente, se proporciona una sola zona de refrigeración debajo del molde. Típicamente, la acción de refrigeración en esta zona se efectúa al dirigir un flujo sustancialmente continuo de agua de manera uniforme a lo largo de la periferia del lingote, inmediatamente por debajo del molde, descargándose el agua, por ejemplo, desde el extremo inferior de la camisa de enfriamiento del molde. En este proceso, el agua incide con una fuerza o momento considerable sobre la superficie del lingote en un ángulo sustancial al mismo y fluye hacia abajo sobre la superficie

del lingote, continuando pero disminuyendo el efecto de refrigeración hasta que la temperatura de la superficie del lingote se aproxima a la del agua.

5 Típicamente, el agua refrigerante, tras el contacto con el metal caliente, sufre en primer lugar dos eventos de ebullición. Una película, predominantemente de vapor de agua, se forma directamente debajo del líquido en la región de estancamiento del chorro e inmediatamente adyacente a ésta, en las regiones próximas por encima, a cada lado y por debajo del chorro, se produce una ebullición de la película nucleada clásica. A medida que el lingote se enfría y disminuye la nucleación y el efecto de mezclado de las burbujas, el flujo de fluido y las condiciones de la capa límite térmica cambian a una convección forzada por la mayor parte del lingote hasta que, finalmente, las condiciones hidrodinámicas cambian a la simple película de caída libre a través de toda la superficie del lingote en los extremos inferiores del lingote.

15 Lingotes colados por enfriamiento rápido directo, producidos de esta manera, se someten generalmente a etapas de laminación en caliente y en frío, u otros procesos de tratamiento en caliente, con el fin de producir artículos tales como láminas o chapas de diversos espesores y anchuras. Sin embargo, en la mayoría de los casos se requiere normalmente un proceso de homogeneización antes de la laminación o de otro proceso de tratamiento en caliente con el fin de convertir el metal en una forma más fácil de usar y/o para mejorar las propiedades finales del producto laminado. La homogeneización se lleva a cabo para equilibrar los gradientes de concentración microscópicos. La etapa de homogeneización implica calentar el lingote colado a una temperatura elevada (generalmente una temperatura superior a una temperatura de transición, p. ej., una temperatura solvus de la aleación, a menudo por encima de 450 C y típicamente (para muchas aleaciones) en el intervalo de 500 a 630°C) durante un período de tiempo considerable, p. ej., unas pocas horas y, en general, de hasta 30 horas.

25 La necesidad de esta etapa de homogeneización es el resultado de las deficiencias en la micro-estructura encontradas en el producto colado que resultan de las etapas iniciales o etapas finales de la solidificación. A nivel microscópico, la solidificación de las aleaciones coladas por DC se caracterizan por cinco eventos: (1) la nucleación de la fase primaria (cuya frecuencia puede o no estar asociada con la presencia de un afinador de grano); (2) la formación de estructuras celulares, dendríticas, o una combinación de estructuras celulares y dendríticas que definen un grano; (3) el rechazo de soluto a partir de la estructura celular/dendrítica debido a las condiciones de solidificación de no equilibrio imperantes; (4) el movimiento del soluto rechazado que se ve reforzado por el cambio de volumen de la fase primaria de solidificación; y (5) la concentración de soluto rechazado y su solidificación a una temperatura de reacción terminal (p. ej., eutéctica).

30 Por lo tanto, la estructura resultante del metal es bastante compleja y se caracteriza por variaciones de composición a través de no sólo el grano, sino también en las regiones adyacentes a las fases intermetálicas en donde coexisten regiones relativamente blandas y duras en la estructura y, si no se modifica o transforma, creará varianzas en la propiedad de calibre final inaceptables para el producto final.

35 La homogeneización es un término genérico que se utiliza generalmente para describir un tratamiento térmico diseñado para corregir las deficiencias microscópicas en la distribución de elementos de soluto y (concomitantemente) modificar las estructuras intermetálicas presentes en las interfaces. Resultados aceptados de un procedimiento de homogeneización incluyen los siguientes:

1. La distribución elemental dentro de un grano se vuelve más uniforme.
- 40 2. Cualesquiera partículas constituyentes de bajo punto de fusión (p. ej., eutécticas) que se forman en los límites de los granos y puntos triples durante la colada se disuelven de nuevo en los granos.
3. Determinadas partículas intermetálicas (p. ej., peritéticas) sufren transformaciones químicas y estructurales.
4. Partículas intermetálicas grandes (p. ej., peritéticas) que se forman durante la colada pueden ser fracturadas y redondeadas durante el calentamiento.
- 45 5. Precipitados (tal como se puede utilizar para ser desarrollados posteriormente para fortalecer el material) se forman durante el calentamiento se disuelven y posteriormente precipitan de manera uniforme a través del grano después de la disolución y la redistribución a medida que el lingote se enfría de nuevo por debajo

del solvus y se mantiene a una temperatura constante y se deja nuclear y crecer, o se enfría a temperatura ambiente y se precalienta a temperaturas de tratamiento en caliente.

5 En algunos casos, es necesaria la aplicación de tratamientos térmicos a lingotes durante el procedimiento real de colada por DC para corregir los campos de tensión diferenciales inducidos durante el procedimiento de colada. Los expertos en la técnica caracterizan aleaciones que se agrietan post-solidificación o pre-solidificación en respuesta a estas tensiones.

10 Las grietas post-solidificación son causadas por tensiones macroscópicas que se desarrollan durante la colada, que provocan que se formen grietas de una manera trans-granular después de haberse completado la solidificación. Esto se corrige típicamente manteniendo la temperatura de la superficie del lingote (disminuyendo así el gradiente de temperatura - por lo tanto de tensión - en el lingote) en un nivel elevado durante el proceso de colada y transfiriendo los lingotes convencionalmente colados a un horno de alivio de tensión inmediatamente después de la colada.

15 Las grietas pre-solidificación también son provocadas por tensiones macroscópicas que se desarrollan durante la colada. Sin embargo, en este caso, las tensiones macroscópicas formadas durante la solidificación se alivian por desgarro o cizallamiento de la estructura, inter-granularmente, a lo largo de redes eutécticas de bajo punto de fusión (asociadas con el rechazo de solutos tras la solidificación). Se ha encontrado que la igualación, desde el centro a la superficie, del diferencial de gradiente de temperatura lineal (es decir, la superficie derivada de la temperatura del centro del lingote emergente) puede mitigar con éxito un agrietamiento de este tipo.

20 Estos defectos hacen que el lingote sea inaceptable para muchos propósitos. Se han hecho diversos intentos para superar este problema mediante el control de la velocidad de enfriamiento de la superficie de un lingote durante la colada. Por ejemplo, en aleaciones propensas al agrietamiento post-solidificación, Zeigler, en la patente de EE.UU. 2.705.353, utilizó un limpiador para eliminar el líquido refrigerante de la superficie del lingote a una distancia por debajo del molde, de manera que el calor interno del lingote recalentaría la superficie enfriada. La intención era mantener la temperatura de la superficie a un nivel por encima de aproximadamente 300°F (149°C) y, preferiblemente, dentro de un intervalo de recocido típico de aproximadamente 400 a 650°F (204 a 344°C).

25 Zinniger, en la patente de EE.UU. 4.237.961, mostró otro sistema de colada por enfriamiento rápido directo con un dispositivo refrigerante de limpieza en forma de un collar de limpieza elastomérico inflable. Esto sirvió para el mismo propósito básico al descrito en la patente anterior de Zeigler, manteniéndose la temperatura de la superficie del lingote a un nivel suficiente para aliviar tensiones internas. En el ejemplo de la patente de Zinniger, la superficie del lingote se mantiene a una temperatura de aproximadamente 500°F (260°C), que está de nuevo en el intervalo de recocido. El propósito de este proceso era permitir la colada de lingotes de una sección transversal muy grande, evitando el desarrollo de tensiones térmicas excesivas dentro del lingote.

35 En aleaciones propensas al agrietamiento pre-solidificación, Bryson, en la patente de EE.UU. 3.713.479, utilizó dos niveles de refrigeración por pulverización de agua de menor intensidad para disminuir la velocidad de enfriamiento y para extenderla una distancia mayor hacia abajo del lingote a medida que desciende el lingote y, como resultado de este trabajo, demostró la capacidad de aumentar las tasas globales de colada realizadas en el procedimiento.

Otro diseño de un dispositivo de colada por enfriamiento rápido directo utilizando un limpiador para separar el agua de refrigeración se muestra en Ohatake et al. en la patente canadiense 2.095.085. Con este diseño, se utilizan chorros primarios y secundarios de enfriamiento de agua, seguido de un limpiador para separar el agua, siendo seguido el limpiador por un tercer chorro de agua de refrigeración.

40 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Una forma o aspecto a modo de ejemplo se basa en la observación de que propiedades metalúrgicas equivalentes o idénticas a las producidas durante una homogeneización convencional de un lingote de metal colado (un proceso que requiere varias horas de calentamiento a una temperatura elevada) se pueden impartir a un lingote de este tipo permitiendo que las temperaturas de la envuelta enfriada y el interior todavía fundido de un lingote colado embrionario converjan a una temperatura de o por encima de una temperatura de transformación del metal a la que se produce la homogeneización *in-situ* del metal, que es generalmente una temperatura de al menos 425°C para muchas aleaciones de aluminio, y de preferencia se mantengan en o cerca de esa temperatura durante un período de tiempo adecuado para que se produzcan las transformaciones deseadas (al menos en parte).

Sorprendentemente, cambios metalúrgicos deseables a menudo se pueden impartir de esta manera en un tiempo relativamente corto (p. ej., 10 a 30 minutos) y el proceso para lograr tal resultado puede ser incorporado en la operación de colada propiamente dicha, evitando con ello la necesidad de una etapa de homogeneización adicional costosa e inconveniente. Sin desear estar ligado por teoría en particular alguna, es posible que esto se deba a que se crean o mantienen cambios metalúrgicos deseables a medida que la aleación está siendo colada por un efecto significativo de difusión inversa (en cualquiera de, o ambos estados, sólidos y líquidos, y su forma 'blanda' combinada) durante un corto período de tiempo en lugar de formarse propiedades metalúrgicas deseadas durante el enfriamiento convencional, que a continuación requieren un tiempo considerable para la corrección en una etapa de homogeneización convencional.

5
10 Incluso en aquellos casos en los que la homogeneización no se lleva a cabo normalmente con un lingote colado convencionalmente, puede haber ganancias en las propiedades que hacen que el lingote sea más fácil de procesar o proporcionar un producto con propiedades mejoradas.

15 El método de colada que implica una homogeneización *in-situ* tal como se establece anteriormente, puede ser opcionalmente seguido de una operación de enfriamiento brusco antes de que el lingote se retire del aparato de colada, p. ej., mediante la inmersión de la parte delantera del lingote colado de avance en una agrupación de líquido refrigerante. Esto se lleva a cabo después de la separación del líquido refrigerante suministrado a la superficie del lingote embrionario y después de haber dejado un tiempo suficiente para transformaciones metalúrgicas adecuadas.

20 La expresión "homogeneización *in-situ*" ha sido acuñado por los autores de la invención para describir este fenómeno mediante el cual se logran cambios micro-estructurales durante el procedimiento de colada que son equivalentes a los obtenidos por una homogeneización convencional llevada a cabo después de la colada y la refrigeración. De manera similar, la expresión "enfriamiento brusco *in-situ*" se ha acuñado para describir una etapa de enfriamiento brusco llevada a cabo después de la homogeneización *in-situ* durante el procedimiento de colada.

25 Es de señalar que las realizaciones pueden aplicarse a la colada de lingotes de material compuesto de dos o más metales (o el mismo metal de dos fuentes diferentes), p. ej., tal como se describe en la publicación de patente de EE.UU. 2005-0011630 publicada el 20 de enero de 2005 o la patente de EE.UU. 6.705.384, expedida el 16 de marzo de 2004. Lingotes compuestos de este tipo son colados en la misma forma como lingotes monolíticos hechos de un metal, pero el molde de colada o similar tiene dos o más entradas separadas por una pared interna del molde o por una tira continuamente alimentada de metal sólido que se incorpora en el lingote colado. Una vez que abandona el molde, a través de una o más salidas, el lingote de material compuesto es sometido a refrigeración por líquido y el refrigerante líquido puede ser retirado de la misma manera que para un lingote monolítico con el mismo o un efecto equivalente.

30 Por consiguiente, se proporciona un método de colar un lingote de metal, que comprende las etapas de:
 (a) suministrar metal fundido (12) a partir de al menos una fuente a una región en donde el metal fundido es confinado periféricamente, proporcionando de esta manera el metal fundido con una porción periférica;
 35 (b) enfriar la porción periférica del metal para formar un lingote embrionario (16) que tiene una envuelta sólida externa y un núcleo (24) fundido interior;
 (c) hacer avanzar el lingote embrionario en una dirección de avance (A) fuera de la región en la que el metal fundido está confinado periféricamente mientras se suministra metal fundido adicional a dicha región, de modo que el núcleo fundido contenido dentro de la envuelta sólida se extiende más allá de dicha región; y
 40 (d) enfriar una superficie externa del lingote embrionario que emerge de la región en la que el metal está confinado periféricamente al dirigir un suministro de líquido refrigerante (18) sobre dicha superficie exterior;
 caracterizado porque una cantidad eficaz del líquido refrigerante se separa de la superficie exterior del lingote embrionario en una ubicación en la superficie exterior del lingote, en donde una sección transversal del lingote perpendicular a la dirección de avance intersecta una parte de dicho núcleo fundido, de manera que el calor interno procedente del núcleo fundido recalienta la envoltura sólida adyacente al núcleo fundido después de separar dicha cantidad eficaz de refrigerante, de manera que las temperaturas de dicho núcleo y envoltura convergen y se mantienen en una temperatura de 425°C o superior durante un periodo de tiempo de al menos 10 minutos, de manera que se produce al menos una homogeneización parcial del metal.

45
50 Esta convergencia de las temperaturas del núcleo y la envoltura puede, en casos preferidos, ser seguida por la medición de la superficie exterior del lingote que muestra un rebote de la temperatura después de haber separado el líquido refrigerante. Esta temperatura de rebote debería tener un pico por encima de la temperatura de transformación de la aleación o fase, y preferiblemente por encima de 426°C.

5 En el método anterior, el metal fundido en la etapa (a) se suministra preferiblemente a al menos una entrada de un molde de colada por enfriamiento rápido directo, formando con ello el molde de colada por enfriamiento rápido directo la región en la que el metal fundido está confinado periféricamente, y el lingote embrionario es hecho avanzar en la etapa (c) desde al menos una salida del molde de colada por enfriamiento rápido directo, con la ubicación en la superficie exterior del lingote, estando la parte sustancial de líquido refrigerante separada en la etapa (e) separada una distancia desde la al menos una salida del molde. El método de colada (es decir, el suministro de metal fundido) puede ser continuo o semi-continuo, según se desee.

10 El líquido refrigerante puede ser separado de la superficie exterior mediante limpieza u otros medios. Preferiblemente, se proporciona un limpiador que rodea el lingote y se puede variar la posición del limpiador, si se desea, durante las diferentes fases de la operación de colada, p. ej., para minimizar las diferencias de la temperatura de convergencia que de otro modo puede producirse durante tales fases diferentes.

15 Otra realización a modo de ejemplo proporciona un método de producir un artículo laminado de metal, que incluye producir un lingote de metal solidificado mediante un método tal como se describe anteriormente; y tratar en caliente el lingote para producir un artículo tratado; caracterizado porque el tratamiento en caliente se lleva a cabo sin homogeneización del lingote metal solidificado entre la etapa de producción del lingote (a) y la etapa de tratamiento en caliente (b). El tratamiento en caliente puede ser, por ejemplo, la laminación en caliente, y a esto le puede seguir una laminación en frío convencional, si se desea. La expresión "tratamiento en caliente" puede incluir, por ejemplo, un procedimiento tal como de laminación en caliente, extrusión y forjado.

20 Al menos en algunas realizaciones a modo de ejemplo, elementos de soluto que son segregados durante la solidificación hacia el borde de la célula, que existen en el borde del lingote, cerca de la superficie se enfriaron bruscamente por debajo de una temperatura de transformación, p. ej. una temperatura solvus, durante el enfriamiento inicial del fluido, se les permite volver a distribuir a través de la difusión en estado sólido a través de la dendrita/célula y los elementos de soluto que normalmente segregan hacia el borde de la dendrita/célula en la región central del lingote se les permite un tiempo y una temperatura durante la solidificación para difundir soluto desde el líquido homogéneo de nuevo a la dendrita/célula antes del crecimiento y la asperización. El resultado de esta
25 difusión inversa separa elementos de soluto de la mezcla homogénea, generando una concentración reducida de soluto en la mezcla homogénea que a su vez reduce al mínimo la fracción en volumen de los compuestos intermetálicos colados en el límite unidad de dendrita/célula, reduciendo con ello el efecto de la macro-segregación general a través del lingote. Cualesquiera constituyentes colados de alto punto de fusión y compuestos intermetálicos en ese punto, una vez solidificados, se modifican fácilmente por la difusión a granel de silicio (Si) o de otros elementos presentes en el metal, a las temperaturas elevadas, proporcionando una región denudada en el límite dendrita/célula equivalente a o cercana a la concentración correspondiente al límite de solubilidad máxima a esa temperatura de convergencia particular. De manera similar, eutécticos de alto punto de fusión (o constituyentes metaestables y compuestos intermetálicos) se pueden modificar adicionalmente o se pueden modificar/transformar
30 adicionalmente en la estructura, si se alcanza la temperatura de convergencia y se mantiene en una región de fase mixta común a dos regiones de fase binaria adyacentes. Además de esto, los constituyentes y compuestos intermetálicos colados de punto de fusión nominalmente más alto pueden ser fracturados y/o redondeados, y es más probable que los constituyentes y compuestos intermetálicos colados de bajo punto de fusión fundan o se difundan en el material a granel durante el procedimiento de colada.

40 que los que se encuentran normalmente después de un proceso de homogeneización completa, pero en un periodo de tiempo sustancialmente más corto.

Preferiblemente, este método proporciona un procedimiento para procesar térmicamente un lingote de metal que comprende las etapas de:

- 45 (a) pre-calentar un lingote a una temperatura correspondiente a una composición sobre la solvus, en que
 (b) la parte de material sobresaturado que precipita de la disolución durante el calentamiento contribuye a la nucleación de un precipitado,
 (c) mantener el lingote a esa temperatura durante un período de tiempo, después
 50 (d) aumentar la temperatura del lingote a una temperatura que corresponde a una composición en el solvus, y
 (e) permitir que la parte del material sobresaturado precipite de la disolución en la segunda etapa de calentamiento para contribuir al crecimiento de un precipitado, después

- (f) mantener el lingote a esa temperatura durante un período de tiempo para permitir la difusión continua de soluto de los precipitados más pequeños (térmicamente inestables) que potencian el crecimiento de los precipitados más estables más grandes o, alternativamente, aumentar gradualmente la temperatura, aumentando con ello la concentración de soluto que contribuye al crecimiento sin que se requiera un mantenimiento de la temperatura.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Fig. 1 es una sección transversal vertical de un molde de colada por enfriamiento rápido directo que muestra una forma preferida de un procedimiento de acuerdo con una realización a modo de ejemplo, y que ilustra en particular un caso en el que el lingote se mantiene caliente durante toda la colada.

- 10 La Fig. 2 es una sección transversal similar a la de la Fig. 1, que ilustra una modificación preferida en la que la posición del limpiador es móvil durante la colada.

La Fig. 3 es una sección transversal similar a la de la Fig. 1, que ilustra un caso en el que el lingote se enfría (se enfría bruscamente) adicionalmente en el extremo inferior durante la colada.

- 15 La Fig. 4 es una vista en planta superior de un molde de colada en forma de J que ilustra una forma preferida de una forma de una realización a modo de ejemplo.

La Fig. 5 es un gráfico que muestra distancias X de la Fig. 1 para un molde del tipo mostrado en la Fig. 4, correspondiendo los valores de X a puntos alrededor de la periferia del molde medida en una dirección en el sentido de las agujas del reloj desde el punto S en la Fig. 4.

La Fig. 6 es una vista en perspectiva de un limpiador diseñado para el molde de colada de la Fig. 4.

- 20 La Fig. 7 es un gráfico que ilustra un proceso de colada de acuerdo con una forma de realización a modo de ejemplo, que muestra la temperatura de la superficie y la temperatura del núcleo a lo largo del tiempo de una aleación de Al-1,5%Mn-0,6%Cu tal como es colada por DC y después es sometida a enfriamiento con agua y a la limpieza con refrigerante. El historial térmico en la región en donde tiene lugar la solidificación y el recalentamiento de una aleación Al-1,5%Mn-0,6%Cu es similar a la de la patente de EE.UU. 6.019.939 en el caso en el que no se enfría de manera forzada el grueso del lingote (el trazo más bajo de temperatura es la superficie, y el trazo superior (discontinuo) es el centro).

25

La Fig. 8 es un gráfico que ilustra la misma operación de colada que la Fig. 7, pero prolongándose durante un período de tiempo más largo y mostrando, en particular, el período de enfriamiento después de la convergencia o rebote de la temperatura.

- 30 La Fig. 9 es un gráfico similar a la Fig. 7, pero que muestra las mediciones de temperatura de la misma colada llevada a cabo en tres tiempos ligeramente diferentes (diferentes longitudes del lingote, tal como se muestra en la figura). Las líneas continuas muestran las temperaturas de la superficie de los tres segmentos, y las líneas de puntos muestran las temperaturas del núcleo. Los tiempos durante los cuales las temperaturas de la superficie permanecen por encima de 400°C y 500°C se pueden determinar a partir de cada segmento y son mayores que 15 minutos en cada caso. Se muestran para cada caso las temperaturas de rebote de 563, 581 y 604°C.

35

La Fig. 10a muestra micrografías electrónicas de transmisión de la aleación de Al-1,5%Mn-0,6%Cu similares a las de la patente de EE.UU. nº 6.019.939 con un historial de solidificación y refrigeración de acuerdo con el Procedimiento de Enfriamiento Rápido Directo comercial, y el historial de procesamiento térmico y mecánico de acuerdo con la Muestra A en el siguiente Ejemplo, que muestra la población de precipitado típica en un espesor de 6 mm, que se encuentra a 25 mm desde la superficie y el centro del lingote.

40

La Fig. 10b es una fotomicrografía de la misma zona en la lámina que la Fig. 10a, pero mostrada en la luz polarizada para revelar el tamaño de la célula recristalizada.

La Fig. 11a muestra micrografías electrónicas de transmisión de Al-1,5%Mn-0,6%Cu, aleación similar a la de la patente de EE.UU. nº 6.019.939, con un historial de solidificación y refrigeración de acuerdo con el Procedimiento de

Enfriamiento Rápido Directo comercial, y el historial de procesamiento térmico y mecánico de acuerdo con la Muestra B en el siguiente Ejemplo, que muestra la población de precipitado típica en un espesor de 6 mm, que se encuentra a 25 mm desde la superficie y el centro del lingote.

5 La Fig. 11b es una fotomicrografía de la misma zona en la lámina que la Fig. 11a, pero mostrada en la luz polarizada para revelar el tamaño de la célula recristalizada.

10 La Fig. 12a muestra micrografías electrónicas de transmisión de Al-1,5%Mn-0,6%Cu, aleación similar a la de la patente de EE.UU. nº 6.019.939, con un historial de solidificación y refrigeración de acuerdo con la Fig. 7 y la Fig. 8, y el historial de procesamiento térmico y mecánico de acuerdo con la Muestra C en el siguiente Ejemplo, que muestra la población de precipitado típica en un espesor de 6 mm, que se encuentra a 25 mm desde la superficie y el centro del lingote.

La Fig. 12b es una fotomicrografía de la misma zona en la lámina que la Fig. 12a, pero mostrada en la luz polarizada óptica para revelar el tamaño de la célula recristalizada.

15 La Fig. 13a muestra micrografías electrónicas de transmisión de Al-1,5%Mn-0,6%Cu, aleación similar a la de la patente de EE.UU. nº 6.019.939, con un historial de solidificación y refrigeración de acuerdo con la Fig. 9, y el historial de procesamiento térmico y mecánico de acuerdo con la Muestra D en el siguiente Ejemplo, que muestra la población de precipitado típica en un espesor de 6 mm, que se encuentra a 25 mm desde la superficie y el centro del lingote.

La Fig. 13b es una fotomicrografía de la misma zona en la lámina que la Fig. 13a, pero mostrada en la luz polarizada para revelar el tamaño de la célula recristalizada.

20 La Fig. 14a muestra micrografías electrónicas de transmisión de Al-1,5%Mn-0,6%Cu, aleación similar a la de la patente de EE.UU. nº 6.019.939, con un historial de solidificación y refrigeración de acuerdo con el Procedimiento de Enfriamiento Rápido Directo comercial, y el historial de procesamiento térmico y mecánico de acuerdo con la Muestra E en el siguiente Ejemplo, que muestra la población de precipitado típica en un espesor de 6 mm, que se encuentra a 25 mm desde la superficie y el centro del lingote.

25 La Fig. 14b es una fotomicrografía de la misma zona en la lámina que la Fig. 14a, pero mostrada en la luz polarizada para revelar el tamaño de la célula recristalizada.

30 La Fig. 15a muestra micrografías electrónicas de transmisión de Al-1,5%Mn-0,6%Cu, aleación similar a la de la patente de EE.UU. nº 6.019.939, con un historial de solidificación y refrigeración de acuerdo con el Procedimiento de Enfriamiento Rápido Directo comercial, y el historial de procesamiento térmico y mecánico de acuerdo con la Muestra F en el siguiente Ejemplo, que muestra la población de precipitado típica en un espesor de 6 mm, que se encuentra a 25 mm desde la superficie y el centro del lingote.

La Fig. 15b es una fotomicrografía de la misma zona en la lámina que la Fig. 15a, pero mostrada en la luz polarizada para revelar el tamaño de la célula recristalizada.

35 La Fig. 16 es una micrografía electrónica de barrido con el Barrido de la Línea de Cobre (Cu) de Al-4,5% Cu a través del centro de una estructura de grano solidificada que muestra la microsegregación típica común para el Procedimiento de Colada por Enfriamiento Rápido Directo comercial.

La Fig. 17 es una imagen SEM con el Barrido de la Línea de Cobre (Cu) de Al-4,5% Cu con un limpiador y una temperatura de rebote/convergencia (300°C) en el intervalo enseñado por Ziegler, 2.705.353, o Zinniger, 4.237.961.

40 La Fig. 18 es una imagen SEM con el Barrido de la Línea de Cobre (Cu) de Al-4,5% Cu de acuerdo con una realización a modo de ejemplo en el caso en el que el grueso del lingote no se enfría de modo forzado (véase la Fig. 19).

La Fig. 19 es un gráfico que ilustra el historial térmico de una aleación de Al-4,5% Cu en la región en la que tienen lugar la solidificación y el recalentamiento en el caso en el que el grueso del lingote no se enfría de modo forzado (véase la Fig. 18).

- La Fig. 20 es una imagen SEM con el Barrido de la Línea de Cobre (Cu) de Al-4,5% Cu de acuerdo con una realización a modo de ejemplo en el caso en el que el grueso del lingote se enfría de modo forzado después de una demora intencionada (véase la Fig. 21).
- 5 La Fig. 21 es un gráfico que muestra el historial térmico en la región en la que tienen lugar la solidificación y el recalentamiento de una aleación de Al-4,5%Cu en el caso en el que el grueso del lingote se enfría de modo forzado después de una demora intencionada (véase la Fig. 20).
- La Fig. 22 es un gráfico que muestra fracciones de área representativas de fases intermetálicas coladas comparadas a través de tres rutas diferentes de procesamiento.
- 10 La Fig. 23 es un gráfico que ilustra el historial térmico en la región en la que tienen lugar la solidificación y el recalentamiento de una aleación de Al-0,5%Mg-4,5%Si (6063) en el caso en el que el grueso del lingote no se enfría de modo forzado.
- La Fig. 24 es un gráfico que ilustra el historial térmico en la región en la que tienen lugar la solidificación y el recalentamiento de una aleación de Al-0,5%Mg-4,5%Si (AA6063) en el caso en el que el grueso del lingote se enfría de modo forzado después de una demora intencionada.
- 15 Las Figs. 25a, 25b y 25c son cada una patrones de difracción de la aleación tratada de acuerdo con la Fig.23, y la Fig. 24 es una identificación de fases por XRD.
- Las Figs. 26a, 26b y 26c son cada una representaciones gráficas de técnicas de FDC llevadas a cabo en los lingotes convencionalmente colados, y también tratados de acuerdo con los procesos de las Figs. 23 y 24.
- 20 Las Figs. 27a y 27b son fotomicrografías ópticas de una aleación de Al-1,3%Mn (AA3003) intermetálica según ha sido colada, procesada de acuerdo con una realización a modo de ejemplo, fracturada;
- la Fig. 28 es una fotomicrografía óptica de una aleación de Al-1,3%Mn intermetálica según ha sido colada, procesada de acuerdo con una realización a modo de ejemplo, modificada;
- la Fig. 29 es una micrografía electrónica de transmisión de fase intermetálica según ha sido colada, colada de acuerdo con esta realización a modo de ejemplo, modificada por difusión de Si en la partícula, que muestra una zona desnuda;
- 25 la Fig. 30 es un gráfico que ilustra el historial térmico de una aleación de Al-7%Mg convencionalmente procesada;
- la Fig. 31 es un gráfico que ilustra el historial térmico de una aleación de Al-7%Mg en la región en la que tienen lugar la solidificación y el recalentamiento en el caso en que el grueso del lingote no se enfría de manera forzada con una temperatura de rebote que está por debajo de la temperatura de disolución para la fase beta (β);
- 30 la Fig. 32 es un gráfico que ilustra el historial térmico de una aleación de Al-7%Mg en la región en la que tienen lugar la solidificación y el recalentamiento en el caso en que el grueso del lingote no se enfría de manera forzada con una temperatura de rebote que está por encima de la temperatura de disolución para la fase beta (β);
- la Fig. 33 es una traza de salida de un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) que muestra la presencia de fase beta (β) en el intervalo de 451-453°C (Convencionalmente Material Colado por Enfriamiento Rápido Directo) (véase la Fig. 30);
- 35 la Fig. 34 es la traza de salida de un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) que muestra la fase beta (β) ausente (véase la Fig. 31); y
- la Fig. 35 es la traza de salida de una traza de Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) que muestra la fase beta (β) ausente (véase la Fig. 32).

Las temperaturas mostradas en las Figuras 19, 21, 23, 24 y 30 de los dibujos están en grados Centígrados. Las Figuras 16 y 30 de los dibujos están en relación con una colada por DC convencional, es decir, no son de acuerdo con la presente invención.

MEJORES MODOS DE LLEVAR A CABO LA INVENCION

5 La siguiente descripción se refiere a la colada con enfriamiento rápido directo de aleaciones de aluminio, pero sólo como un ejemplo. La presente realización a modo de ejemplo es aplicable a diversos métodos de colar lingotes de metal, a la colada de la mayoría de las aleaciones, particularmente aleaciones de metales ligeros, y especialmente las que tienen una temperatura de transformación por encima de 450°C y que requieren una homogeneización después de la colada y antes de tratamiento en caliente, p. ej., laminación. Además de aleaciones a base de aluminio, ejemplos de otros metales que pueden ser colados incluyen aleaciones a base de magnesio, cobre, zinc, plomo-estaño y hierro. La realización a modo de ejemplo también puede ser aplicable a la colada de aluminio puro o de otros metales en la que se pueden realizar los efectos de uno de los cinco resultados del procedimiento de homogeneización (véase la descripción de estas etapas arriba).

10 La Fig. 1 de los dibujos adjuntos muestra una sección transversal vertical simplificada de un ejemplo de un fundidor con DC 10 vertical que puede utilizarse para llevar a cabo al menos parte de un procedimiento de acuerdo con una forma a modo de ejemplo de la presente realización a modo de ejemplo. Por supuesto, se reconocerá por personas expertas en la técnica que un fundidor de este tipo podría formar parte de un grupo más grande de fundidores todos funcionando de la misma manera al mismo tiempo, p. ej., formando parte de una mesa de colada múltiple.

15 El metal fundido 12 se introduce en un molde 14 refrigerado por agua y orientado verticalmente a través de una entrada 15 del molde y emerge como un lingote embrionario 16 de una salida 17 del molde. El lingote embrionario tiene un núcleo de metal líquido 24 dentro de una envoltura exterior sólida que se espesa a medida que el lingote embrionario se enfría (tal como se muestra por la línea 19) hasta que se produce un lingote colado completamente sólido. Se entenderá que el molde 14 periféricamente confina y enfría el metal fundido para comenzar la formación de la envoltura sólida, y el metal enfriado se mueve hacia fuera y lejos del molde en una dirección de avance indicada por la flecha A en la Fig. 1. Chorros 18 de líquido refrigerante se dirigen sobre la superficie exterior del lingote a medida que éste emerge del molde con el fin de potenciar la refrigeración y para mantener el proceso de solidificación. El líquido refrigerante es normalmente agua, pero posiblemente se puede emplear otro líquido, p. ej., etilenglicol, para aleaciones especializadas tales como aleaciones de aluminio y litio. El flujo de refrigerante empleado puede ser bastante normal para la colada con DC, p. ej., 1,04 litros por minuto por centímetro de periferia a 1,78 litros por minuto por centímetro de periferia (0,7 galones por minuto (gpm)/pulgada de periferia a 1,2 gpm/pulgada).

20 Un limpiador anular 20 está previsto en contacto con la superficie exterior del lingote espaciados a una distancia X por debajo de la salida 17 del molde y esto tiene el efecto de separar líquido refrigerante (representado por las corrientes 22) de la superficie del lingote, de modo que la superficie de la parte del lingote por debajo del limpiador está libre de líquido refrigerante a medida que el lingote desciende aún más. Las corrientes 22 de refrigerante se muestran derramándose desde el limpiador 20, pero están espaciadas a una distancia de la superficie del lingote 16 de manera que no proporcionan un efecto de enfriamiento.

25 La distancia X se hace de manera que la separación de líquido refrigerante desde el lingote tiene lugar mientras que el lingote es todavía embrionario (es decir, todavía contiene el centro líquido 24 contenido dentro de la envoltura sólida). Dicho de otra manera, el limpiador 20 está situado en una ubicación en la que una sección transversal del lingote tomada perpendicular a la dirección de avance A intersecta una parte del núcleo de metal líquido 24 del lingote embrionario. En las posiciones por debajo de la superficie superior del limpiador 20, el enfriamiento y la solidificación continua del metal fundido dentro del núcleo del lingote libera calor latente de solidificación y calor sensible a la envoltura sólida. Esta transferencia de calor latente y sensible, con la ausencia de un enfriamiento forzado (líquido) continuo, hace que la temperatura de la envoltura sólida (por debajo de la posición en la que el limpiador 20 separa el refrigerante) aumente (en comparación con su temperatura inmediatamente por encima del limpiador) y converja con la del núcleo fundido a una temperatura que se encuentra por encima de una temperatura de transformación a la que el metal sufre una homogeneización *in-situ*. Al menos para las aleaciones de aluminio, la temperatura de convergencia está prevista para que esté en o por encima de 425°C, y más preferiblemente en o por encima de 450°C. Por razones prácticas en términos de medición de la temperatura, la "temperatura de convergencia" (la temperatura común alcanzada primero por el núcleo fundido y la envoltura sólida) se considera que es la misma que la "temperatura de rebote", que es la temperatura máxima a la que la envoltura sólida se eleva en este procedimiento después de la separación de líquido refrigerante.

5 Puede hacerse que la temperatura de rebote llegue lo más alto posible por encima de 425°C, y en general cuanto mayor sea la temperatura, tanto mejor será el resultado deseado de la homogeneización *in-situ*, pero la temperatura de rebote no se elevará, por supuesto, hasta el punto de fusión incipiente del metal, debido a que la envoltura exterior enfriada y solidificada absorbe calor del núcleo e impone un techo a la temperatura de rebote. Se menciona de paso que la temperatura de rebote, siendo generalmente de al menos 425°C, normalmente estará por encima de la temperatura de recocido del metal (las temperaturas de recocido para aleaciones de aluminio están típicamente en el intervalo de 343 a 415°C).

10 La temperatura de 425°C es una temperatura crítica para la mayoría de las aleaciones, ya que, a temperaturas más bajas, las velocidades de difusión de elementos metálicos dentro de la estructura solidificada son demasiado lentas para normalizar o igualar la composición química de la aleación a través del grano. A y por encima de esta temperatura, y en particular a y por encima de 450°C, las velocidades de difusión son adecuadas para producir una ecualización deseada para provocar un deseable efecto homogeneizador *in-situ* del metal.

15 De hecho, a menudo es deseable asegurar que la temperatura de convergencia alcance una determinada temperatura mínima por encima de 425°C. Para cualquier aleación particular, existe habitualmente una temperatura de transición entre 425°C y el punto de fusión de la aleación, por ejemplo una temperatura de solvus o una temperatura de transformación, por encima de la cual tienen lugar cambios micro-estructurales de la aleación, p. ej., conversión de estructuras constituyentes o intermetálicas de la fase β a la fase α . Si la temperatura de convergencia está establecida para superar dichas temperaturas de transformación, los cambios de transformación deseados se pueden introducir en la estructura de la aleación.

20 La temperatura de rebote o convergencia está determinada por los parámetros de colada y, en particular, por la disposición del limpiador 20 por debajo del molde (es decir, la dimensión de la distancia X en la Fig. 1). La distancia X debe elegirse preferiblemente de modo que: (a) haya suficiente metal líquido que quede en el núcleo después de la separación del refrigerante, y una suficiente temperatura en exceso (súper calor) y el calor latente del metal fundido, para permitir que la temperatura del núcleo y la envoltura del lingote alcance la temperatura de convergencia deseada arriba indicada; (b) el metal está expuesto a una temperatura superior a 425°C durante un tiempo suficiente después de la separación de refrigerante para permitir que tengan lugar cambios micro-estructurales deseados a velocidades normales de refrigeración en el aire a velocidades de colada normales; y (c) el lingote se expone a líquido refrigerante (es decir, antes de la separación de líquido refrigerante) durante un tiempo suficiente para solidificar la envoltura en una medida que se estabilice el lingote y se evite el sangrado o ruptura de metal fundido desde el interior.

35 Habitualmente es difícil colocar el limpiador 20 a menos de 50 mm de la salida del molde 17, al tiempo que se permita un espacio suficiente para el enfriamiento del líquido y la solidificación de la envoltura, de modo que este es generalmente el límite práctico inferior (dimensión mínima) para la distancia X. Como una cuestión práctica se encuentra que el límite superior (máxima dimensión) es aproximadamente 150 mm, independientemente del tamaño del lingote, con el fin de alcanzar las temperaturas de rebote deseadas, y el intervalo preferido para la distancia X es normalmente de 50 mm a 100 mm. La posición óptima del limpiador puede variar de una aleación a otra y de un equipo de colada a otro (dado que lingotes de diferentes tamaños pueden ser colados a diferentes velocidades de colada), pero siempre está por encima de la posición en la que el núcleo del lingote se vuelve completamente sólido. Una posición (o intervalo de posiciones) adecuada se puede determinar para cada caso mediante el cálculo (utilizando la generación de calor y ecuaciones de la pérdida de calor), o por medio de mediciones de temperatura de la superficie (p. ej., utilizando termopares estándares embebidos en la superficie o como sondas de contacto superficial o sin contacto) o mediante ensayo y experimentación. Para moldes de colada con DC de una capacidad normal que forman un lingote de 10 a 60 cm de diámetro, se emplean normalmente velocidades de colada de al menos 40 mm/minuto, más preferiblemente de 50 a 75 mm/min (o $9,0 \times 10^4$ a $4,0 \times 10^3$ metros/segundo).

45 En algunos casos, es deseable hacer que la distancia X varíe en diferentes momentos durante un proceso de colada, es decir, haciendo que el limpiador 20 se mueva más cerca del molde 14 o se aleje más del molde. Esto es para admitir las diferentes condiciones térmicas con las que se topa durante las fases transitorias al inicio y al final del proceso de colada.

50 Al comienzo de la colada, un bloque inferior taponaba la salida del molde y se hace descender gradualmente para iniciar la formación del lingote colado. Se pierde calor desde el lingote al bloque inferior (que normalmente está hecho de un metal conductor del calor), así como de la superficie exterior del lingote emergente. Sin embargo, a medida que avanza la colada y la parte emergente del lingote se separa del bloque inferior una distancia creciente, el calor se pierde solamente desde la superficie exterior del lingote. Al final de la colada, puede ser deseable hacer

que la envoltura exterior esté más fría de lo normal justo antes de terminar la colada. Esto se debe a que la última parte del lingote que emerge del molde es sujeta normalmente por un dispositivo elevador, de manera que todo el lingote puede ser elevado. Si la envoltura está más fría y es más gruesa, es menos probable que el dispositivo elevador provoque una deformación o desgarramiento que pueda hacer peligrar la operación de elevación. Con el fin de conseguir esto, el caudal de líquido refrigerante se puede incrementar en la fase final de la colada.

En la fase de puesta en marcha, se retira más calor del lingote que durante la fase de colada normal debido a la pérdida de calor hacia el bloque inferior. En tal caso, el limpiador se puede mover temporalmente más cerca del molde para reducir el espacio de tiempo que la superficie del lingote se expone al agua de refrigeración, reduciendo así la extracción de calor. Después de un cierto tiempo, el limpiador puede ser reubicado a su posición normal para la fase de colada normal. En la fase final, se ha encontrado en la práctica que puede no requerirse movimiento alguno del limpiador, pero, si es necesario, el limpiador puede ser elevado para compensar el calor adicional eliminado por el caudal incrementado del líquido refrigerante.

La distancia a través de la cual se desplaza el limpiador (variación en X, es decir, ΔX) y los momentos en que se toman los movimientos se puede calcular a partir de ecuaciones de pérdida de calor teórica, evaluada a partir de ensayo y experimentación, o (más preferiblemente) en base a la temperatura de la superficie del lingote por encima (o, posiblemente, por debajo) del limpiador determinado por un sensor apropiado. En este último caso, una temperatura de la superficie anormalmente baja puede indicar la necesidad de un acortamiento de la distancia X (menos refrigeración) y una temperatura de la superficie inusualmente alta puede indicar la necesidad de un alargamiento de la distancia X (más refrigeración). Un sensor adecuado para este propósito se describe en la patente de EE.UU. 6.012.507, que fue expedida el 11 de enero 2000 a Marc Auger et al.

Al comienzo de la colada se requiere habitualmente el ajuste de la posición del limpiador sólo para los primeros 50 cm a 60 cm del proceso de colada. Se pueden realizar varios pequeños cambios incrementales, p. ej., por una distancia de 25 mm en cada caso. Para un lingote de 68,5 cm de espesor, el primer ajuste puede estar dentro de 150-300 mm del inicio del lingote, y luego se pueden realizar variaciones similares en 30 cm y 50-60 cm. Para un lingote de 50 cm de espesor, los ajustes se pueden hacer a los 15 cm, 30 cm, 50 cm y 80 cm. La posición final del limpiador es la requerida para el proceso de colada normal, de modo que el limpiador comienza en el punto más cercano al molde y luego se mueve hacia abajo a medida que prosigue la colada. Esto se aproxima a la reducción de la pérdida de calor a medida que la parte emergente del lingote se separa más ampliamente del bloque inferior a medida que prosigue la colada. Por lo tanto, la distancia X comienza más corta que en la fase de colada normal y gradualmente se alarga a la distancia requerida para la colada normal.

Al final de la colada, si se requiere en todo caso algún ajuste, esto se puede hacer dentro de los últimos 25 cm de la pieza colada, y normalmente sólo hay necesidad de un ajuste en uno a dos centímetros.

El ajuste de la posición del limpiador se puede realizar manualmente (p. ej., si el limpiador está soportado por cadenas que tienen enlaces o resquicios a través de los cuales se insertan proyecciones (p. ej., ganchos) sobre el limpiador, el limpiador puede estar soportado y elevado, de manera que las proyecciones pueden ser insertadas a través de diferentes enlaces o resquicios). Alternativa, y más preferiblemente, el limpiador puede estar soportado y ser movido por gatos eléctricos, neumáticos o hidráulicos, opcionalmente enlazados por ordenador (o equivalente) a un aparato sensor de la temperatura del tipo arriba mencionado, de manera que el limpiador puede ser movido de acuerdo con un bucle de retroalimentación con la lógica incorporada. Una disposición de este tipo se muestra de forma simplificada en la Fig. 2.

El aparato mostrado en la Fig. 2 es similar al de la Fig. 1, excepto que el limpiador 20 es ajustable en altura, p. ej., desde una posición superior mostrada en líneas continuas a una posición inferior mostrada en líneas discontinuas. Por lo tanto, la distancia X desde la salida del molde 14 puede ser modificada por ΔX (ya sea hacia arriba o hacia abajo). Esta capacidad de ajuste es posible porque el limpiador 20 está soportado sobre soportes ajustables 21 que son disposiciones de pistón y cilindro hidráulico accionadas por un motor hidráulico 23. El motor hidráulico 23 está a su vez controlado por un ordenador 25 en base a la información de la temperatura suministrada por un sensor de temperatura 27 que controla la temperatura de la superficie del lingote 16 inmediatamente por debajo de la salida 17 del molde 14. Como se ha indicado anteriormente, si la temperatura registrada por el sensor 27 es inferior a un valor predeterminado, el limpiador 20 puede ser elevado, y si la temperatura está por encima de un valor predeterminado, el limpiador puede ser bajado.

De manera deseable, en todas las formas de las realizaciones a modo de ejemplo, la temperatura de convergencia del lingote por debajo del limpiador 20 debería mantenerse por encima de la temperatura de transformación para la

homogeneización *in-situ* (generalmente por encima de 425°C) durante un período de tiempo suficiente para permitir que tengan lugar las deseadas transformaciones micro-estructurales. El tiempo exacto dependerá de la aleación, pero está preferiblemente en el intervalo de 10 minutos a 4 horas dependiendo de las velocidades de difusión elementales y de la cantidad a la que la temperatura de rebote se eleva por encima de 425°C. Normalmente, los cambios deseables han tenido lugar después de no más de 30 minutos y, a menudo, en el intervalo de 10 a 15 minutos. Esto está en un claro contraste con el tiempo requerido para la homogeneización convencional de una aleación, que está normalmente en el intervalo de 46 a 48 horas a temperaturas por encima de una temperatura de transformación (p. ej. solvus) del metal (a menudo 550 a 625°C). A pesar del tiempo muy reducido del procedimiento de las realizaciones a modo de ejemplo en comparación con la homogeneización convencional, la micro-estructura resultante del metal es esencialmente la misma en ambos casos, es decir, el producto colado de las realizaciones a modo de ejemplo tiene la micro-estructura de un metal homogeneizado sin haber sufrido una homogeneización convencional, y puede ser enrollado o tratado en caliente sin una homogeneización ulterior. Por lo tanto, a la realización a modo de ejemplo de la invención se la alude como "homogeneización *in-situ*", es decir, homogeneización producida durante la colada en vez de después.

Como resultado de la aplicación de líquido refrigerante y de la subsiguiente separación, la superficie del lingote emergente se somete primero a la característica de enfriamiento rápido de los regímenes de ebullición de la película y la película nucleada, asegurando con ello que la temperatura de la superficie se reduzca rápidamente a un nivel bajo (p. ej., 150°C a 300°C), pero luego se somete a la separación de líquido refrigerante, permitiendo así que la temperatura en exceso y el calor latente del centro fundido del lingote (así como el calor sensible del metal sólido) recalienten la superficie de la envoltura sólida. Esto asegura que se alcancen las temperaturas necesarias para las transiciones micro-estructurales deseadas.

Es de señalar que, si se permite que el refrigerante contacte con el lingote durante un tiempo más largo que el que es deseable antes de ser separado de la superficie del lingote (o si el refrigerante no se separa del todo), ya no es posible hacer uso del efecto sustancial del súper-calor y del calor latente de solidificación del núcleo fundido para calentar la envoltura del lingote lo suficientemente para lograr los cambios metalúrgicos deseados. Mientras que existiría algún equilibrio de la temperatura a lo largo del lingote con un proceso de este tipo, y si bien esto podría dar lugar posiblemente a una reducción beneficiosa de la tensión y la reducción del agrietamiento, no se obtienen los cambios metalúrgicos deseados y, por lo tanto, se requeriría un proceso de homogeneización adicional convencional antes de laminar los lingotes al calibre o grosor deseado. El mismo problema puede aparecer si el refrigerante se separa de la superficie del lingote de la manera deseada, y luego se pone en contacto refrigerante adicional con el lingote antes del equilibrado de la temperatura a lo largo del lingote, y han tenido lugar cambios micro-estructurales deseados en el metal.

En algunos casos, el refrigerante (en particular, refrigerante basado en agua) puede ser separado temporalmente y al menos parcialmente de la superficie del lingote por ebullición de la película nucleada natural, de manera que el vapor de agua generado en las fuerzas de la superficie del metal fuerza a separarse al líquido refrigerante del lingote. Generalmente, sin embargo, el líquido vuelve a la superficie a medida que tiene lugar un enfriamiento adicional. Si esta separación temporal de refrigerante tiene lugar antes de utilizar el limpiador en esta realización a modo de ejemplo, la superficie del lingote puede mostrar una doble caída en su perfil de temperaturas. El refrigerante enfría la superficie hasta que se separa temporalmente por ebullición de la película nucleada, de modo que la temperatura se eleva entonces hasta cierto punto, después la superficie del lingote pasa a través de una agrupación de refrigerante mantenida en la superficie superior del limpiador (el limpiador puede ser cóncavo hacia el lingote para fomentar la formación de una agrupación de refrigerante) y la temperatura cae de nuevo, sólo para elevarse una vez más cuando el limpiador separa todo el refrigerante de la superficie del lingote. Esto produce una forma de "W" característica en la curva de enfriamiento de la envoltura del lingote (como puede verse en las Figs. 23 y 24).

El limpiador 20 de la Fig. 1 puede estar en forma de un anillo de material elastomérico blando, resistente a la temperatura (p. ej., un caucho de silicona resistente a altas temperaturas) contenido dentro de un alojamiento de soporte rígido circundante (hecho, por ejemplo, de metal).

Mientras que la Fig. 1 ilustra un limpiador físico 20, se pueden emplear otros medios de separación de líquido de refrigerante, si se desea. De hecho, a menudo es ventajoso proporcionar métodos sin contacto de separación de refrigerante. Por ejemplo, chorros de gas o de un líquido diferente se pueden proporcionar en el lugar deseado para separar el refrigerante que fluye a lo largo del lingote. Alternativamente, puede hacerse uso de la ebullición de la película nucleada tal como se indicó anteriormente, es decir, se puede impedir que el refrigerante vuelva a la superficie del lingote después de la separación temporal debido a la ebullición de la película nucleada. Se muestran ejemplos de métodos sin contacto de este tipo de separación de líquido refrigerante, por ejemplo, en la patente de

EE.UU. 2.705.353 expedida a Zeigler, la patente alemana DE 1.289.957 expedida a Moritz, la patente de EE.UU. 2.871.529 expedida a Kilpatrick y la patente de EE.UU. 3.763.921 expedida a Beke et al. La ebullición de la película nucleada puede ser asistida mediante la adición de un gas disuelto o comprimido, tal como dióxido de carbono o aire, al refrigerante líquido, p. ej., tal como se describe en la patente de EE.UU. n° 4.474.225 expedida a Yu, o las patentes de EE.UU. 4.693.298 y 5.040.595 expedidas a Wagstaff.

Alternativamente, la velocidad de suministro del refrigerante en las corrientes 18 puede ser controlada hasta el punto de que todo el refrigerante se evapora de la superficie del lingote antes de que el lingote alcance el punto crítico (distancia X) por debajo del molde o antes de que la superficie del lingote se enfríe por debajo de una temperatura de la superficie crítica. Esto se puede hacer utilizando un suministro de refrigerante tal como se muestra en la patente de EE.UU. 5.582.230 expedida a Wagstaff et al., expedida el 10 de diciembre de 1996 (cuya descripción se incorpora en esta memoria como referencia). En esta disposición, el líquido refrigerante se suministra a través de dos filas de boquillas conectadas a diferentes suministros de refrigerante y es una simple cuestión de variar la cantidad de refrigerante aplicado a la superficie del lingote para asegurarse de que el refrigerante se evapore cuando se desee (distancia X). Alternativamente, o además, los cálculos de calor se pueden hacer de una manera similar a los de la patente de EE.UU. 6.546.995 sobre la base de porciones anulares en parte anularmente sucesivas del molde para garantizar que se aplique un volumen de agua que se evaporará según se requiera.

Las aleaciones de aluminio que se pueden colar de acuerdo con las realizaciones a modo de ejemplo incluyen tanto aleaciones no tratables térmicamente (p. ej., de las series AA1000, 3000, 4000 y 5000) y aleaciones tratables térmicamente (p. ej., de las series AA 2000, 6000 y 7000). En el caso de las aleaciones tratables térmicamente coladas de la manera conocida, Uchida et al. enseñaron en el documento PCT/JP02/02900 que una etapa de homogeneización seguida de un enfriamiento rápido a una temperatura por debajo de 300°C, preferiblemente a temperatura ambiente, antes del calentamiento y la laminación en caliente, y del subsiguiente tratamiento térmico de la disolución y del envejecimiento, exhibe propiedades superiores (resistencia a las abolladuras, la mejora de los valores formados en blanco y propiedades de dureza) en comparación con los materiales procesados convencionalmente. Inesperadamente, esta característica puede ser duplicada en las realizaciones a modo de ejemplo durante el proceso de colada de lingotes, si se desea, sometiendo el lingote (es decir, la parte del lingote que ya ha sufrido una homogeneización *in-situ*) a una etapa de enfriamiento brusco después de haber pasado un período de tiempo suficiente (p. ej., al menos 10 a 15 minutos) después de la separación de líquido refrigerante para permitir la homogeneización de la aleación, pero antes del enfriamiento adicional sustancial del lingote.

Este enfriamiento brusco final (enfriamiento brusco *in-situ*) se ilustra en la Fig. 3 de los dibujos adjuntos, en donde se lleva a cabo una operación de colada con DC (esencialmente la misma que la de la Fig. 1), pero el lingote se sumerge en una balsa 34 de agua (a la que se alude como una balsa del foso o agua del foso) a una distancia Y adecuada debajo del punto en el que se separa el refrigerante del lingote. Tal como se estableció, la distancia Y debe ser suficiente para permitir que la homogeneización *in-situ* deseada prosiga durante un periodo de tiempo eficaz, pero insuficiente para permitir una refrigeración sustancial adicional. Por ejemplo, la temperatura de la superficie exterior del lingote justo antes de la inmersión en la balsa 34 debería estar preferiblemente por encima de 425°C, y deseablemente en el intervalo de 450 a 500°C. La inmersión provoca entonces un templado rápido con agua de la temperatura del lingote a una temperatura (p. ej., 350°C) por debajo del cual las transformaciones de la estructura sólida no tienen lugar a una velocidad apreciable. Después de esto, el lingote se puede cortar para formar un segmento estándar que se utiliza para el procesamiento de laminación o adicional.

Incidentalmente, para permitir que un lingote sea templado con agua en toda su longitud, el foso de colada (el foso al que desciende el lingote a medida que emerge del molde) debe ser más profundo que la longitud del lingote, de forma que cuando no se añade más metal fundido al molde, el lingote puede continuar descendiendo en el foso y en la balsa 34 hasta que esté completamente sumergido. Como alternativa, el lingote puede ser parcialmente sumergido a una profundidad máxima de la balsa 34, y luego se puede introducir más agua en el foso de colada para elevar el nivel de la superficie de la balsa hasta que el lingote está totalmente sumergido.

Cabe señalar que las realizaciones a modo de ejemplo no se limitan a la colada de lingotes cilíndricos y que puede aplicarse a lingotes de otras formas, p. ej., lingotes rectangulares o los formados por un molde de colada con DC conformado tal como se describe en la Fig. 9 o la Fig. 10 de la patente de EE.UU. n° 6.546.995, expedida el 15 de abril de 2003 a Wagstaff. La Fig. 10 de la patente se duplica en la presente solicitud como Fig. 4, que es una vista en planta superior que mira hacia el molde de colada. Se verá que el molde tiene una forma aproximadamente de "J" y se pretende producir un lingote que tenga una forma en sección transversal correspondiente. Un lingote embrionario producido a partir de un molde de este tipo tendría un núcleo fundido que está espaciado desde la superficie exterior por diferentes distancias en puntos alrededor de la circunferencia del lingote y, por lo tanto, dada una terminación de

refrigeración igual alrededor de la circunferencia del lingote (distancia X), se suministrarían diferentes cantidades de súper-calor y de calor latente de solidificación a diferentes partes de la envoltura del lingote.

5 De hecho, es deseable para someter todas las partes de la envoltura alrededor de la periferia a la misma temperatura de convergencia. En la patente de EE.UU. 6.546.995, las características de colada iguales alrededor del molde se aseguran al ajustar la geometría de las superficies de colada del molde para adaptarse a la forma del lingote colado. En las realizaciones a modo de ejemplo, es posible asegurar que cada una de las partes de la envoltura del lingote embrionario (después de la terminación de la refrigeración) se someta a la misma entrada de calor desde el núcleo fundido y a la misma temperatura de convergencia dividiendo la circunferencia del lingote en segmentos teóricos de acuerdo con la forma del lingote, y separando líquido refrigerante a diferentes distancias de la salida del molde en diferentes segmentos. Algunos segmentos (a los que serán sometidos a aportaciones más altas de calor desde el núcleo) estarán expuestos al fluido refrigerante durante un período de tiempo mayor que otros segmentos (los que tienen menos exposición al calor). Por lo tanto, algunos segmentos de la envoltura tendrán una temperatura inferior a otros después de haber separado el fluido refrigerante, y esta temperatura más baja compensará la aportación de calor más alta a los segmentos del núcleo de modo que las temperaturas de convergencia se igualan alrededor de la circunferencia del lingote.

20 Un proceso de este tipo se puede conseguir, por ejemplo, mediante el diseño de un limpiador (a) de forma que encaje de manera ajustada alrededor del lingote conformado, y (b) que tenga diferentes planos o un contorno conformado en el extremo del limpiador que mira hacia el molde, teniendo los diferentes planos o secciones del contorno una separación diferente de la salida del molde. La Fig. 5 es un gráfico que muestra variaciones en la distancia X alrededor de la periferia del molde de la Fig. 4 diseñado para producir incluso temperaturas de convergencia alrededor del lingote (la gráfica comienza en el punto S en la Fig. 4 y prosigue en una dirección conforme a las agujas del reloj). Un limpiador que tiene una forma periférica correspondiente se utiliza entonces para provocar la igualación deseada de la temperatura de convergencia alrededor de la periferia del lingote.

25 La Fig. 6 ilustra un limpiador que podría ser eficaz para la colada de un lingote que tiene una forma similar al de la Fig. 4. Se verá que el limpiador tiene una forma compleja con partes que están elevadas con respecto a otras partes, asegurando con ello que el líquido refrigerante sea separado de la superficie exterior del lingote emergente en las posiciones diseñadas para igualar la temperatura de convergencia alrededor del lingote en posiciones por debajo del limpiador.

30 Los puntos en los que se separa el refrigerante de los diversos segmentos, y la anchura de los propios segmentos, puede ser decidida mediante modelado por ordenador del flujo de calor dentro del lingote fundido, o por simple ensayo y experimentación para cada uno de los lingotes de diferente forma. De nuevo, el objetivo es lograr las mismas temperaturas de convergencia, o muy similares, alrededor de la periferia de la envoltura del lingote.

35 Como ya se ha comentado ampliamente, las realizaciones a modo de ejemplo, al menos en sus formas preferidas, proporcionan un lingote que tiene una estructura microcristalina que se asemeja o es idéntica a la de la misma pieza colada de metal de una manera convencional (sin limpieza de líquido refrigerante) y posteriormente se somete a una homogeneización convencional. Por lo tanto, los lingotes de las realizaciones a modo de ejemplo se pueden laminar o tratar en caliente, sin recurrir a un tratamiento adicional de homogeneización. Normalmente, los lingotes se laminan primero en caliente, y esto requiere que sean precalentados a una temperatura adecuada, p. ej., normalmente, al menos 500°C, y más preferiblemente al menos 520°C. Después de la laminación en caliente, las láminas resultantes de calibre intermedio son entonces normalmente laminadas en frío hasta el calibre final.

40 Como un aspecto adicional de las realizaciones a modo de ejemplo, se ha encontrado que al menos algunos metales y aleaciones se benefician de un proceso de precalentamiento de dos etapas, opcional, particular, después de la formación de lingotes y antes de la laminación en caliente. Estos lingotes son producidos mediante el procedimiento de "homogeneización *in-situ*" descrito anteriormente. Este proceso de pre-calentamiento en dos etapas es particularmente adecuado para aleaciones destinadas a tener características de "estiramiento profundo", p. ej., aleaciones de aluminio que contienen Mn y Cu (p. ej., aleación de aluminio AA3003 que tiene 1,5% en peso de Mn y 0,6% en peso de Cu). Estas aleaciones se basan en la precipitación o en el fortalecimiento de la dispersión. En el proceso de precalentamiento en dos etapas, lingotes colados con DC normalmente son descostrados y, a continuación, se disponen en un horno de precalentamiento para un procedimiento de calentamiento en dos etapas que implica: (1) calentar lentamente a una temperatura de nucleación intermedia por debajo de una temperatura de laminación en caliente convencional para la aleación de que se trate, y (2) continuar calentando el lingote lentamente a una temperatura de precalentamiento de laminación en caliente normal o una temperatura más baja, y mantener la aleación a esa temperatura durante un cierto número de horas. La temperatura intermedia permite la nucleación del

metal y la re-absorción o destrucción de núcleos inestables y su reemplazo por núcleos estables que forman los centros de crecimiento más sólido del precipitado. El período de mantenimiento a la temperatura más alta permite un tiempo para el crecimiento del precipitado a partir de los núcleos estables antes de que comience la laminación.

5 La etapa (1) del proceso de calentamiento puede implicar mantener la temperatura a la temperatura de nucleación (la temperatura más baja a la que comienza la nucleación) o, de manera más deseable, implica elevar gradualmente la temperatura a la temperatura más alta de la etapa (2). La temperatura durante esta etapa puede ser de 380-450°C, más preferiblemente 400-420°C, y la temperatura puede ser mantenida o elevada lentamente dentro de este intervalo. La tasa de incremento de temperatura debe ser preferiblemente inferior a 25°C/h, y más preferiblemente inferior a 20°C/h, y se extiende generalmente a lo largo de un período de 2 a 4 horas. La tasa de calentamiento a la temperatura de nucleación puede ser más alta, p. ej., una media de aproximadamente 50°C/hora (aunque la tasa de la primera media hora o así puede ser más rápida, por ejemplo 100 a 120°C/h, y luego disminuye a medida que se aproxima a la temperatura de nucleación).

15 Después de la etapa (1), la temperatura del lingote se eleva adicionalmente (si es necesario) hasta la temperatura de laminación en caliente o a una temperatura inferior a la que puede tener lugar el crecimiento del precipitado, habitualmente en el intervalo de 480-550°C, o más preferiblemente 500-520°C. La temperatura entonces se mantiene constante o adicionalmente se eleva lentamente (p. ej., a la temperatura de laminación en caliente) durante un período de tiempo que preferiblemente no es menor que 10 horas y no es mayor que 24 horas en total para todo el procedimiento de calentamiento en dos etapas.

20 Mientras se calienta el lingote directamente a la temperatura de precalentamiento de laminación (por ejemplo, 520°C) hace que aumente el cristal secundario o la población de precipitado, los precipitados resultantes son generalmente de tamaño pequeño. El precalentamiento a la temperatura intermedia conduce a la nucleación y luego el calentamiento continuado a o por debajo de la temperatura de precalentamiento de laminación (p. ej., 520°C) conduce al crecimiento en tamaño de los precipitados secundarios, p. ej., ya que más Mn y Cu sale de la disolución y los precipitados continúan creciendo.

25 Después de calentar a la temperatura de laminación en caliente, la laminación en caliente convencional se lleva a cabo normalmente sin demora.

30 El procedimiento de esta memoria descrito que implica la homogeneización *in-situ* también se puede utilizar para colar lingotes compuestos tal como se describe en la solicitud de patente de EE.UU. n° de serie 10/875.978 presentada el 23 de junio de 2004, y publicada el 20 de enero de 2005 como documento de EE.UU. 2005-0011630, y también como se describe en la patente de EE.UU. 6.705.384 expedida el 16 de marzo de 2004.

La invención se describe con más detalle en los siguientes Ejemplos y Ejemplos Comparativos, que se proporcionan solamente con fines ilustrativos y no deben considerarse limitantes.

EJEMPLO 1

35 Tres lingotes colados con enfriamiento directo fueron colados en un molde de lingote para chapa de laminación con enfriamiento rápido directo de 530 mm y 1.500 mm con una longitud final de más de 3 metros. Los lingotes tenían una composición idéntica de Al 1,5% de Mn; 6% de Cu de acuerdo con la Patente de EE. UU. N° 6.019.939. Un primer lingote fue colado con DC de acuerdo con un proceso convencional, un segundo fue colado con DC con homogeneización *in-situ* de acuerdo con el proceso mostrado en las Figs. 7 y 8, en donde se separa el refrigerante y se deja que el lingote se enfríe a temperatura ambiente después de haber sido retirado del foso de colada, y el

40 el tercero fue colado con DC con la homogeneización de enfriamiento brusco *in-situ* de acuerdo con el proceso de la Fig. 9, en donde el refrigerante se separa de la superficie del lingote y se deja que el lingote se vuelva a calentar y luego se enfría bruscamente en un foso de agua aproximadamente un metro por debajo del molde.

45 En más detalle, la Fig. 7 muestra la temperatura de la superficie y la temperatura en el centro (núcleo) a lo largo del tiempo de una aleación de Al-Mn-Cu a medida que es colada con DC y después se somete a un enfriamiento con agua y a una limpieza con refrigerante. La gráfica de la temperatura de la superficie muestra una profunda caída en la temperatura inmediatamente después de la colada a medida que el lingote entra en contacto con el refrigerante, pero la temperatura en el centro permanece poco alterada. La temperatura de la superficie cae hasta aproximadamente 255°C justo antes de la separación del refrigerante. La temperatura de la superficie aumenta luego y converge con la temperatura central a una temperatura de convergencia o de rebote de 576°C. Después de

la convergencia (cuando el lingote es completamente sólido), la temperatura desciende lentamente y es consistente con la refrigeración por aire.

5 La Fig. 8 muestra la misma operación de colada que la Fig. 7, pero que se extiende a lo largo de un período de tiempo más largo y que muestra, en particular, el período de refrigeración después de la convergencia de temperatura o de rebote. Puede verse de esto que la temperatura del lingote solidificado permanece por encima de 425°C durante más de 1,5 horas, lo cual es suficiente para alcanzar la deseada homogeneización *in-situ* del lingote.

10 La Fig. 9 es similar a la Fig. 7, pero muestra las mediciones de temperatura de la misma colada llevada a cabo en tres tiempos ligeramente diferentes (diferentes longitudes del lingote tal como se muestra en la figura). Las líneas continuas muestran las temperaturas de la superficie de las tres gráficas, y las líneas de puntos muestran las temperaturas en el centro del espesor del lingote. Los tiempos para los que las temperaturas de superficie permanecen por encima de 400°C y 500°C se pueden determinar a partir de cada una de las gráficas y son mayores que 15 minutos en cada caso. Las temperaturas de rebote de 563, 581 y 604°C se muestran para cada caso.

15 Muestras de estos lingotes se laminan entonces con un pre-calentamiento convencional a una temperatura de laminación en caliente, o con diversos pre-calentamientos para demostrar la naturaleza de las realizaciones a modo de ejemplo.

Los procesos de colada se llevaron a cabo condiciones de enfriamiento típicas en la industria, p. ej., de 60 mm/min, 1,5 litros/min/cm, temperatura del metal 705°C.

20 Cada uno de los lingotes se seccionó a lo largo del centro (sección media), proporcionando dos porciones de cada uno de los lingotes de 250 mm de anchura, al tiempo que manteniendo el historial térmico en el centro y en la superficie, cada una de las zamarras de 250 mm se seccionó en múltiples lingotes de laminación, de 75 mm de espesor, 250 mm de anchura (en el ½ espesor original del lingote) y 150 mm de largo (en la dirección de colada).

Los lingotes de laminación se trataron a continuación de las siguientes maneras.

25 La **muestra A** (colada con enfriamiento directo con historial térmico convencional y homogeneización convencional modificada) se colocó en un horno a 615°C, en donde aproximadamente después de dos horas y media (2,5) la temperatura del metal se estabilizó y se mantuvo durante 8 horas adicionales a 615°C. La muestra recibió un enfriamiento brusco en el horno a lo largo de tres horas a 480°C y luego se empapó a 480°C durante 15 horas, luego se retiró y se laminó en caliente hasta un espesor de 6 mm. Una porción de este calibre de 6 mm fue entonces laminada en frío hasta un espesor de 1 mm, calentada a una temperatura de recocido de 400°C a una velocidad de 50°C/h, y mantenida durante dos horas, y después se enfrió en el horno.

30 Micrografías electrónicas de transmisión que muestran la distribución del precipitado secundario se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de una pulgada de cualquiera de los bordes (superficie y centro) del material de 6 mm (Fig. 10a). Estructuras de grano recristalizado se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de una pulgada de cualquiera de los bordes (superficies y centro) del material de 1 mm de espesor (Fig. 10b).

35 Esta muestra representa una colada y homogeneización convencionales, excepto que la etapa de homogeneización se abrevió a un total de 26 horas, mientras que la homogeneización convencional normal se lleva a cabo durante 48 horas.

40 La **muestra B** (colada con enfriamiento directo con un historial térmico de colada convencional y pre-calentamiento en dos etapas modificado) se colocó en un horno a 440°C, en donde aproximadamente después de dos (2) horas la temperatura del metal se estabilizó y se mantuvo durante 2 horas adicionales a 440°C. Las temperaturas del horno se elevaron para permitir que el metal se calentara hasta 520°C a lo largo de dos (2) horas y la muestra se mantuvo durante 20 horas y luego se retiró y se laminó en caliente hasta un espesor de 6 mm. Una porción de este calibre de 6 mm fue entonces laminada en frío hasta un espesor de 1 mm, calentada a una temperatura de recocido de 400°C a una velocidad de 50°C/h, y mantenida durante dos horas, y después se enfrió en el horno.

45 Micrografías electrónicas de transmisión que muestran la distribución del precipitado secundario se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de una pulgada de cualquiera de los bordes (superficie y centro) del material de 6 mm de espesor (Fig. 11a). Estructuras de grano recristalizado se caracterizaron en secciones

longitudinales tomadas dentro de una pulgada de cualquiera de los bordes (superficies y centro) del material de 1 mm de espesor (Fig. 11b).

5 La **muestra C** (colada con enfriamiento directo con un historial térmico de colada con homogeneización *in-situ* (de acuerdo con las Figs. 7 y 8) y con pre-calentamiento en dos etapas modificado) se colocó en un horno a 440°C, en donde aproximadamente después de dos (2) horas la temperatura del metal se estabilizó y se mantuvo durante 2 horas adicionales a 440°C. Las temperaturas del horno se elevaron para permitir que el metal se calentara hasta 520°C a lo largo de dos (2) horas y la muestra se mantuvo durante 20 horas y luego se retiró y se laminó en caliente hasta un espesor de 6 mm. Una porción de este calibre de 6 mm fue entonces laminada en frío hasta un espesor de 1 mm, calentada a una temperatura de recocido de 400°C a una velocidad de 50°C/h, y mantenida durante dos horas, y después se enfrió en el horno.

10 Micrografías electrónicas de transmisión que muestran la distribución del precipitado secundario se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de una pulgada de cualquiera de los bordes (superficie y centro) del material de 6 mm de espesor (Fig. 12a). Estructuras de grano recristalizado se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de una pulgada de cualquiera de los bordes (superficies y centro) del material de 1 mm de espesor (Fig. 12b).

15 La **muestra D** (colada con enfriamiento directo con homogeneización *in-situ* y enfriamiento brusco (Fig. 9) y con pre-calentamiento en dos etapas) se colocó en un horno a 440°C, en donde después de dos (2) horas la temperatura del metal se estabilizó y se mantuvo durante 2 horas adicionales a 440°C. Las temperaturas del horno se elevaron para permitir que el metal se calentara hasta 520°C a lo largo de dos (2) horas y la muestra se mantuvo durante 20 horas y luego se retiró y se laminó en caliente hasta un espesor de 6 mm. Una porción de este calibre de 6 mm fue entonces laminada en frío hasta un espesor de 1 mm, calentada a una temperatura de recocido de 400°C a una velocidad de 50°C/h, y mantenida durante dos horas, y después se enfrió en el horno.

20 Micrografías electrónicas de transmisión que muestran la distribución del precipitado secundario se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de 25 mm de cualquiera de los bordes (superficie y centro) del material de 6 mm de espesor (Fig. 13a). Estructuras de grano recristalizado se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de 25 mm de cualquiera de los bordes (superficies y centro) del material de 1 mm de espesor (Fig. 13b).

25 La **muestra F** (colada con enfriamiento directo con un historial térmico convencional y homogeneización convencional modificada) se colocó en un horno a 615°C, en donde aproximadamente después de dos horas y media (2,5) la temperatura del metal se estabilizó y se mantuvo durante 8 horas adicionales a 615°C. La muestra recibió un enfriamiento brusco a lo largo de tres horas hasta 480°C y luego fue empapada a 480°C durante 38 horas, luego se retiró y se laminó en caliente hasta un espesor de 6 mm. Una porción de este calibre de 6 mm fue entonces laminada en frío hasta un espesor de 1 mm, calentada a una temperatura de recocido de 400°C a una velocidad de 50°C/h, y mantenida durante dos horas, y después se enfrió en el horno.

30 Micrografías electrónicas de transmisión que muestran la distribución del precipitado secundario se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de una pulgada de cualquiera de los bordes (superficie y centro) del material de 6 mm de espesor (Fig. 14a). Estructuras de grano recristalizado se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de 25 mm de cualquiera de los bordes (superficies y centro) del material de 1 mm de espesor (Fig. 14b). Esta muestra representa una colada y homogeneización convencionales, mientras que la homogeneización convencional normal se lleva a cabo durante 48 horas.

35 La **muestra G** (colada con enfriamiento directo con un pre-calentamiento en una etapa modificado) se colocó en un horno a 520°C, en donde después de aproximadamente dos (2) horas la temperatura del metal se estabilizó y se mantuvo durante 20 horas a 520°C, luego se retiró y se laminó en caliente hasta un espesor de 6 mm. Una porción de este calibre de 6 mm fue entonces laminada en frío hasta un espesor de 1 mm, calentada a una temperatura de recocido de 400°C a una velocidad de 50°C/h, y mantenida durante dos horas, y después se enfrió en el horno.

40 Micrografías electrónicas de transmisión que muestran la distribución del precipitado secundario se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de una pulgada de cualquiera de los bordes (superficie y centro) del material de 6 mm de espesor (Fig. 15a). Estructuras de grano recristalizado se caracterizaron en secciones longitudinales tomadas dentro de 25 mm de cualquiera de los bordes (superficies y centro) del material de 1 mm de espesor (Fig. 15b).

50

EJEMPLO COMPARATIVO 1

Con el fin de ilustrar la diferencia de las realizaciones a modo de ejemplo de procesos de colada conocidos, lingotes de una aleación de Al-4,5% en peso de Cu fueron colados de acuerdo con una colada con DC convencional, de acuerdo con el proceso de la patente de EE.UU. 2.705.353 expedida a Ziegler o de la patente de EE.UU. 4.237.961 expedida a Zinniger, y de acuerdo con realizaciones a modo de ejemplo. La colada de Ziegler/Zinniger empleaba un limpiador posicionado para generar una temperatura de rebote/convergencia de solamente 300°C. El procedimiento de colada de las realizaciones a modo de ejemplo empleó un limpiador posicionado para generar una temperatura de rebote de 453°C. Se produjeron micrografías electrónicas de barrido de los tres productos resultantes y se muestran en las Figs. 16, 17 y 18, respectivamente. La Fig. 19 muestra las temperaturas del núcleo y de la superficie del proceso de colada llevado a cabo de acuerdo con las realizaciones a modo de ejemplo sin un enfriamiento brusco (véase la Fig. 18).

Las SEMs muestran cómo la concentración de cobre varía a través de la celda en el producto de los procesos de colada realizados no de acuerdo con las realizaciones a modo de ejemplo (Figs. 16 y 17 - obsérvese la curva ascendente de las gráficas entre los picos). En el caso del producto de las realizaciones a modo de ejemplo, sin embargo, la SEM muestra una variación mucho menor del contenido de Cu dentro de la célula (Fig. 18). Esto es típico de una micro-estructura de un metal que ha sufrido una homogeneización convencional.

EJEMPLO 2

Un lingote de Al-4,5%Cu fue colado de acuerdo con la invención y se enfrió (enfrió bruscamente) el lingote al final de la colada. La Fig.20 es una SEM con el Barrido de la Línea de Cobre (Cu) del lingote resultante. Se observa la ausencia de cualquier nucleación de Cobre en la célula. Aunque las células son ligeramente más grandes que las de la Fig. 16, existe una cantidad reducida de material intermetálico colado en la intersección de las células unitarias y las partículas se redondean.

La Fig. 21 muestra el historial térmico de la colada del lingote que ilustra el enfriamiento brusco final al final de la colada. La temperatura de convergencia (452°C) en este caso está por debajo del solvus para la composición elegida, pero se obtienen propiedades deseables.

EJEMPLO COMPARATIVO 2

La Fig. 22 muestra fracciones de área representativas de fases intermetálicas coladas que comparan las tres diversas rutas de procesamiento tal como se indicó anteriormente (colada con DC convencional y enfriamiento (DC marcado), colada con DC y enfriamiento sin enfriamiento brusco final de acuerdo con las realizaciones a modo de ejemplo (Muestra ID *In-Situ* marcada), y colada con DC con enfriamiento brusco final de acuerdo con las realizaciones a modo de ejemplo (Enfriamiento brusco *In-Situ* marcado). Un área más pequeña se considera mejor para las propiedades mecánicas de la aleación resultante. Esta comparación muestra una fracción de área fase intermetálica colada decreciente, de acuerdo con los diferentes métodos en el orden dado. El área de la fase más alta se produce por la ruta DC convencional y la más baja mediante la invención con enfriamiento brusco final.

EJEMPLO 3

Un lingote de una aleación de Al-0,5% Mg-0,45%Si (6063) fue colado de acuerdo con un procedimiento tal como se ilustra en el gráfico de la Fig. 23. Éste muestra el historial térmico en la región en donde la solidificación y el recalentamiento tienen lugar en un caso en el que no se enfría de manera forzada el grueso del lingote.

La misma aleación fue colada en las condiciones mostradas en la Fig. 24 (incluyendo un enfriamiento brusco). Esto muestra la evolución de la temperatura de un lingote, en donde las temperaturas de la superficie y del núcleo convergieron a una temperatura de 570°C, y que luego se enfriaron de manera forzada a la temperatura ambiente. Esto puede compararse con el proceso mostrado en la Fig. 8, que implicó una elevada temperatura de rebote y un enfriamiento lento, lo cual es deseable cuando se necesita una corrección más rápida de la segregación celular, o cuando la aleación contiene elementos que se difunden a un ritmo más lento. El uso de una alta temperatura de rebote (considerablemente por encima del solvus de la aleación), mantenido durante un período prolongado de tiempo, permite que los elementos próximos al límite del grano se difundan bastante rápido en las fases intermetálicas de la colada, permitiendo con ello la modificación o una transformación más completa en más fases intermetálicas útiles o beneficiosas, y la formación de una zona libre de precipitado alrededor de las fases

intermetálicas coladas. Se observará que la Fig. 24 muestra la forma de "W" de la curva de enfriamiento para la característica de la envoltura de ebullición de la película nucleada delante del limpiador.

EJEMPLO COMPARATIVO 3

- 5 Las Figs. 25a, 25b y 25c son patrones de difracción de rayos X tomados de la aleación 6063 que diferencian la cantidad de fases α y β que contrastan la colada con DC convencional y dos procesos *in-situ* de las Figs. 18 y 19. La traza superior de cada una de las figuras representa una aleación de DC colada convencionalmente, la traza central representa una temperatura de rebote por debajo de la temperatura de transformación de la aleación, y la traza inferior representa una temperatura de rebote por encima de la temperatura de transformación de la aleación.

EJEMPLO COMPARATIVO 4

- 10 Las Figs. 26a, 26b y 26c son representaciones gráficas de técnicas FDC, en las que la Fig. 26a representa un lingote convencionalmente colado con DC, la Fig. 26b representa la aleación de la Fig. 23 y la Fig. 26c representa la aleación de la Fig. 24. Las figuras muestran un aumento de la presencia de la fase α deseable a medida que la temperatura de rebote pasa la temperatura de transformación.

- 15 Incidentalmente, más información sobre las técnicas FDC y Sibut/XRD, así como su aplicación al estudio de las transformaciones de fase, se puede obtener a partir de: "Intermetallic Phase Selection and Transformation in Aluminium 3xxx Alloys", de H. Cama, J. Worth, P.V. Evans, A. Bosland y J.M. Brown, Solidification Processing, Proceedings of the 4th Decennial International Conference on Solidification Processing, Universidad de Sheffield, julio de 1997, comps. J. Beech y H. Jones, pág. 555.

EJEMPLO 4

- 20 Las Figs. 27a y 27b muestran dos fotomicrografías ópticas de la aleación Al-1,3%Mn (AA3003) intermetálica colada, procesada de acuerdo con la invención. Se puede ver que los intermetálicos (formas oscuras en la figura) están agrietados o fracturados.

- 25 La Fig. 28 es una fotomicrografía óptica similar a la de las Figs. 27a y 27b, mostrando de nuevo que el intermetálico está agrietado o fracturado. La región grande de la partícula es de $MnAl_6$. Las características con nervios muestran la difusión de Si en el intermetálico, formando $AlMnSi$.

EJEMPLO 5

- 30 La Fig. 29 es una imagen de microscopio electrónico de transmisión TEM de una fase intermetálica según ha sido colada de una colada de aleación AA3104 sin un enfriamiento brusco final, tal como se muestra en la Fig. 31. La fase intermetálica se modifica mediante la difusión de Si en la partícula, que muestra una zona desnuda. La muestra se tomó de la superficie en la que la aplicación inicial de refrigerante nuclea partículas. Sin embargo, la temperatura de rebote modifica la partícula y modifica la estructura.

EJEMPLO COMPARATIVO 5

La Fig. 30 muestra el historial térmico de la aleación de Al-7%Mg procesada convencionalmente. Se puede ver que no existe rebote de la temperatura de la envoltura debido a la presencia continua de refrigerante.

- 35 Las Figs. 31 y 32 muestran el historial térmico de una aleación de Al-7%Mg, en donde el lingote no se enfría durante la colada. Esta aleación forma la base de la Fig. 30.

EJEMPLO COMPARATIVO 6

- 40 La Fig. 33 es una traza de un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) que muestra la presencia de la fase beta (β) en el intervalo de 450°C de la aleación colada convencionalmente con enfriamiento rápido directo que forma la base de la Fig. 30. La fase β causa problemas durante la laminación. La presencia de la fase beta se puede ver por la

pequeña caída en la traza justo por encima de 450°C a medida que se absorbe calor es absorbida para convertir la fase β en la fase α . La gran inmersión que desciende a 620°C representa la fusión de la aleación.

5 La Fig. 34 es una traza similar a la de la Fig. 33 que muestra la ausencia de la fase beta (β) en el material colado de acuerdo con esta invención, en donde el lingote permanece caliente (sin enfriamiento brusco final) durante la colada (véase la Fig. 31).

La Fig. 35 es de nuevo una traza similar a la de la Fig. 33 para el material colado de acuerdo con esta invención, en la que el lingote permanece caliente (sin enfriamiento brusco final) durante la colada (véase la Fig. 32). De nuevo, la traza muestra una ausencia de fase beta (β).

REIVINDICACIONES

1. Un método de colar un lingote de una aleación de aluminio, que comprende las etapas de:
 - (a) suministrar metal fundido (12) a partir de al menos una fuente a una región en donde el metal fundido es confinado periféricamente, proporcionando de esta manera el metal fundido con una porción periférica;
 - 5 (b) enfriar la porción periférica del metal para formar un lingote embrionario (16) que tiene una envuelta sólida externa y un núcleo (24) fundido interior;
 - (c) hacer avanzar el lingote embrionario en una dirección de avance (A) fuera de la región en la que el metal fundido está confinado periféricamente mientras se suministra metal fundido adicional a dicha región, de modo que el núcleo fundido contenido dentro de la envuelta sólida se extiende más allá de dicha región; y
 - 10 (d) enfriar una superficie externa del lingote embrionario que emerge de la región en la que el metal está confinado periféricamente al dirigir un suministro de líquido refrigerante (18) sobre dicha superficie exterior; caracterizado porque una cantidad eficaz del líquido refrigerante se separa de la superficie exterior del lingote embrionario en una ubicación en la superficie exterior del lingote, en donde una sección transversal del lingote perpendicular a la dirección de avance intersecta una parte de dicho núcleo fundido, de manera que el calor interno procedente del núcleo fundido recalienta la envoltura sólida adyacente al núcleo fundido después de separar dicha
 - 15 cantidad eficaz de refrigerante, de manera que las temperaturas de dicho núcleo y envoltura convergen y se mantienen en una temperatura de 425°C o superior durante un periodo de tiempo de al menos 10 minutos, de manera que se produce al menos una homogeneización parcial del metal.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho metal fundido en la etapa (a) se suministra a al menos una entrada (15) de un molde (10) de colada por enfriamiento rápido directo, definiendo con ello dicho molde de colada por enfriamiento rápido directo dicha región en la que el metal fundido está confinado periféricamente, y dicho lingote embrionario es hecho avanzar en la etapa (c) desde al menos una salida (17) de dicho molde de colada por enfriamiento rápido directo, estando la ubicación en dicha superficie exterior de dicho lingote, de donde se separa líquido refrigerante, separada en una distancia (X) desde dicha al menos una salida.

- 25 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que dicho metal es suministrado a partir de dos o más fuentes, siendo suministrado el metal fundido a partir de cada una de las fuentes a una entrada diferente de dicho molde.

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que dicha distancia se selecciona de manera que la temperatura de dicho núcleo y envoltura convergen a una temperatura de 450°C o superior.

- 30 5. Un método de acuerdo con la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que dicha distancia está en el intervalo de 5-15 cm (2-6 pulgadas).

6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que dicha distancia está en el intervalo de 5-10 cm (2-4 pulgadas).

7. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la temperatura de la superficie exterior del lingote embrionario se reduce a menos de 350°C antes de que sea separada dicha cantidad eficaz de dicho líquido refrigerante.

- 35 8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho periodo de tiempo es de al menos 15 minutos.

9. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicho periodo de tiempo es de al menos 20 minutos.

10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que dicho periodo de tiempo es de al menos 30 minutos.

- 40 11. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende, además, la etapa de enfriar bruscamente dicho lingote mediante el contacto con líquido refrigerante adicional después de dicho periodo de tiempo.

12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicho lingote está a una temperatura de 425°C o superior cuando contacta con dicho líquido refrigerante adicional.

- 45 13. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el líquido refrigerante comprende agua.

14. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el líquido refrigerante se separa de la superficie del lingote embrionario limpiando dicho líquido refrigerante de dicho lingote embrionario en dicha ubicación con un limpiador (20).
- 5 15. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el líquido refrigerante se separa de la superficie del lingote embrionario en dicha ubicación controlando una tasa de suministro del líquido refrigerante a la superficie exterior del lingote, provocando con ello que el líquido refrigerante se evapore por completo del lingote embrionario en dicha ubicación.
16. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el líquido refrigerante se separa de la superficie del lingote embrionario en dicha ubicación mediante ebullición de la película nucleada.
- 10 17. Un método de acuerdo con la reivindicación 16, que comprende añadir un gas a dicho líquido refrigerante para potenciar dicha ebullición de la película nucleada.
18. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que comprende dirigir un chorro de gas contra el líquido refrigerante en dicha ubicación para separar el líquido de la superficie del lingote embrionario.
- 15 19. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la aleación de aluminio es una aleación de aluminio no tratable con calor.
20. Un método de acuerdo con la reivindicación 19, en el que la aleación de aluminio es una aleación de la serie AA1000, una aleación de la serie AA3000, una aleación de la serie AA4000 o una aleación de la serie AA5000.
21. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que la aleación de aluminio es una aleación de aluminio tratable con calor.
- 20 22. Un método de acuerdo con la reivindicación 21, en el que la aleación de aluminio es una aleación de la serie AA2000, una aleación de la serie AA6000 o una aleación de la serie AA7000.
23. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que la aleación de aluminio es una aleación de la serie AA8000.
- 25 24. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que la aleación de aluminio es AA3003, AA3104 o AA3004.
25. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende, además, la etapa de enfriar el lingote embrionario para formar un lingote colado totalmente solidificado después de la separación del líquido refrigerante.
- 30 26. Un método de acuerdo con la reivindicación 25, en el que el lingote colado totalmente solidificado se produce en una forma adaptada para la subsiguiente laminación.
27. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la superficie exterior del lingote embrionario se hace no circular en sección transversal por dicho molde de colada, y dicha distancia desde dicha al menos una salida se hace variar en diferentes puntos alrededor de dicha superficie exterior para crear temperaturas de convergencia iguales alrededor de dicha superficie exterior de dicho lingote.
- 35 28. Un método de acuerdo con la reivindicación 27, en el que las variaciones de dicha distancia alrededor de dicha superficie exterior se hacen proporcionales al calor latente disponible en el núcleo líquido adyacente a dichos puntos.
29. Un método de producir un artículo laminado de metal, que comprende las etapas de:
- 40 (aa) producir un lingote de aleación de aluminio colado mediante un método tal como se define en cualquier reivindicación precedente; y
- (bb) tratar en caliente el lingote para producir un artículo tratado; en el que el tratamiento en caliente se lleva a cabo sin homogeneización del lingote metal solidificado entre dicha etapa de producción del lingote (aa) y dicha etapa de tratamiento en caliente (bb).

30. Un método de acuerdo con la reivindicación 29, caracterizado por que dicho lingote se somete a laminación en caliente en la etapa (bb), y dicha laminación en caliente se lleva a cabo a una temperatura por debajo de una temperatura de homogeneización de dicho metal de dicho lingote.
- 5 31. Un método de colar con enfriamiento rápido directo, de forma continua o semi-continua, un lingote hecho de una aleación de aluminio susceptible de ser colada, que comprende el método según se define en la reivindicación 2, y en el que el líquido refrigerante se separa de la superficie del lingote embrionario limpiando dicho líquido refrigerante de dicho lingote embrionario en dicha ubicación con un limpiador (20), comprendiendo además el método la etapa de variar dicha ubicación en diferentes fases de dicha colada de dicho lingote para minimizar las diferencias de dicha temperatura de convergencia por debajo de dicho limpiador durante dichas diferentes fases de colada.
- 10 32. Un método de acuerdo con la reivindicación 31, en el que dicha ubicación se mueve más próxima a dicho molde durante una fase inicial de colada que en una fase subsiguiente.
33. Un método de acuerdo con la reivindicación 31, en el que dicha ubicación se mueve con relación a dicho molde durante una fase final de colada.

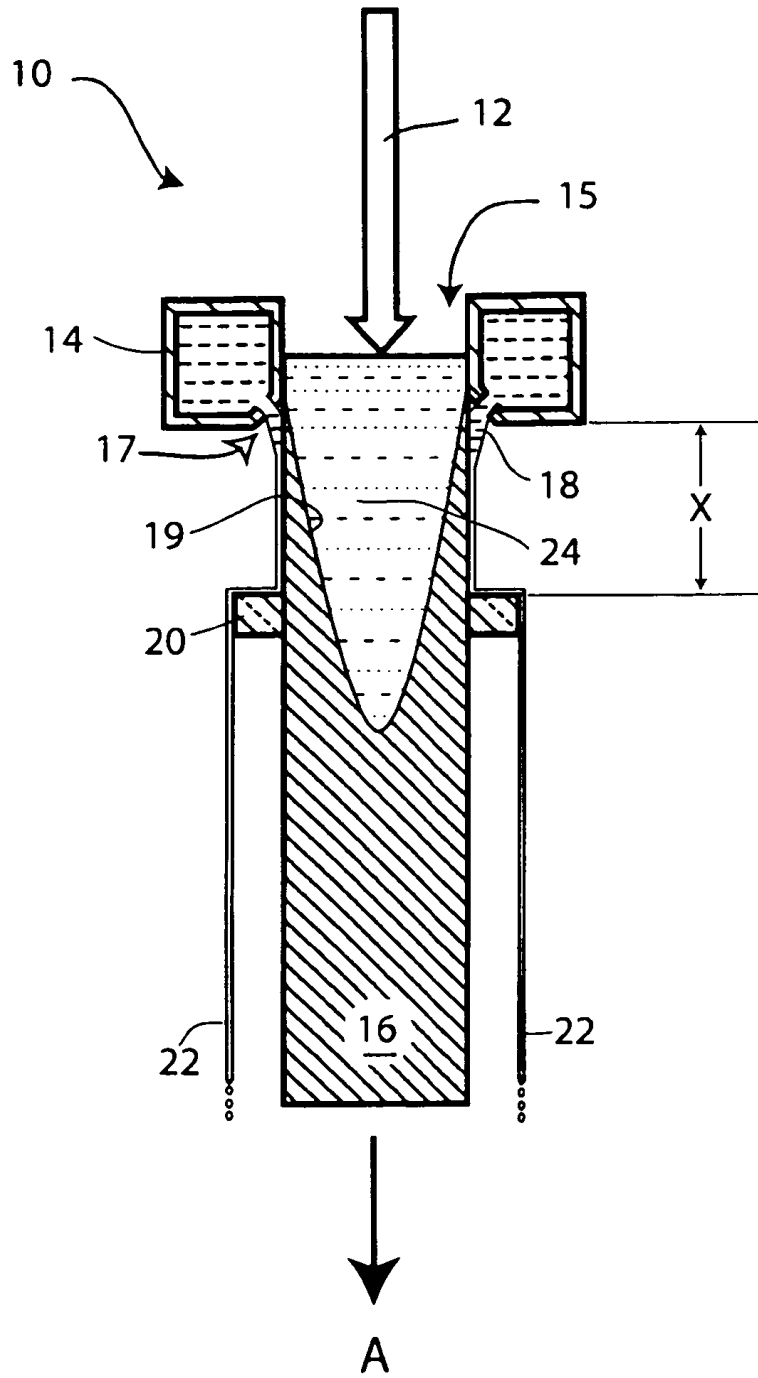


Fig. 1

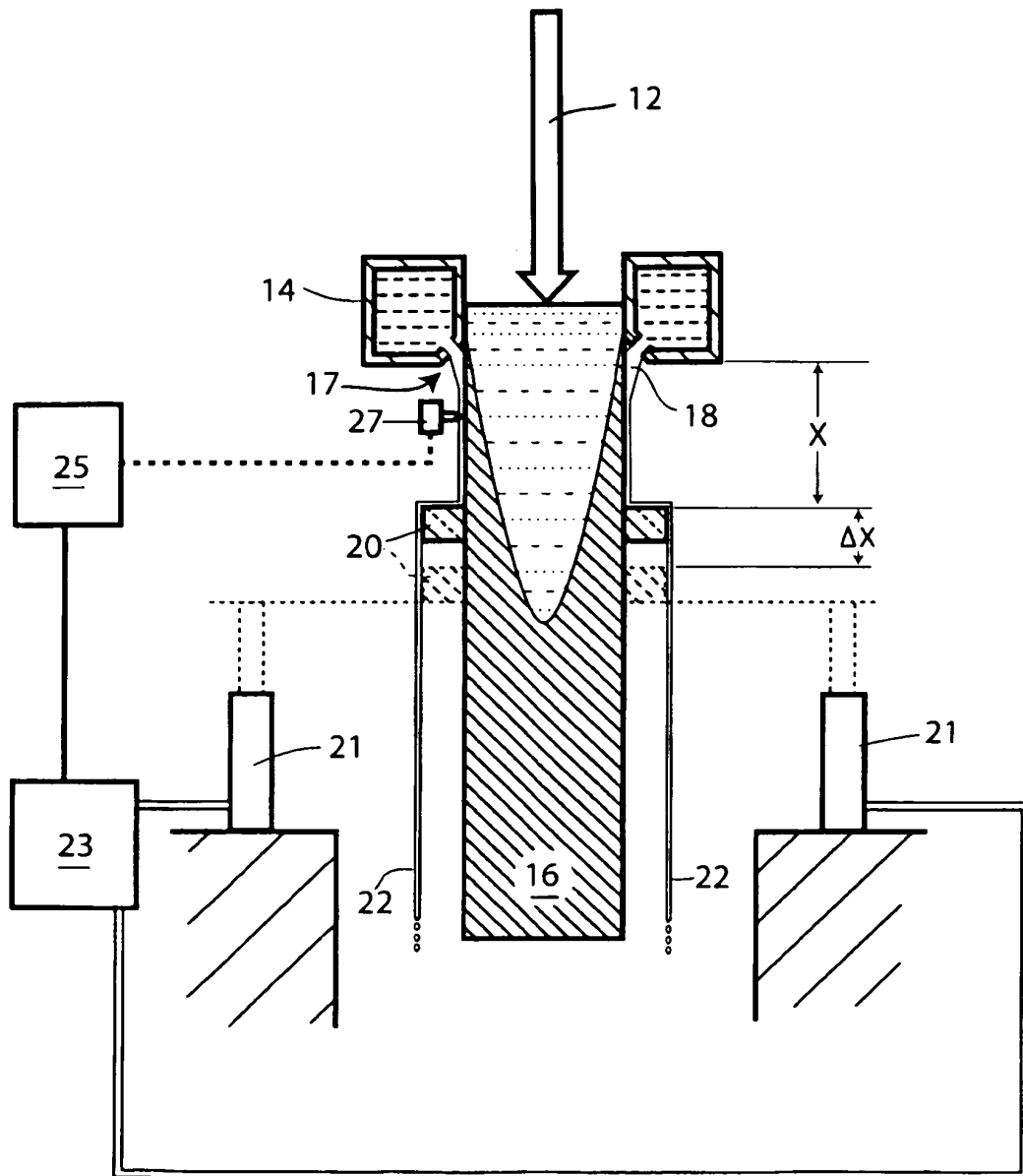


Fig. 2

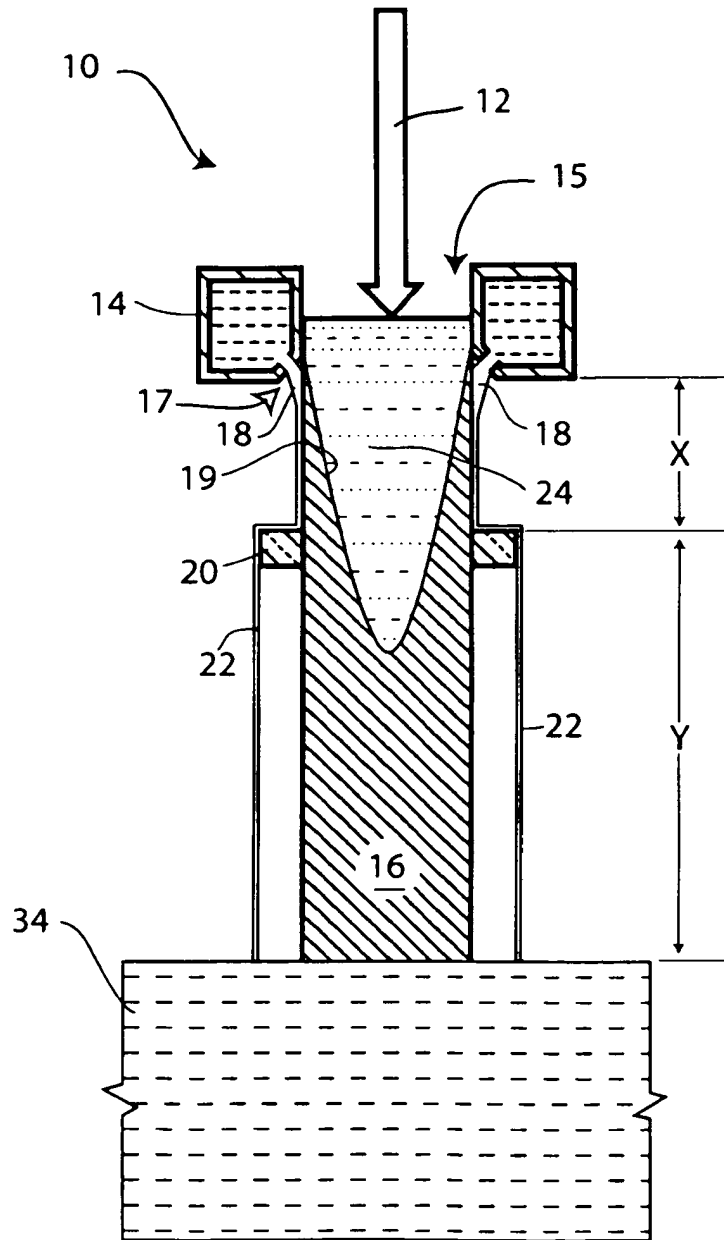
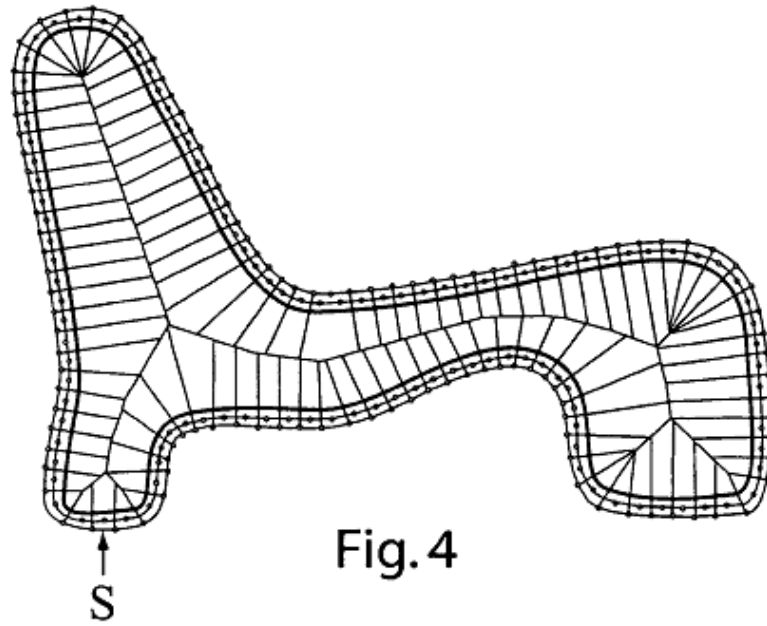


Fig. 3



Altura del Limpiador

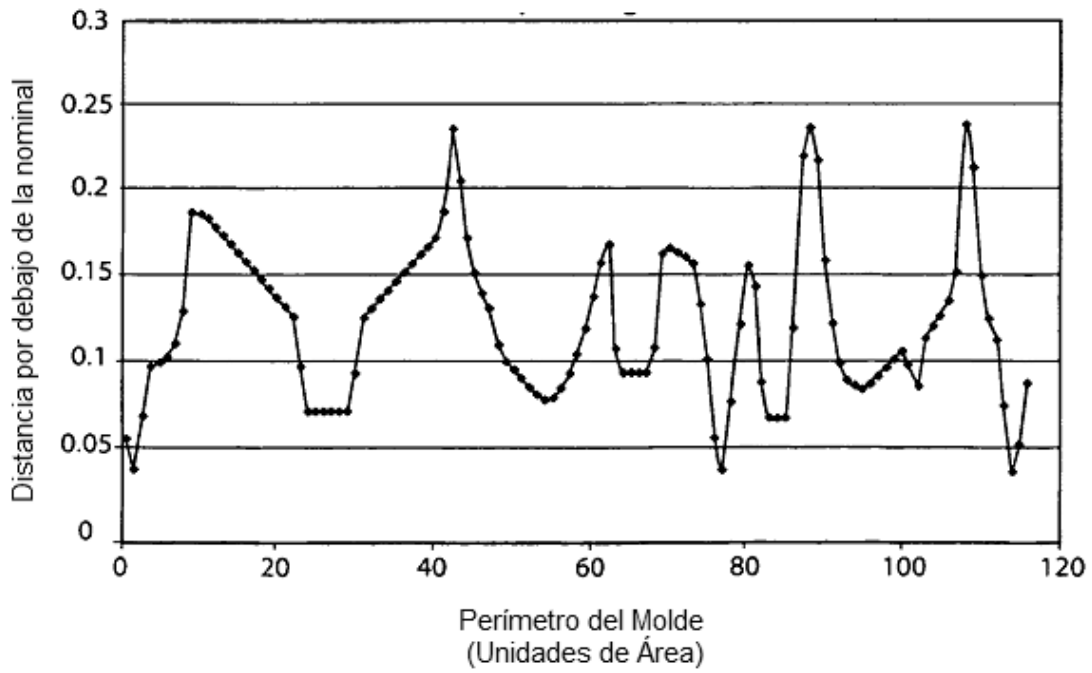


Fig. 5

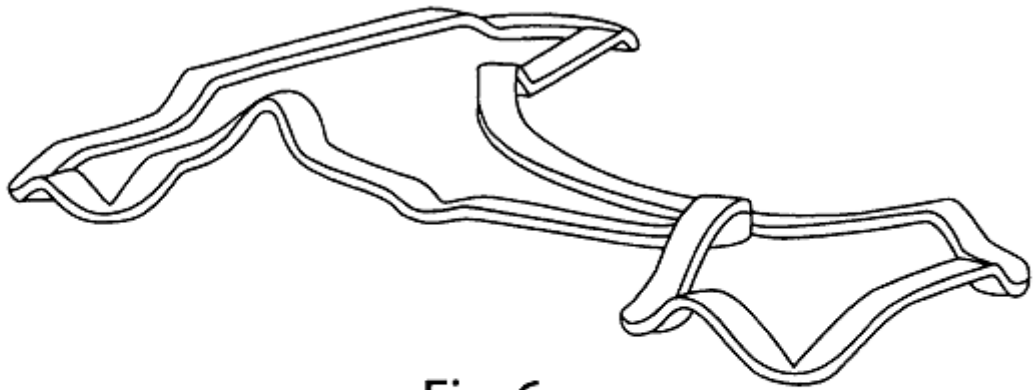


Fig. 6

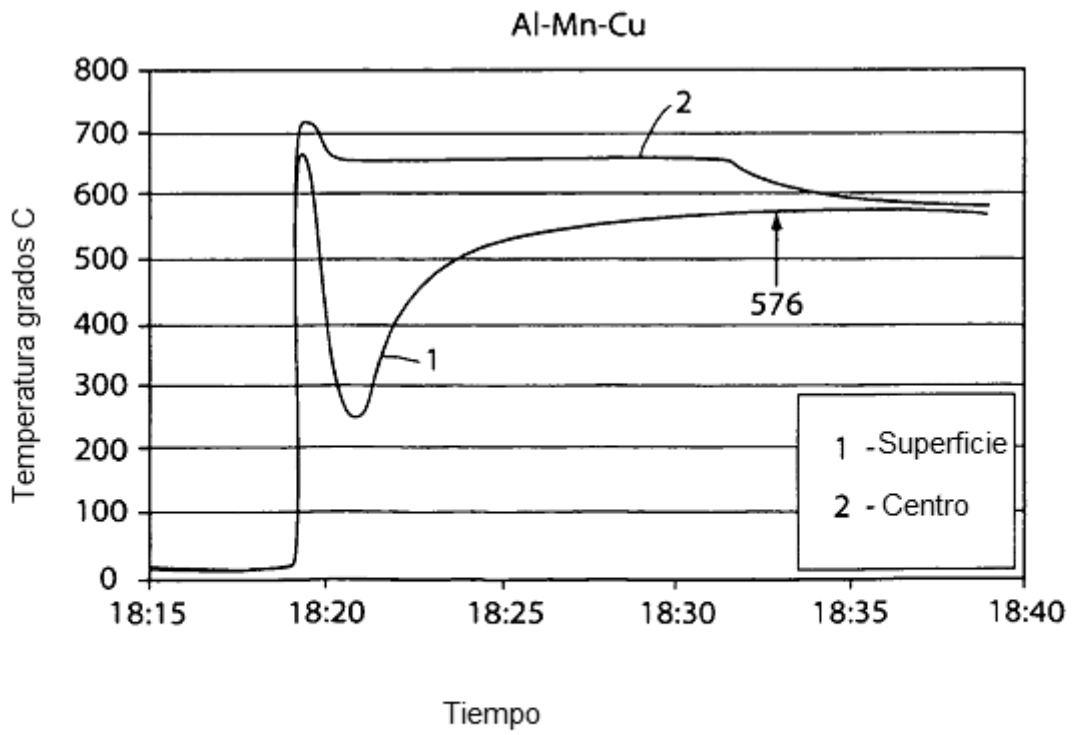
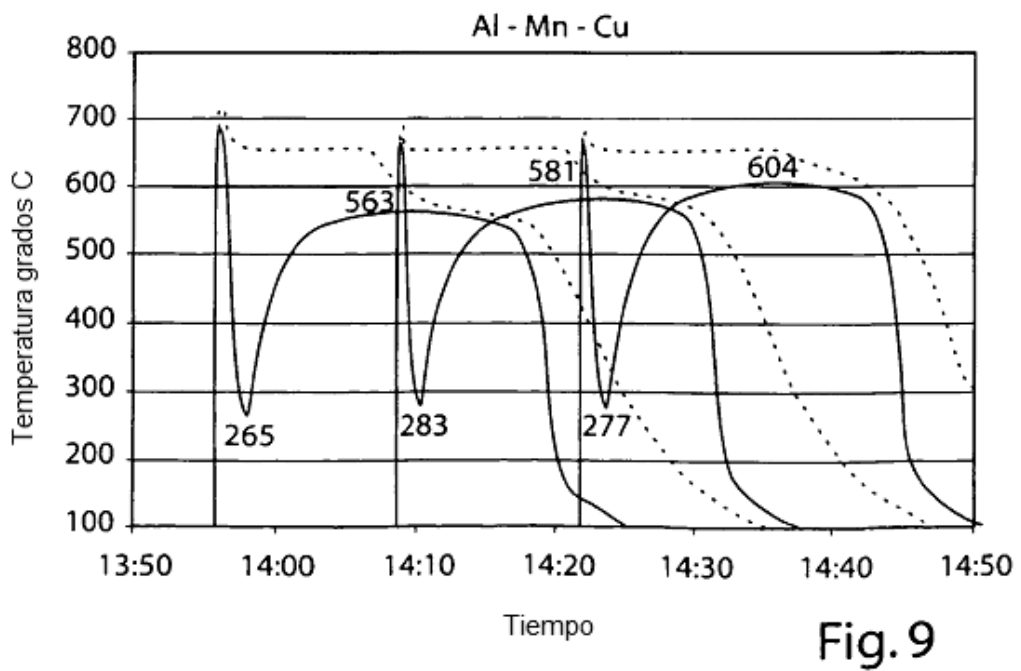
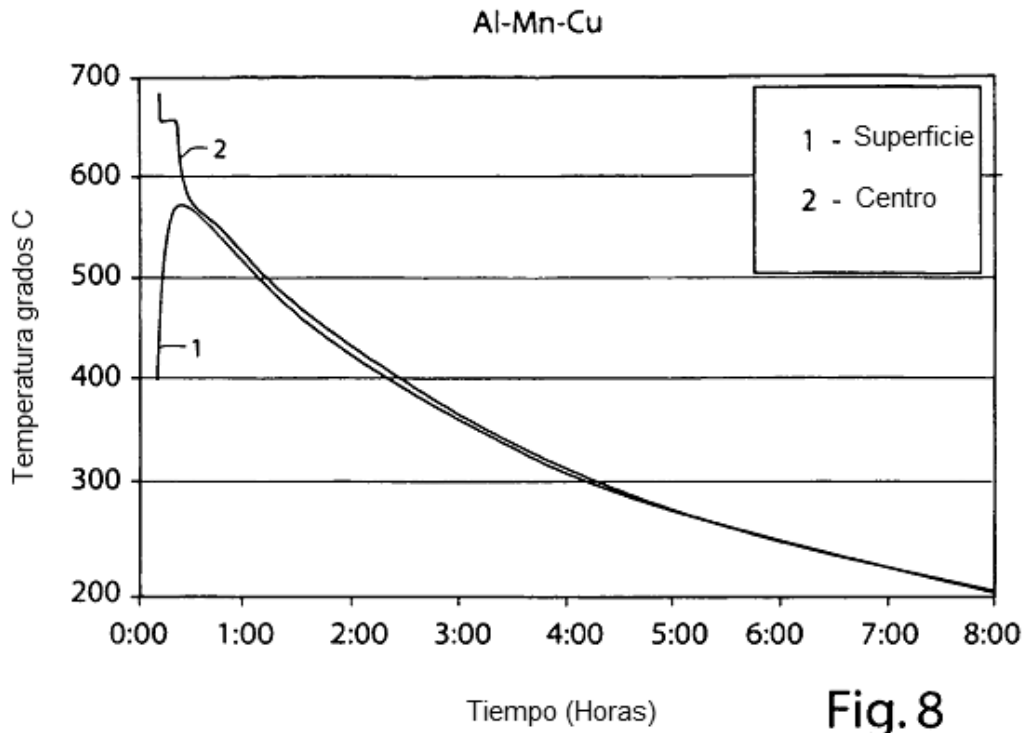


Fig. 7



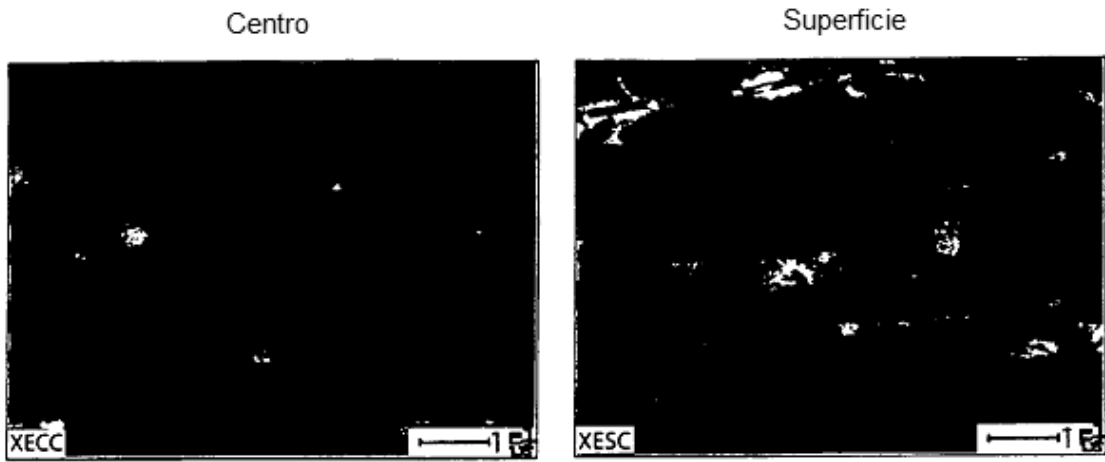


Fig. 10a

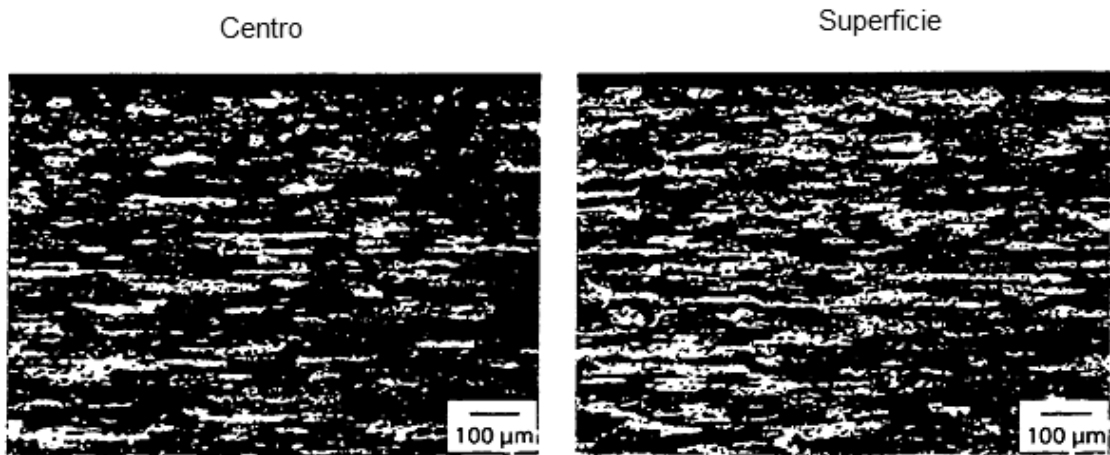


Fig. 10b

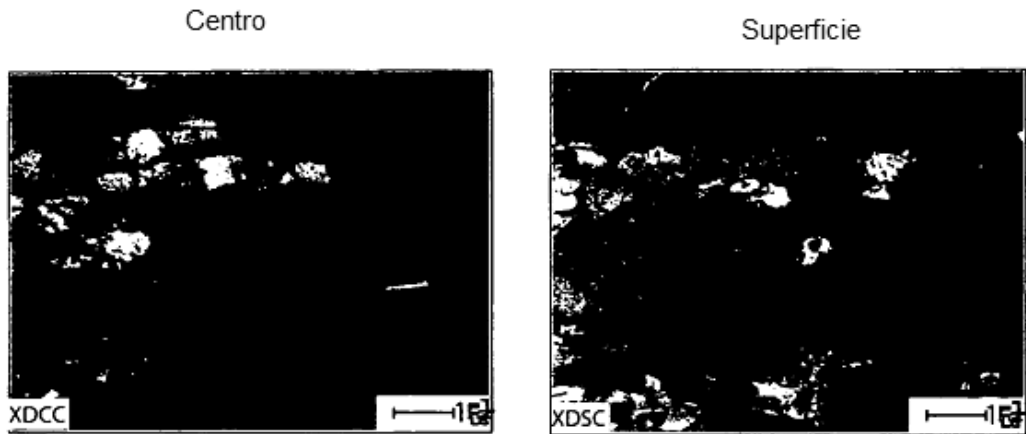


Fig. 11A

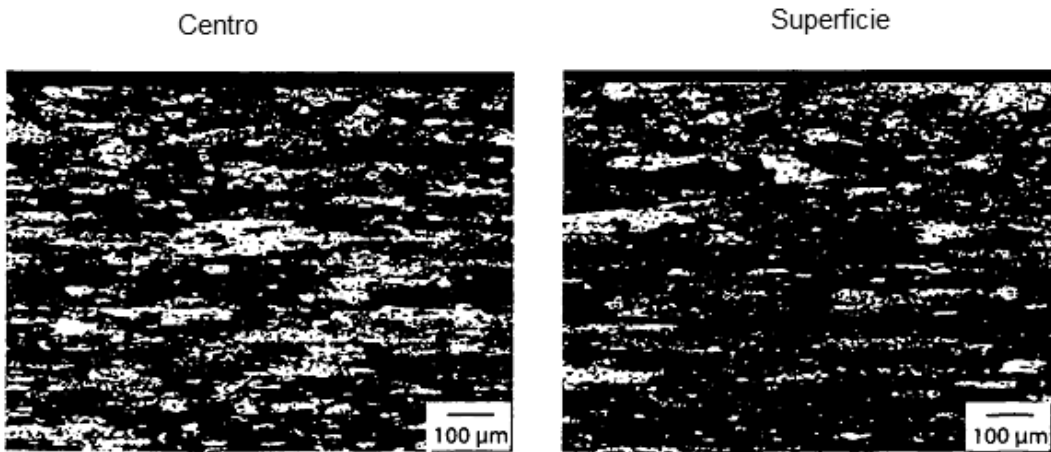


Fig. 11B

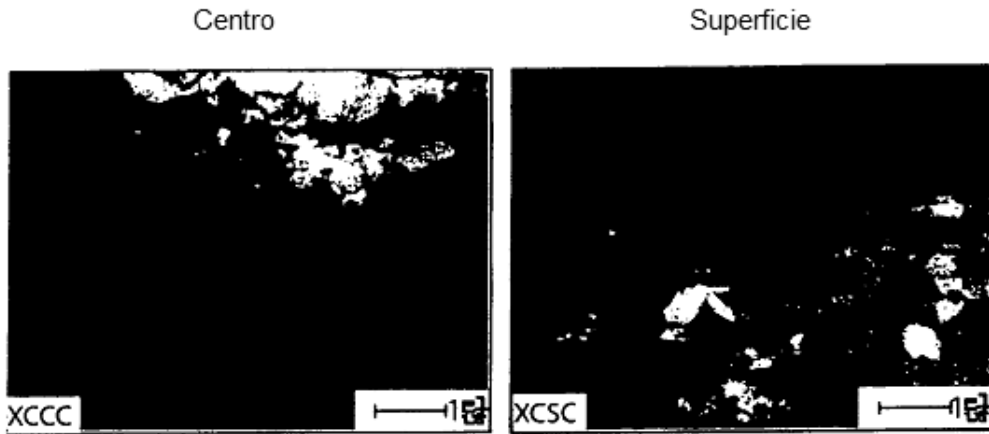


Fig. 12a

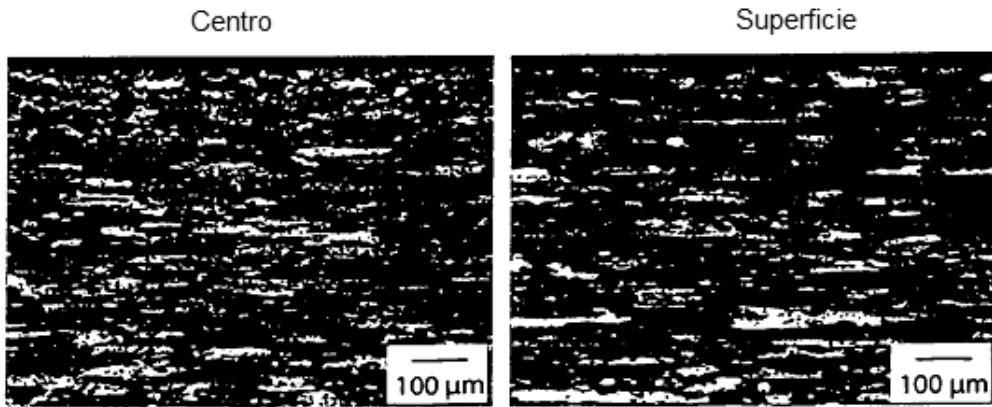


Fig. 12b

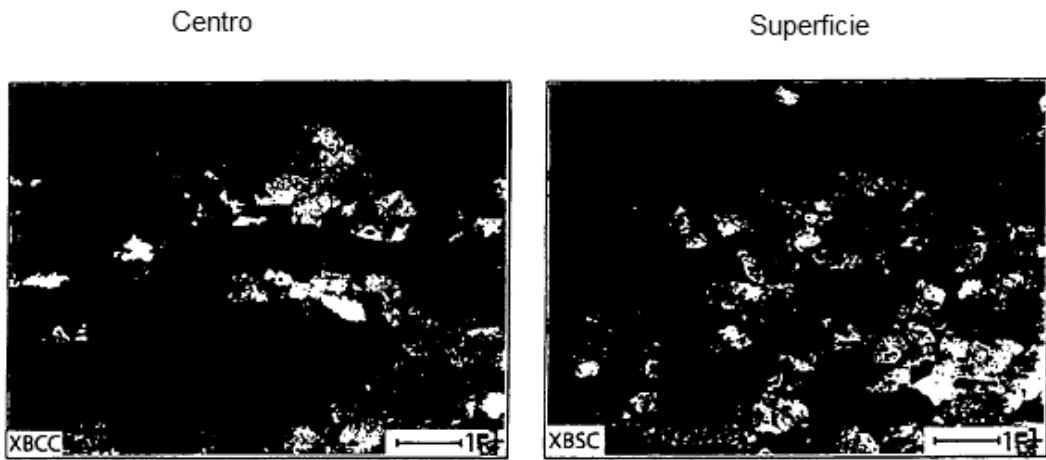


Fig. 13a

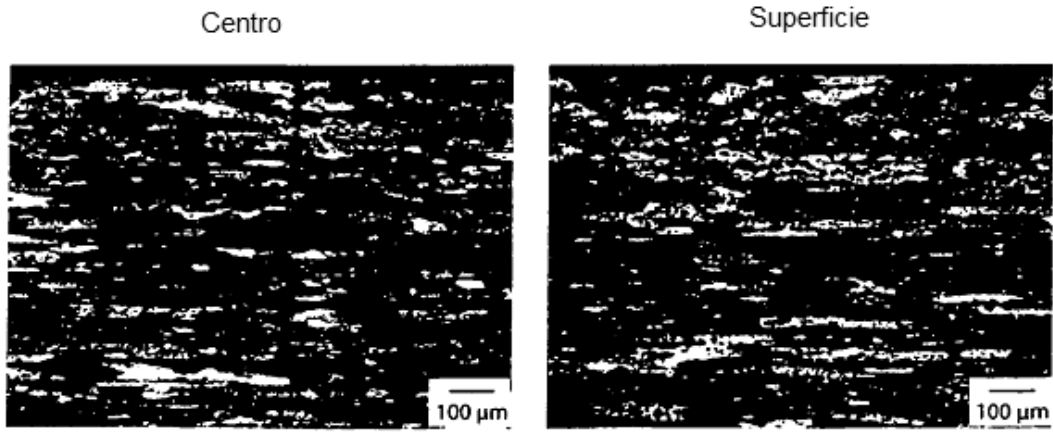


Fig. 13b

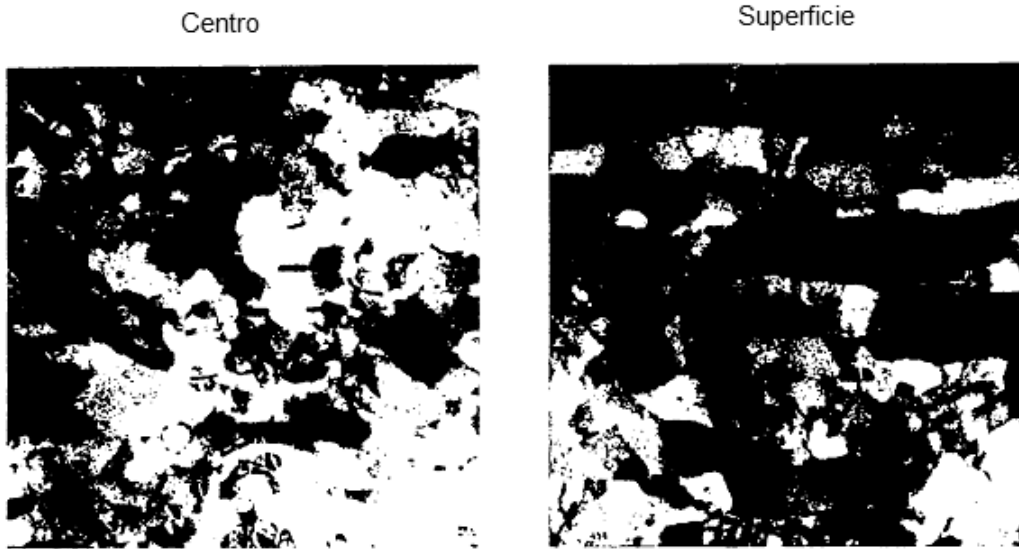


Fig. 14a

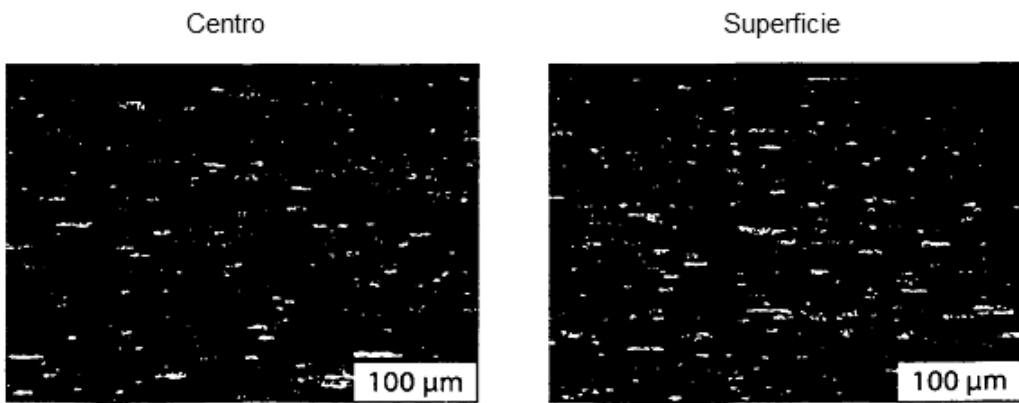


Fig. 14b

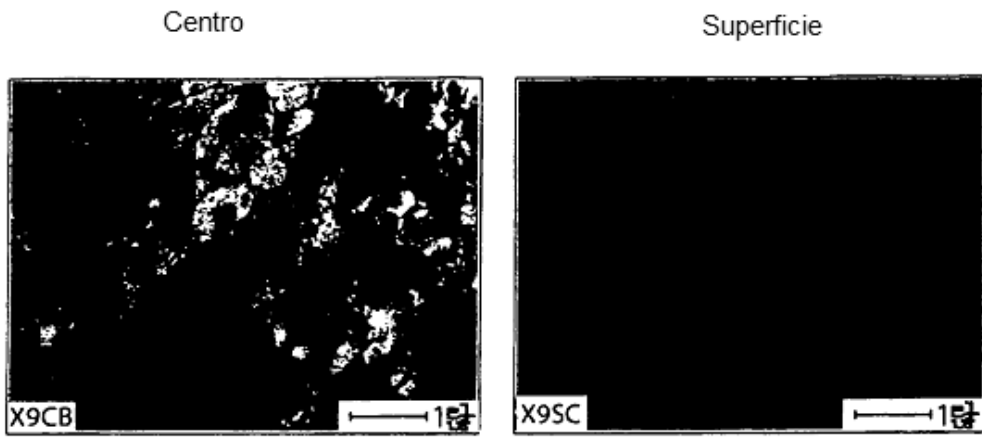


Fig. 15a

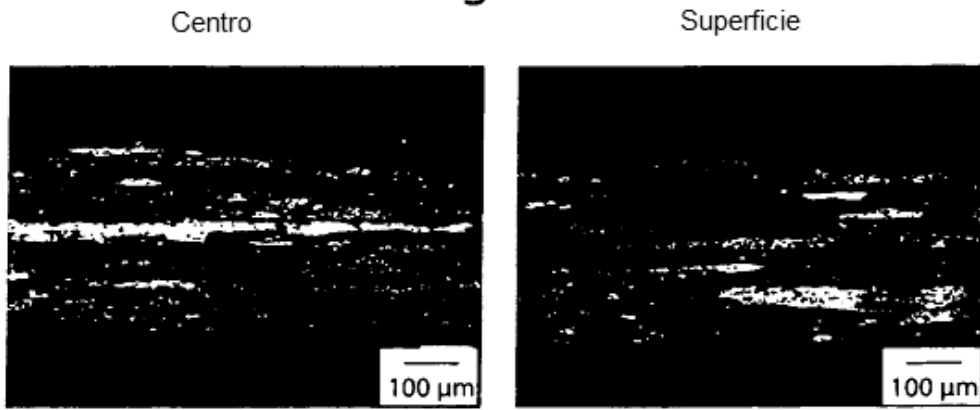
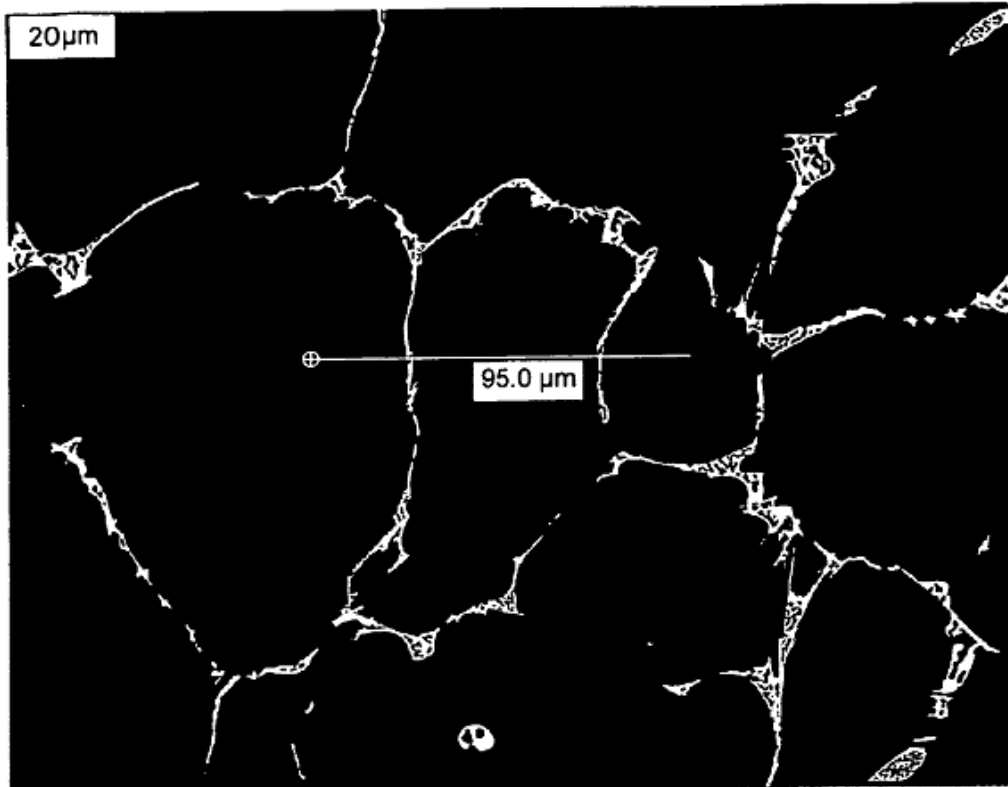
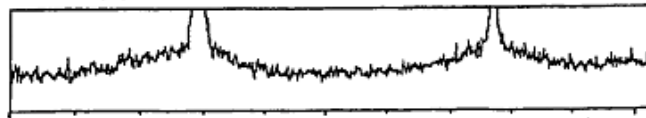


Fig. 15b



CuLa1, , 250



CuKa, 100

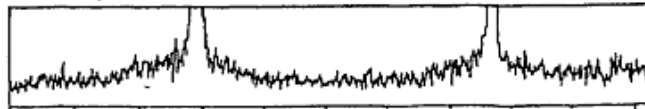
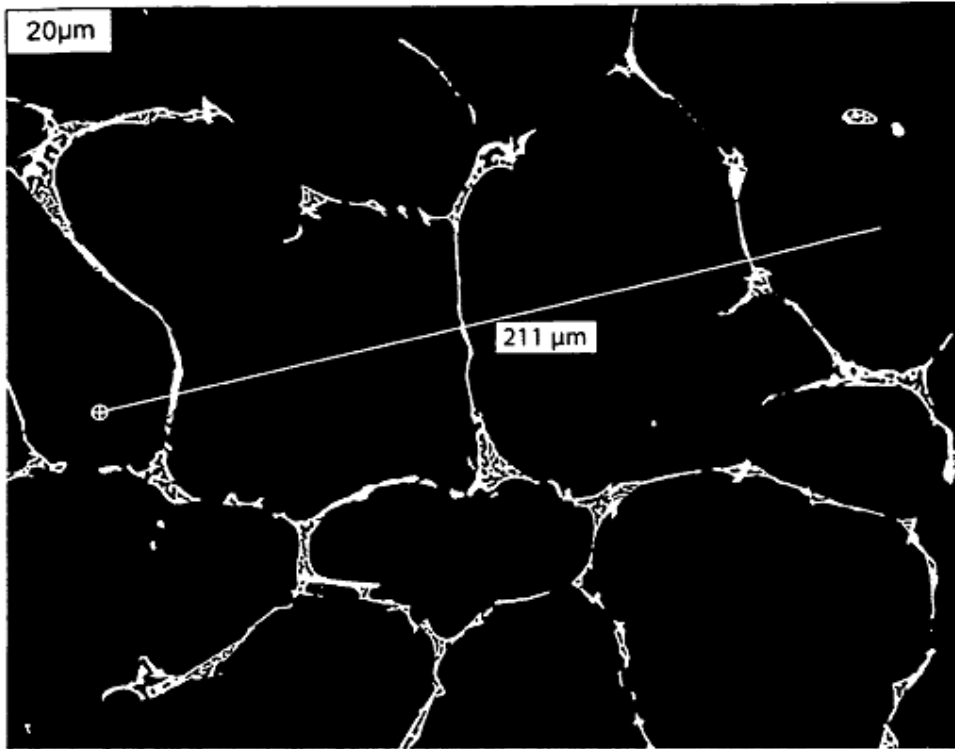


Fig. 16 (Técnica Anterior)



Al-4,5%Cu in-situ con temperatura de rebote de 300°C. Posición de cuarto (FE4628)

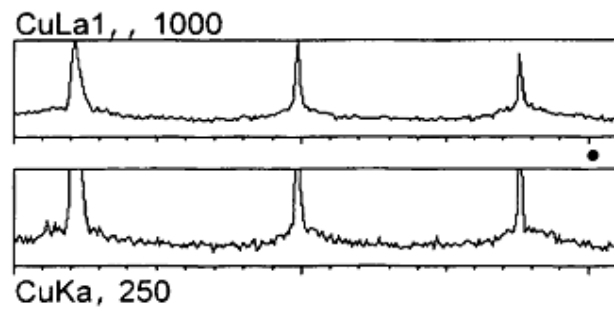
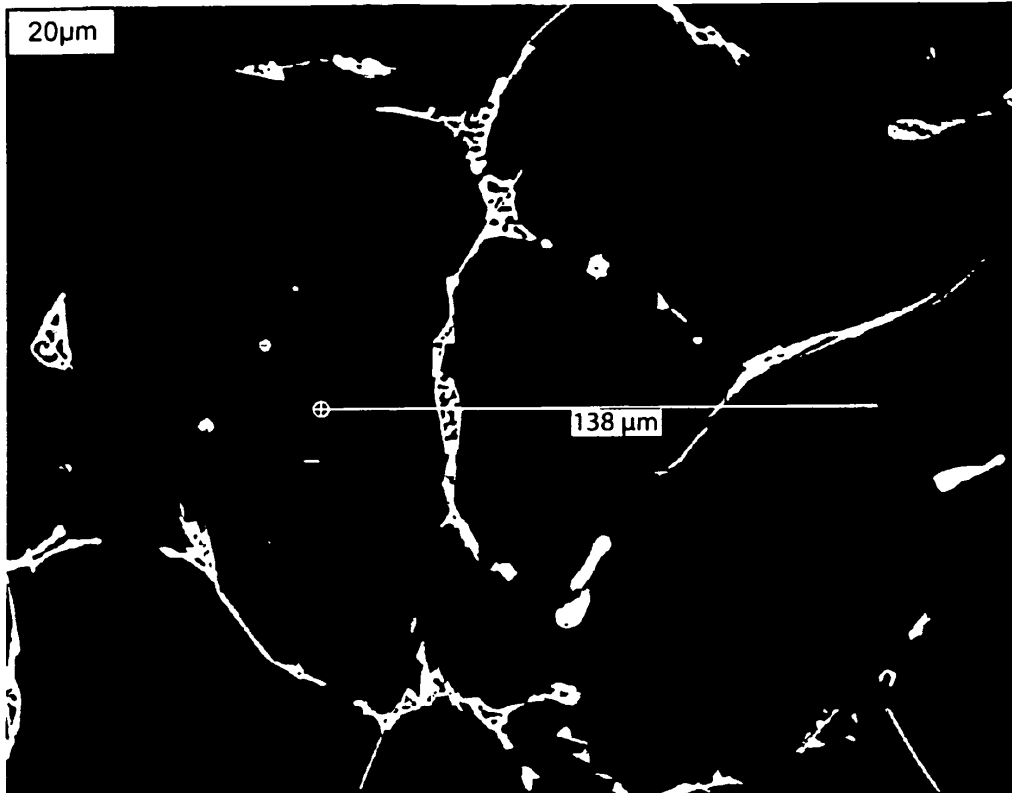
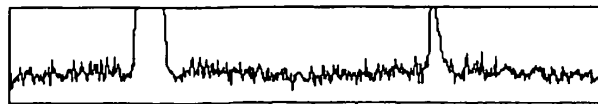
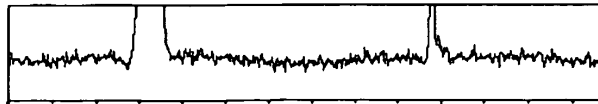


Fig. 17



CuLa1, , 250



CuKa, 100

Fig. 18

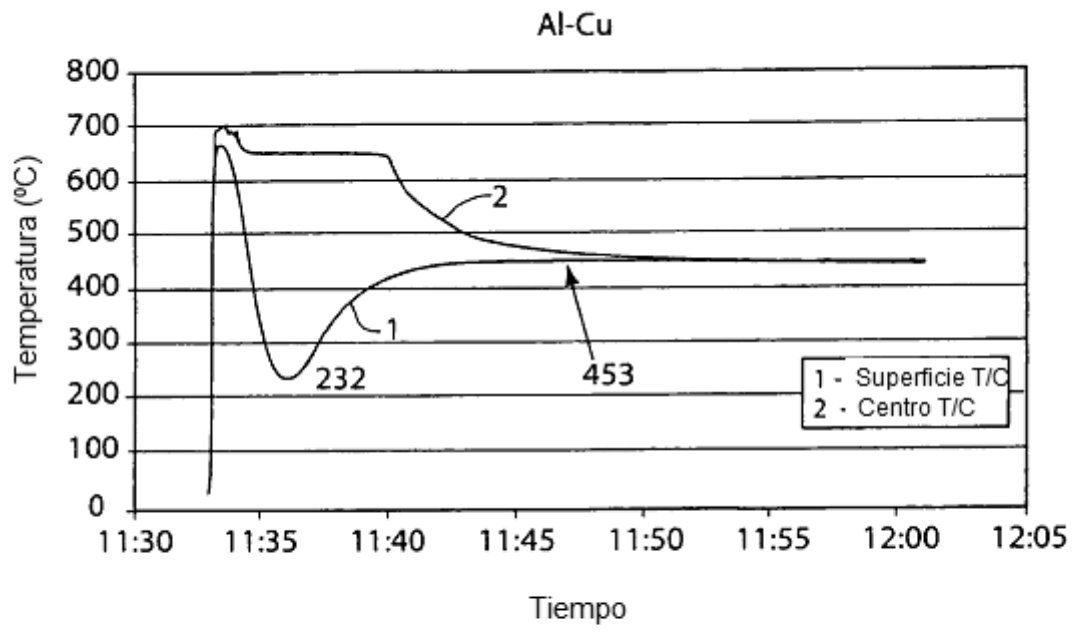


Fig. 19

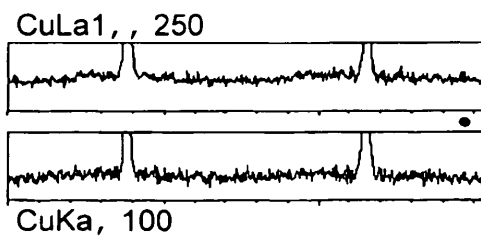
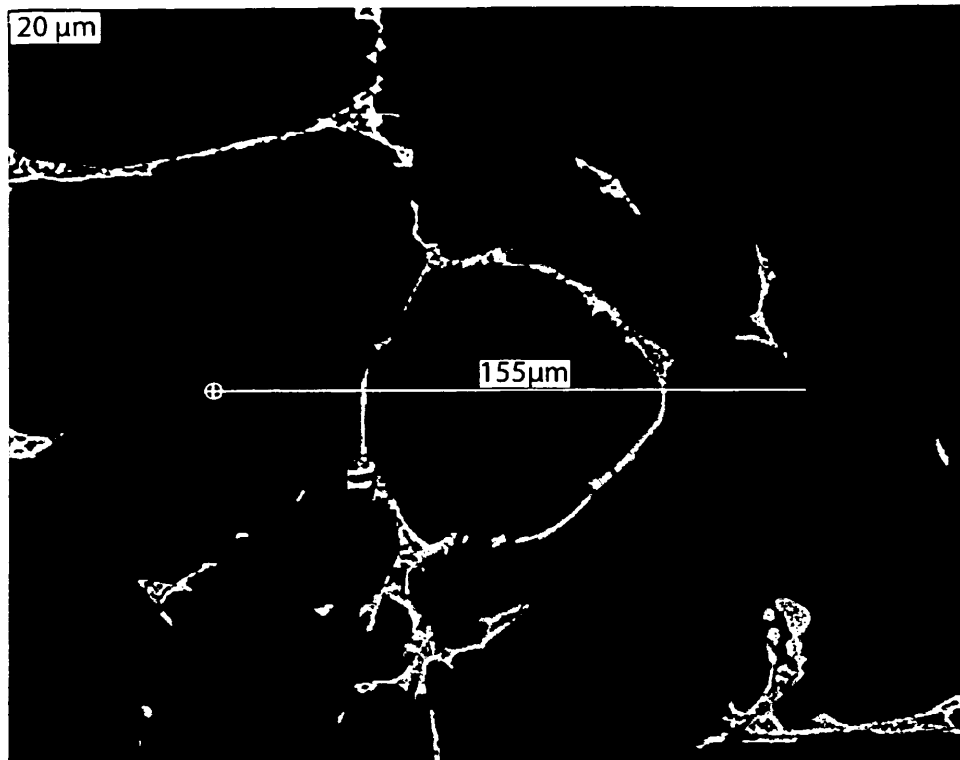


Fig. 20

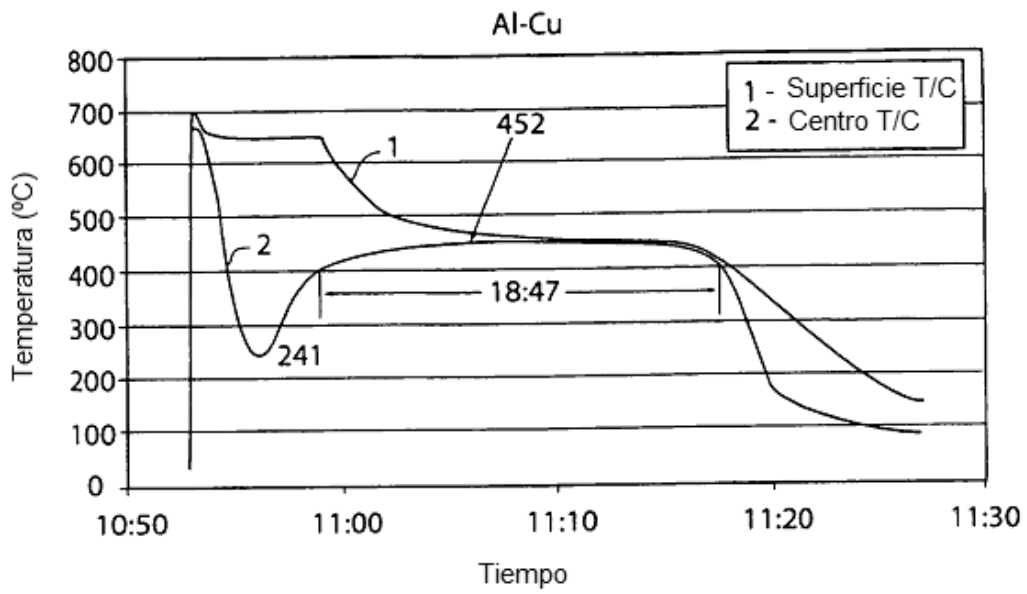


Fig. 21

Fracción de Área Eutéctica Media
(95% CI en 30 campos, SEM BSE, 500X)

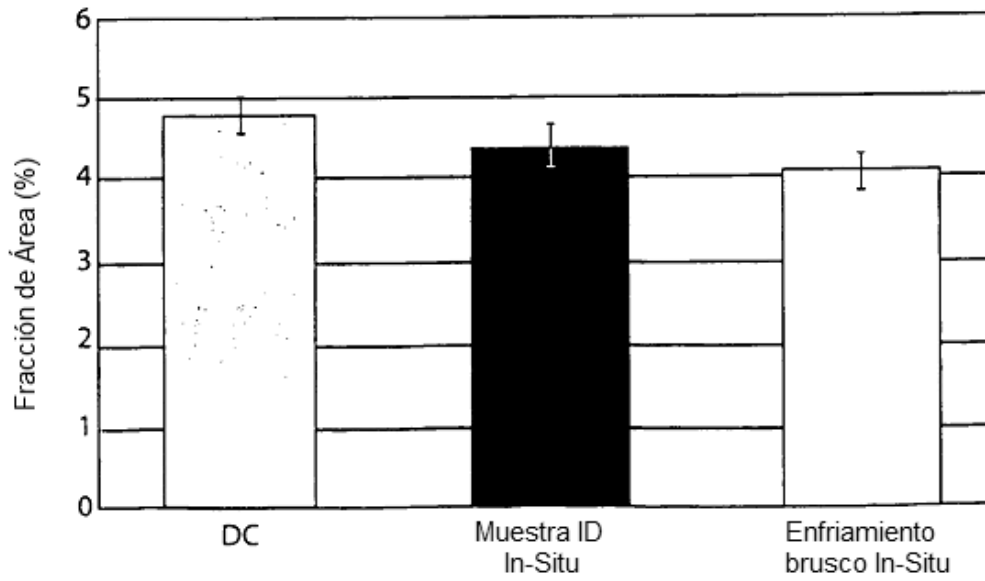


Fig. 22

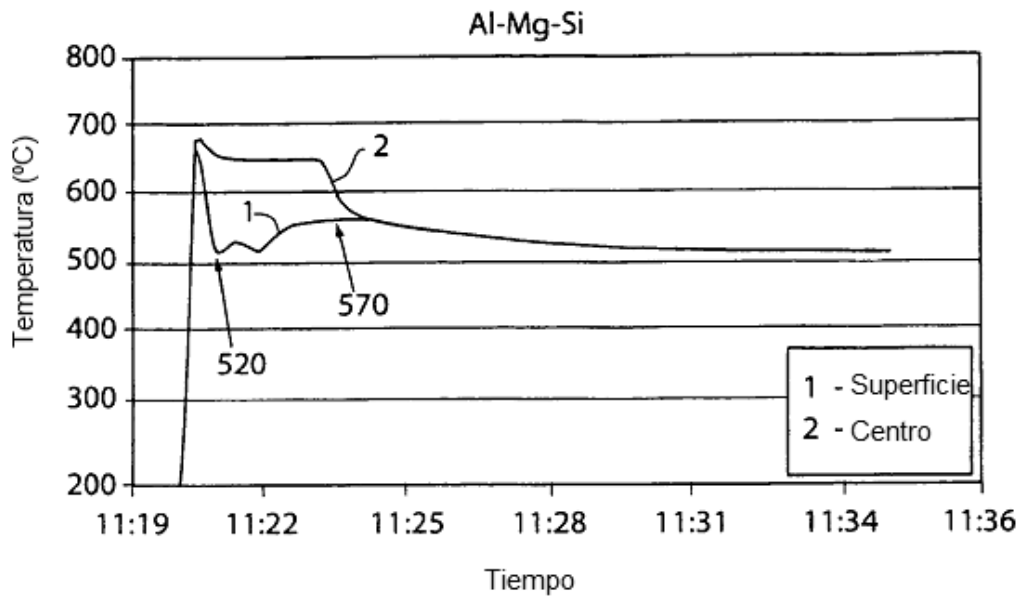


Fig. 23

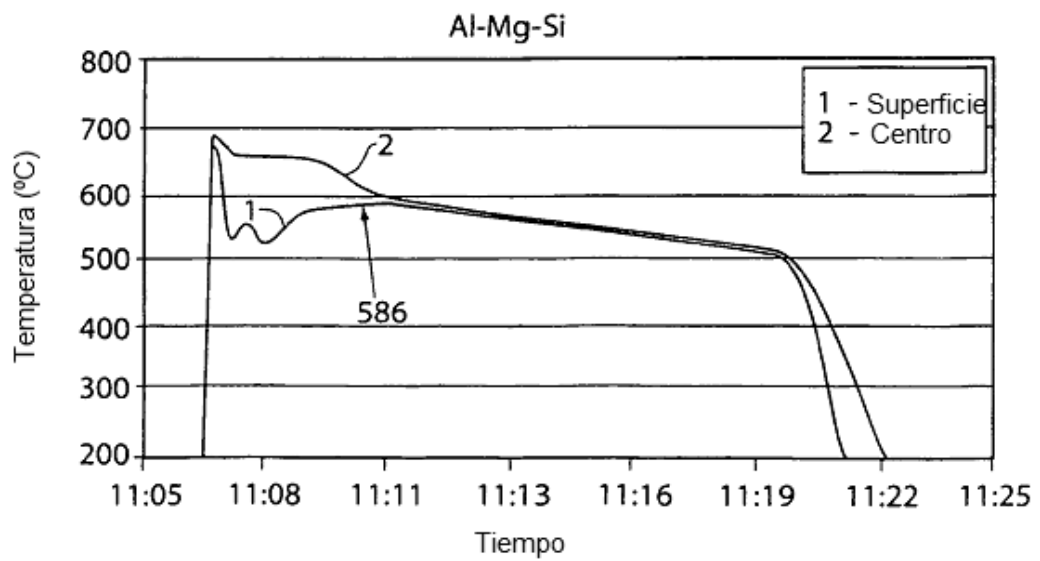


Fig. 24

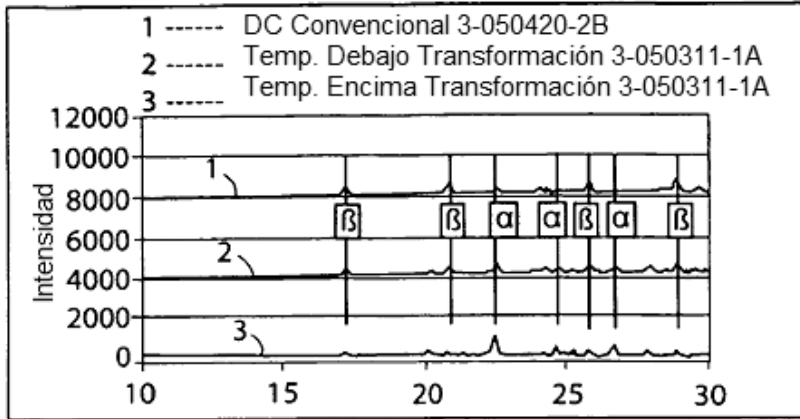


Fig. 25a

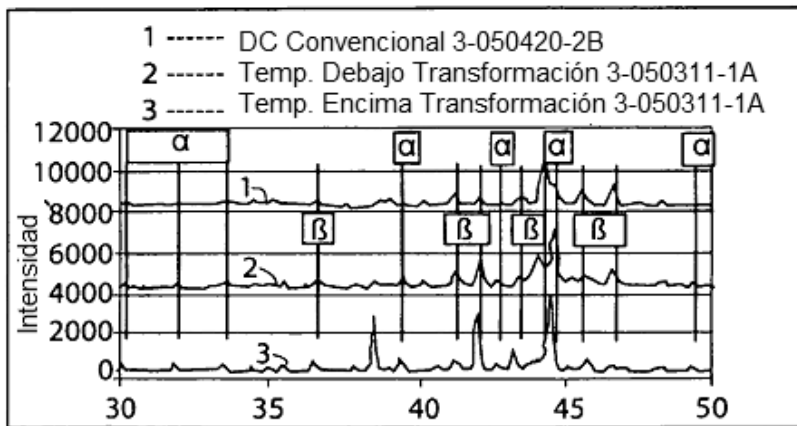


Fig. 25b

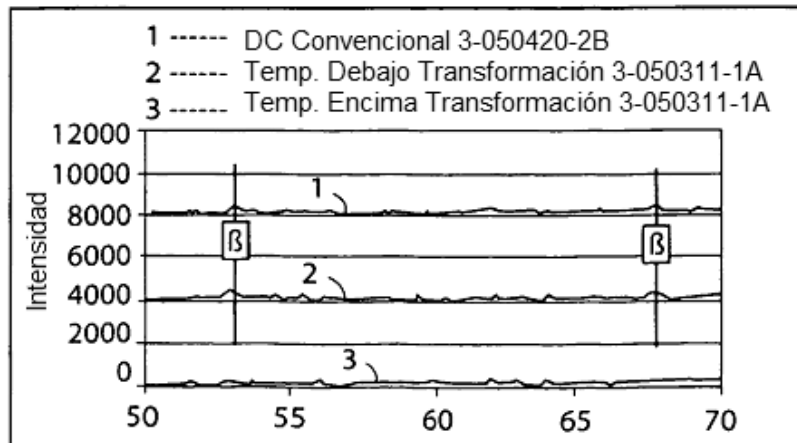


Fig. 25c

Escisión: Alfa/Beta

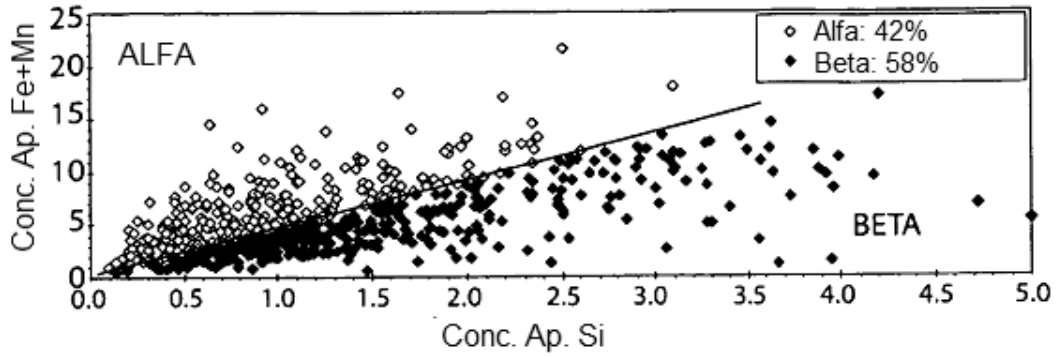


Fig. 26a

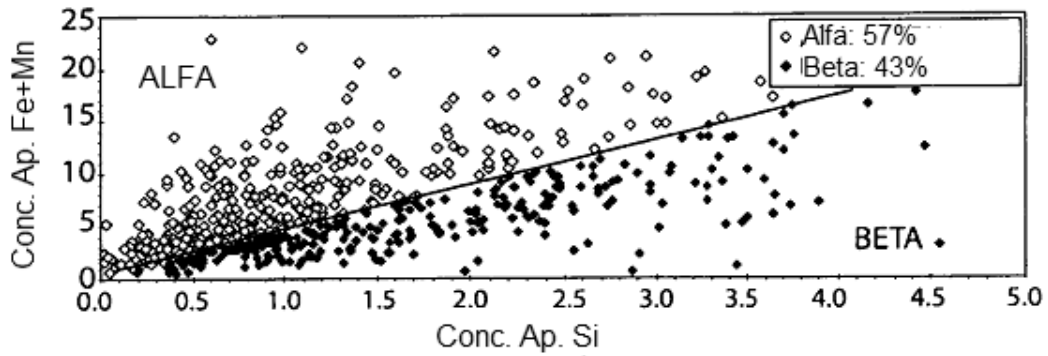


Fig. 26b

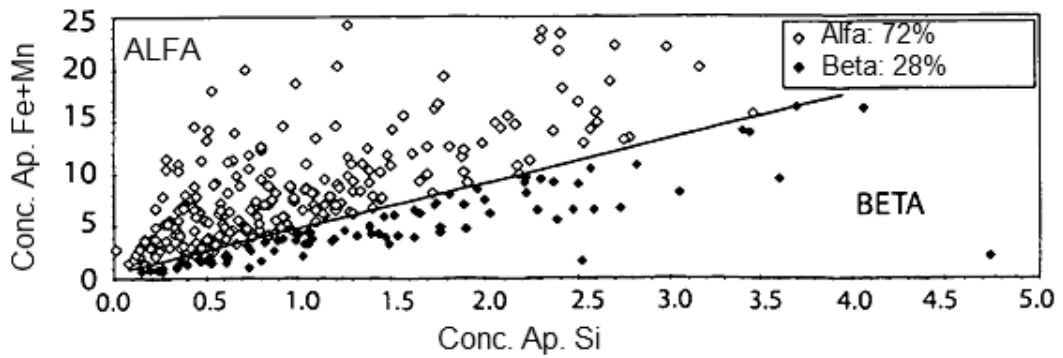


Fig. 26c



Fig 27a

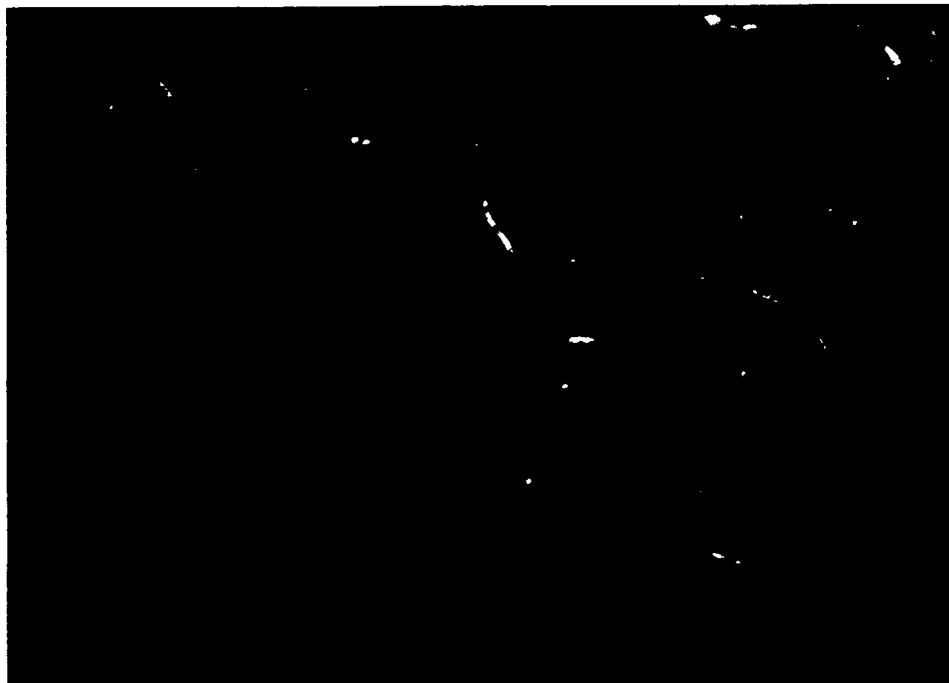


Fig 27b



Fig. 28

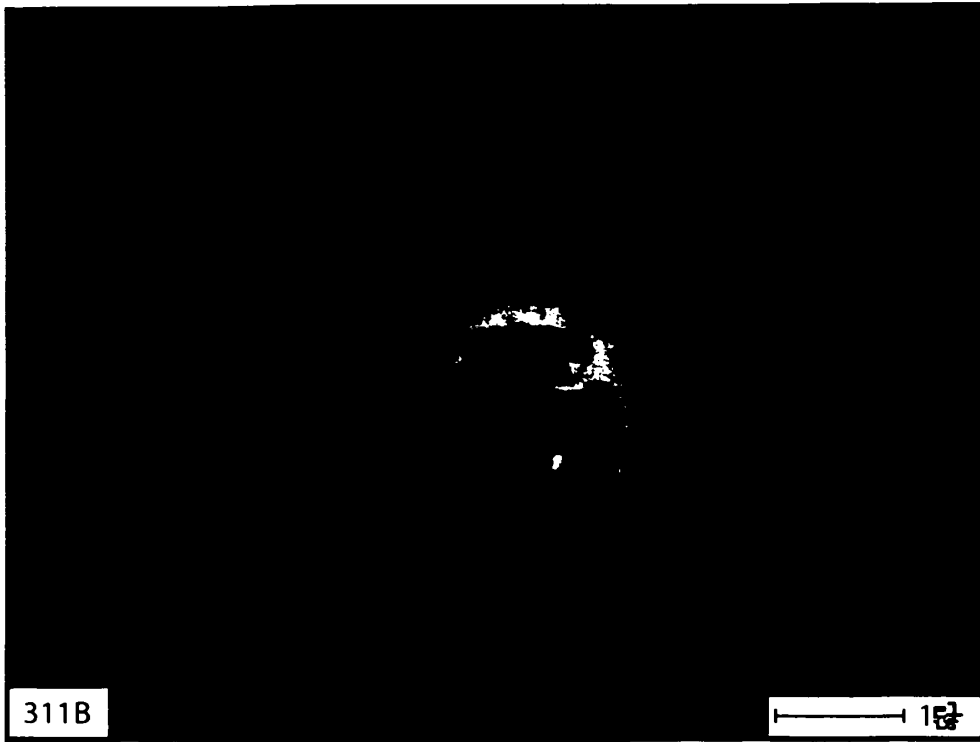


Fig. 29

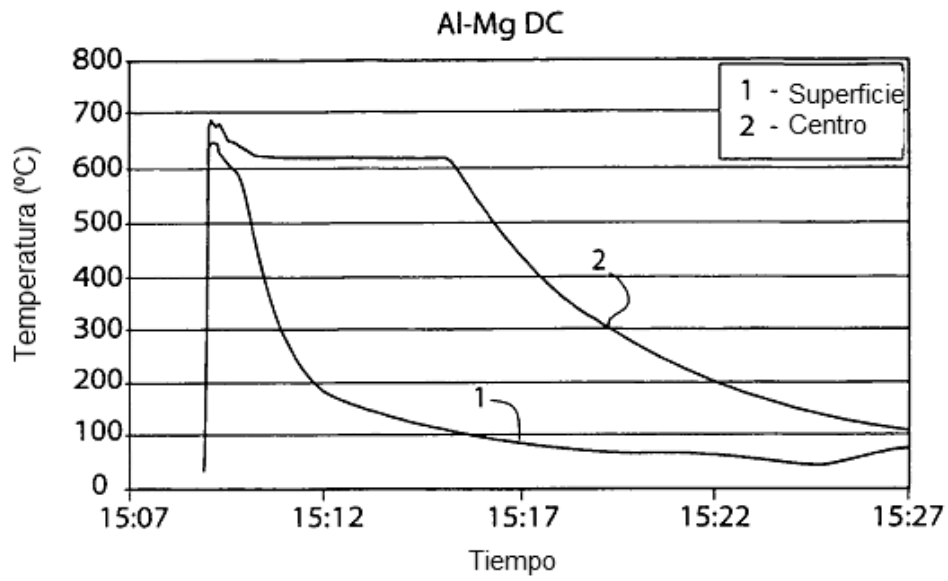


Fig. 30 (Técnica Anterior)

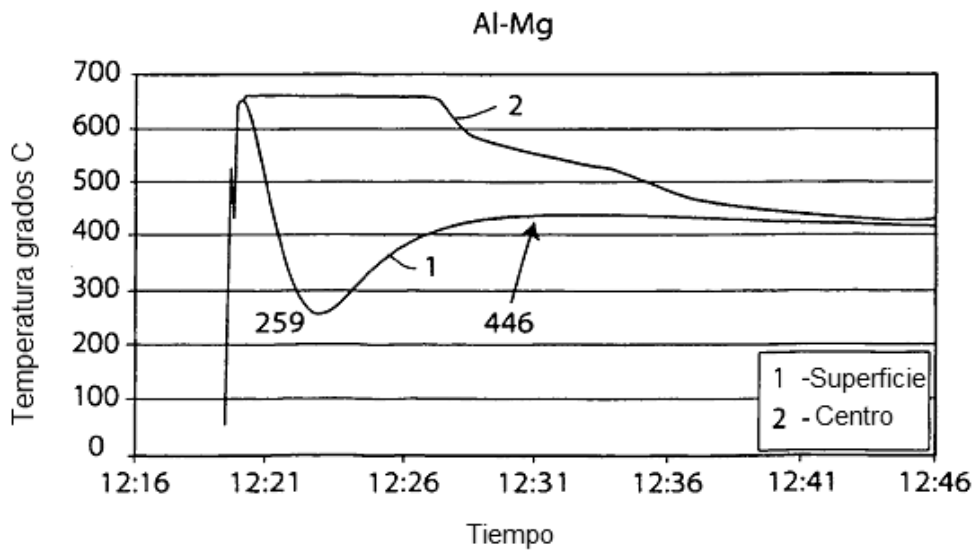


Fig. 31

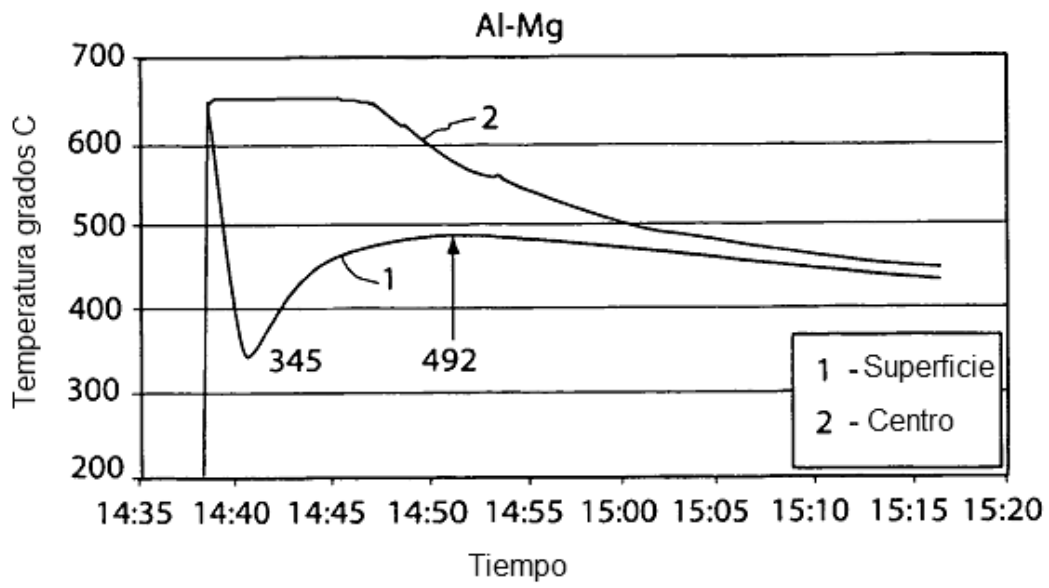


Fig. 32

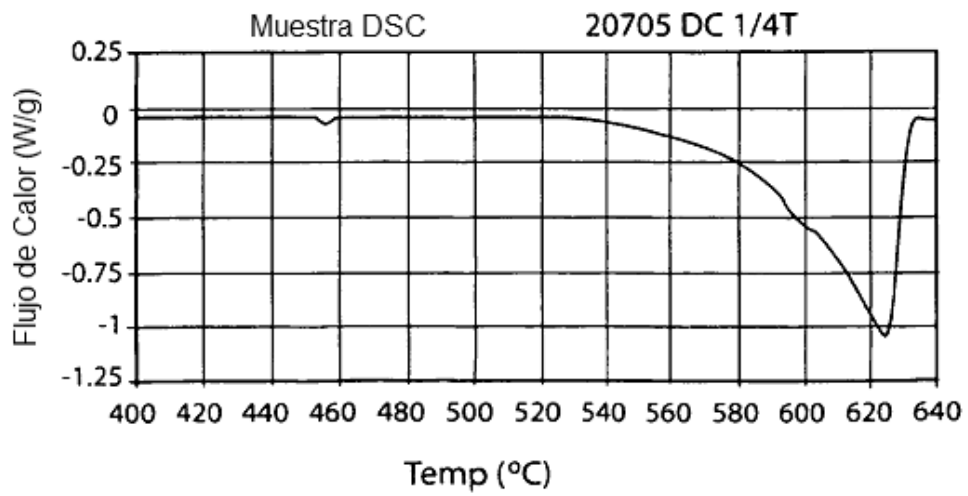


Fig. 33

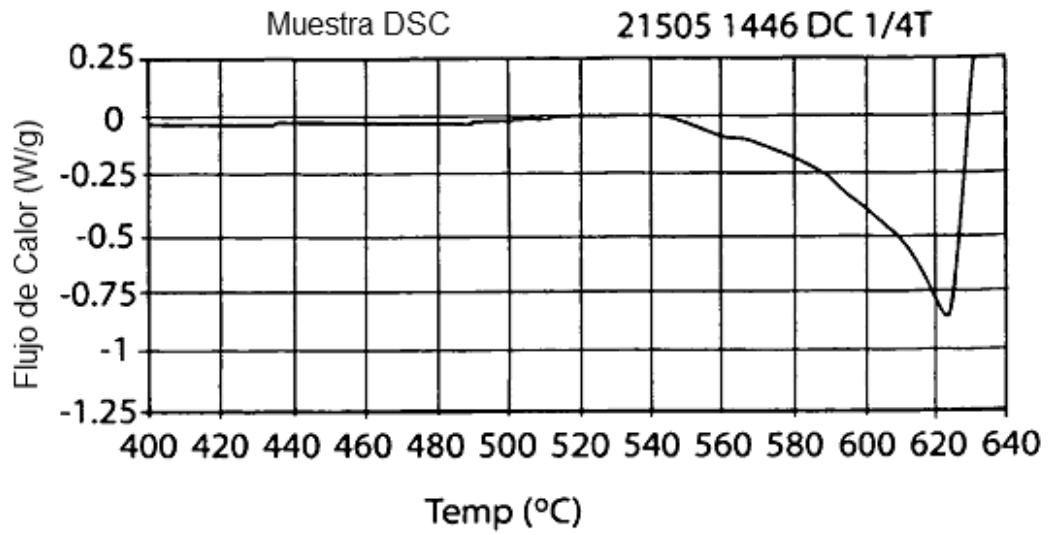


Fig. 34

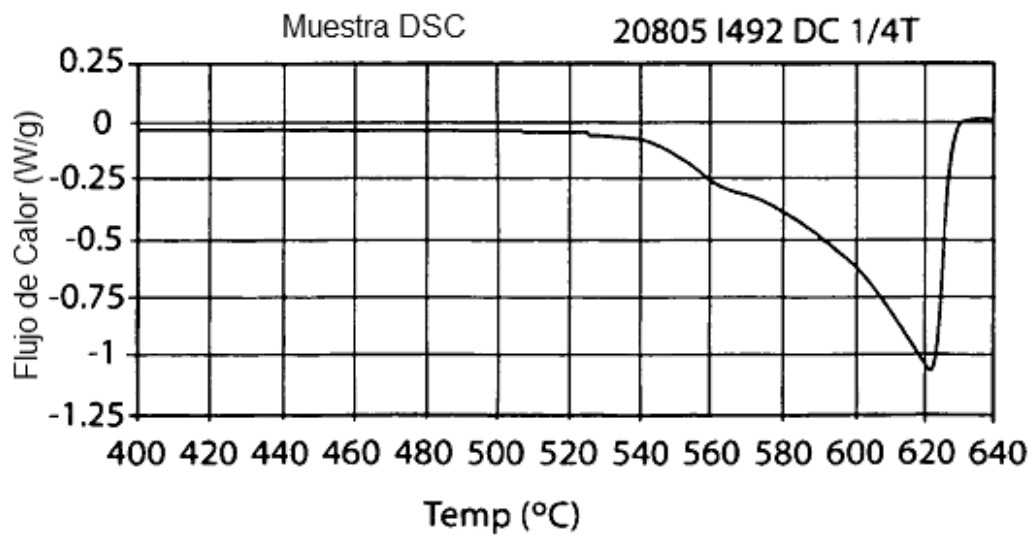


Fig. 35