



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 383**

51 Int. Cl.:  
**C22B 7/00** (2006.01)  
**C22C 21/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06794278 .9**  
96 Fecha de presentación : **03.08.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1913166**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.04.2008**

54 Título: **Procedimiento para reciclaje de chatarra de aleaciones de tipo aluminio-litio.**

30 Prioridad: **04.08.2005 FR 05 08336**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**19.10.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**19.10.2011**

73 Titular/es: **ALCAN RHENALU**  
**17, place des Reflets la Défense 2**  
**92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es: **Riquet, Jean-Pierre;**  
**Pelmard, Philippe y**  
**Verdier, Jean-François**

74 Agente: **Mir Plaja, Mireia**

**ES 2 366 383 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

Procedimiento de reciclaje de chatarra de aleaciones de tipo aluminio-litio.

5 **Campo de la invención**

La invención hace referencia a la fabricación de lingotes de refundición de aleaciones de aluminio con contenido de litio a partir de chatarra (materias primas para reciclaje, como son las limaduras, recortes o despuntes). Más concretamente, la invención hace referencia al reciclaje de la chatarra procedente de los procesos de fabricación de la industria aeronáutica y espacial.

**Estado de la técnica**

En muchos sectores industriales, los procesos de fabricación de productos metálicos terminan con procesos como el mecanizado, la transformación o el corte de productos intermedios y generan, por tanto, cantidades importantes de residuos de elaboración. En el presente documento, englobamos todos estos residuos con el término "chatarra" en el sentido de la norma EN 12258-3, titulada "Aluminio y aleaciones de aluminio. Términos y definiciones. Parte 3: Chatarras", para designar a los productos para reciclaje (aluminio). La industria aeronáutica y la industria espacial en particular generan una cantidad importante de chatarra, ya que muchas piezas estructurales y componentes de una aeronave se obtienen mediante el mecanizado integral de piezas de gran tamaño. No obstante, la chatarra es difícil de reciclar directamente porque viene mezclada con otras aleaciones de aluminio u otros materiales utilizados en la fabricación, como pueden ser los aceros inoxidable o el titanio (Wilson et al., *Journal de Physique C -75* 1987). Los residuos de mecanizado de las aleaciones aeronáuticas se reciclan en aleaciones de aluminio y silicio destinadas a productos moldeados. En el resto del texto denominaremos a esta forma de valorización con el término "línea habitual". Esta vía conlleva una pérdida parcial del valor del metal.

También se pueden fabricar productos de aleaciones de aluminio destinados a aplicaciones aeronáuticas y espaciales a partir de chatarra. La patente FR2801060 describe la fabricación de productos acabados y semiacabados de aleaciones de la serie 7000 a partir de materias primas para reciclaje como las limaduras, recortes o despuntes de elaboración. Este reciclaje es posible gracias a una etapa de purificación en la que se eliminan determinadas impurezas. En el resto del texto denominaremos a esta forma de valorización con el término "línea aeronáutica".

Entendemos por "aleación de tipo aluminio-litio" cualquier aleación que contenga una cantidad de litio superior al 0,2 % en peso, o preferiblemente superior al 0,5 % en peso, independientemente de la presencia de otros elementos de aleación. El punto en común de esta familia de aleaciones es la necesidad de tomar unas precauciones particulares asociadas a la oxidabilidad del litio. Las aleaciones de tipo aluminio-litio (Al-Li) tienen una densidad menor que las aleaciones de aluminio tradicionales y, por ello, resultan más interesantes de cara a reducir el peso de las piezas utilizadas en aeronáutica. Sin embargo, las aleaciones de tipo Al-Li son considerablemente más caras que los productos de aleaciones que no contienen litio, debido a tres razones: el coste intrínseco del litio, el coste de la elaboración del metal en la fundición y la dificultad de reciclar la chatarra. La presente invención hace referencia al reciclaje de la chatarra de aleaciones de tipo Al-Li y, en particular, de chatarra finamente dividida. Esta chatarra se genera no solamente durante la fabricación de elementos estructurales a partir de semiproductos laminados, extrudidos o forjados, sino en la misma fábrica de aluminio, al descascarillar las placas de laminado o al descortezar las palanquillas.

Según la técnica actual, tan sólo se reciclan los residuos grandes de aleaciones de tipo Al-Li, como por ejemplo las placas de laminado, las palanquillas o planchas gruesas desechadas, o los residuos de retestado de planchas gruesas. En lo que respecta a la chatarra finamente dividida, como son las limaduras de mecanizado de aleación de tipo Al-Li, existe la creencia entre los profesionales de este campo de que no se puede reciclar la chatarra en cantidades industriales. Así pues, en la "línea habitual", la presencia de litio comporta muchos problemas, primero desde el punto de vista práctico a la hora de fundir la chatarra, ya que el litio favorece la oxidación del metal líquido. Las consecuencias de ello pueden ser, en particular, la emisión de humo, la formación de costras gruesas o el aumento de masa del metal. En segundo lugar, porque el litio es un metal nocivo para muchas aplicaciones de las aleaciones de aluminio, como pueden ser el embalaje (donde, para ciertas aplicaciones, la contenido residual de litio no puede superar el 0,0001 %), o porque el contenido máximo de impurezas es del 0,05 % (Rabare y Witters, *Light Metals* 1991, p. 1223). También en la "línea aeronáutica", se admite, en general (Wilson et al., *Journal de Physique C -75* 1987), que el reciclaje de la chatarra de aleaciones de tipo Al-Li en aleaciones del mismo tipo no es viable, al menos con las calidades que exigen las industrias que utilizan estos productos (en particular, los sectores aeronáutico y espacial).

Con los conocimientos técnicos actuales, la solución a la que se suele recurrir para reciclar la chatarra de aleaciones de tipo Al-Li consiste en utilizar un proceso que permite separar el aluminio del litio (Wilson et al., Rabare y Witters). Tanto es así que encontramos numerosas solicitudes de patente relacionadas con la purificación de las mezclas líquidas de aluminio y litio mediante métodos electrolíticos. Métodos de este tipo se describen en las patentes US 4.780.186 (Alcoa), US 4.790.917 (Alcan), US 4.849.072 (Alcoa), US 4.882.017 (Alcoa), US 4.973.390 (Alcoa) y US 5.071.523 (Alcoa). También se proponen otras soluciones de tipo químico. La patente FR 2600343 (Pechiney) ofrece un procedimiento de recuperación del aluminio y del litio a partir de residuos metálicos mediante la cloración del litio y la posterior recuperación del cloruro de litio formado. Igualmente, en la patente US 4.758.316 (Alcoa), se plantea un método de refundición y purificación de la chatarra de aleaciones de tipo Al-Li, concretamente formando una sal (LiCl) mediante la cloración del metal líquido. El

documento US 5.032.171 (Alcoa) ofrece un método para eliminar el litio de una aleación de aluminio y litio fundido añadiendo una sal del ácido fluorhídrico y agitándolo electromagnéticamente.

Según la técnica actual, una gran parte de la chatarra finamente dividida de aleaciones de tipo Al-Li sale del circuito de la industria del aluminio para encontrar un uso final en ámbitos externos, por ejemplo para calmar aceros. Esto tiene un impacto importante en los costes globales de las aleaciones de Al-Li y dificulta su desarrollo económico.

Este efecto económico se ve multiplicado cuando las aleaciones de Al-Li contienen otros elementos químicos caros, como la plata, el escandio, las tierras raras o el cobre. A modo de ejemplo, la aleación AA 2195 contiene entre un 0,8 y un 1,2 % de litio y entre un 0,25 y un 0,6 % de plata, y la aleación AA 2098 contiene entre un 0,8 y un 1,3 % de litio y entre un 0,25 y un 0,6 % de plata. En general, resulta interesante mejorar el porcentaje de reciclaje de las aleaciones de tipo Al-Li.

La técnica anterior describe métodos de fundición de la chatarra de aleaciones de aluminio de una manera general. La patente US 3.999.980 describe un método de fundición de la chatarra en atmósfera inerte y lo compara con procedimientos típicos que utilizan una sal fundida. La patente US 4.159.907 señala el inconveniente que representa la baja densidad absoluta de la chatarra, que tiende a flotar sobre el aluminio líquido y a oxidarse, y propone como solución aumentar la densidad de la chatarra comprimiéndola. La patente US 6.074.455 describe un método de inmersión rápida de la chatarra en el aluminio líquido mediante su introducción en el vórtice creado por un rotor. La patente US 3.873.305 describe un método de fundición de la chatarra de las latas de bebidas según el cual se sumerge la chatarra con la ayuda de una hélice giratoria. La patente JP 10147822 describe un horno utilizado para fundir la chatarra de las latas de bebidas en el que la chatarra se mezcla encima del baño de metal líquido con la ayuda de un equipo especial. La solicitud de patente US 2004/0244535 propone introducir los residuos de aleaciones de tipo Al-Li en forma densificada dentro de una cesta adecuada para conseguir una inmersión rápida.

Según la técnica anterior, para fundir la chatarra es preferible realizar una inmersión rápida o protegerla con una atmósfera inerte o con una sal fundida para evitar la oxidación de la chatarra. Para las aleaciones de tipo Al-Li, que son aún más sensibles a la oxidación que las demás aleaciones de aluminio, los expertos en la materia pensarían que los procedimientos de inmersión rápida o de protección mediante atmósfera inerte o sal fundida deberían ser aún más potentes, sobre todo cuando se trata de chatarra finamente dividida, es decir, que posee una superficie específica elevada. Así, se desprende de la bibliografía (D. Naser, Material Eng. 103(4) p. 48) que el problema de la mezcla de la chatarra de aleaciones de tipo Al-Li durante la fundición está por resolver y que hace falta un equipo especial para fundir este tipo de chatarra.

Para intentar resolver el problema, la presente invención propone un nuevo sistema de fabricación de lingotes de refundición en aleaciones de tipo aluminio-litio que permite incorporar una fracción significativa de chatarra finamente dividida.

### Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de fundición de chatarra en aleación de aluminio con contenido de litio tal como se define en la reivindicación 1.

### Descripción de los dibujos

El dibujo 1 presenta un esquema del funcionamiento del procedimiento en el que se basa la invención. La chatarra (4) se introduce en el horno (1) mediante un tornillo sin fin (5) desde un depósito (6), y forma en la superficie del metal líquido (2) un colchón de chatarra (3) que protege la superficie del metal líquido de la oxidación.

El dibujo 2 muestra el dispositivo utilizado para medir el contenido de oxígeno que hay en el interior del colchón de chatarra (3). Se introduce un tubo de extracción (14) a una profundidad (15) dentro del colchón de chatarra (3), y la composición del gas extraído localmente se mide por medio de un analizador de gases (16).

### Descripción de la invención

#### a) Definiciones

A menos que se indique lo contrario, todas las indicaciones relativas a la composición química de las aleaciones se expresan en tantos por ciento en masa. Por tanto, en una expresión matemática, "0,4 Li" significa 0,4 veces el contenido de litio, expresado en tanto por ciento en masa. Esto se aplica mutatis mutandis a los demás elementos químicos. La denominación de las aleaciones se basa en las reglas de The Aluminum Association, conocidas por los expertos en la materia. La composición química de las aleaciones de aluminio normalizadas está definida, por ejemplo, en la norma EN 573-3. A menos que se indique lo contrario, las definiciones de la norma europea EN 12258-1 serán de aplicación. Los términos asociados a la chatarra y a su reciclaje están descritos en la norma EN 12258-3.

El término "mecanizado" comprende cualquier proceso que implique extraer material, como el torneado, el fresado, la perforación, el mandrinado, el fileteado, la electroerosión, el rectificado o el pulido.

**b) Descripción detallada de la invención**

El procedimiento de la invención consta de tres grandes etapas: primero, el suministro de la chatarra; segundo, la preparación de un lecho inicial de metal líquido y la carga de la chatarra; y tercero, la extracción del metal líquido y la colada.

5

1/ Suministro de la chatarra

La chatarra susceptible de ser reciclada mediante el procedimiento de la presente invención puede presentarse en diferentes formas, pero consiste preferiblemente en chatarra finamente dividida, es decir, chatarra constituida por elementos cuya longitud, anchura o grosor sea inferior a 1 mm y que no tenga ninguna de estas dimensiones superior a 30 mm. Una de las formas especialmente preferidas se designa con el término "torneaduras" en la norma EN12258-3, y designa a la chatarra de producción compuesta de granos, limaduras o virutas resultantes del mecanizado u otras operaciones. La chatarra reciclable según la invención puede presentarse en diferentes estados: principalmente chatarra a granel y chatarra triturada. La chatarra granulada también puede ser apta si las piezas que la componen tienen un tamaño lo bastante pequeño. Las características dimensionales de la chatarra son importantes para implementar la presente invención.

10

15

Si la chatarra se suministra en formato compactado, normalmente hará falta una etapa de descompactación.

La chatarra que se puede utilizar en el marco de la presente invención también se caracteriza por su densidad absoluta. La densidad absoluta de la chatarra se mide de la manera siguiente: se llena de chatarra un recipiente cilíndrico con una capacidad de 1 litro. A continuación, se somete a una vibración en forma de pequeños golpes destinados a compactar la chatarra. La operación se repite hasta llenar el recipiente hasta arriba. El peso del recipiente lleno, menos el peso del recipiente vacío, permite saber la densidad absoluta de la chatarra. Es preferible que la densidad absoluta de la chatarra esté comprendida entre 0,05, o preferiblemente 0,1, y 0,7 t/m<sup>3</sup> (toneladas por metro cúbico) y, de manera aún más ventajosa, entre 0,2 y 0,4 t/m<sup>3</sup>.

20

25

Para la presente invención no es necesario que la chatarra sea "chatarra preparada" o "chatarra limpia". La "chatarra revestida" y la "chatarra anodizada" no son adecuadas para la presente invención. Por el contrario, la chatarra compuesta de elementos con mayor masa, llamada "chatarra elaborada" y la "chatarra destinada a fundición directa" en la norma EN12258-3 no se utilizan en el marco principal de la presente invención, pero pueden utilizarse ventajosamente para preparar el lecho inicial de metal líquido necesario para la presente invención.

30

En general, la chatarra está recubierta de lubricantes, que pueden ser emulsiones o aceites enteros y que, aquí, se denominarán comúnmente "aceite". La cantidad de aceite presente en la chatarra varía en función de la etapa de fabricación en la que se genera y de la tecnología utilizada para retirar el metal. Por lo tanto, la cantidad de aceite presente en la chatarra obtenida durante la operación de descascarillado de las placas de laminado suele ser pequeña. En cambio, en las operaciones de mecanizado es mucho mayor.

35

La presente invención puede utilizarse con independencia de la cantidad de aceite presente en la chatarra. Una etapa preliminar de eliminación del aceite puede resultar necesaria o, al menos, útil. Se puede realizar por métodos clásicos de limpieza química y/o térmica. Si se efectúa un desengrase químico con un producto acuoso, luego será necesaria una etapa de secado. Un método ventajoso de desengrase consiste en utilizar un horno cilíndrico giratorio con quemador (tipo IDEX®). La atmósfera de este tipo de hornos contiene poco oxígeno para evitar que los aceites se inflamen. La gestión de la concentración de oxígeno en estos hornos se realiza con un sensor y un circuito regulador.

40

Ventajosamente, la chatarra susceptible de reciclarse en el marco de la presente invención está esencialmente formada por aleaciones de tipo aluminio-litio, a poder ser separadas de manera conveniente. Las aleaciones que van bien son, por ejemplo, la AA2050, AA2090, AA2091, AA2094, AA2095, AA2097, AA2098, AA2099, AA2195, AA2196, AA2197, AA2198, AA2199, AA2297 y AA2397, tal como determina la Aluminum Association. La ventaja de utilizar residuos separados de manera selectiva es evitar que se contamine el baño de fundición con elementos como el zinc, que no están presentes en la mayoría de estas aleaciones, y por consiguiente facilitar el uso posterior de los productos intermedios obtenidos. La chatarra que contiene plata o escandio se puede utilizar de forma económicamente ventajosa en el marco de la presente invención.

45

50

Es preferible que la chatarra que se utilice en el marco de la presente invención no esté contaminada con Fe o Si, residuos que no están en las aleaciones de aluminio, ya que esto puede afectar negativamente a algunas propiedades ventajosas del producto que se va a elaborar con el metal reciclado. El procedimiento de la invención puede incluir una etapa destinada a reducir la cantidad de residuos ferrosos. Se puede emplear cualquier método conocido de separación. La separación de los metales ferrosos es un procedimiento fácil, ya que se pueden utilizar imanes o corrientes de Foucault. Este último método está especialmente indicado para separar residuos magnéticos (metales blancos, acero inoxidable, etc.) y amagnéticos (metales rojos, cobre, latón, etc.). Así se puede limitar la presencia de Fe en la chatarra procedente de piezas con aleaciones ferrosas. Se puede mejorar aún más la selección de la chatarra con un dispositivo basado en las diferencias de tamaño de las partículas, de densidad absoluta y/o de conductividad eléctrica, tal como se describe en US 5.060.871.

55

60

En resumen, la etapa de suministro puede incluir, en función de la definición inicial de la chatarra, las acciones siguientes:

- seleccionar las aleaciones que componen la chatarra (separación)
- descompactar la chatarra si ésta viene compactada
- seleccionar las dimensiones adecuadas de los fragmentos que componen la chatarra (separación)

- quitar las posibles impurezas metálicas o no metálicas (separación)
- desengrasar

Lógicamente, estas actividades pueden sustituirse por el suministro de una chatarra con unas características bien definidas.

5

## 2/ Preparación de un lecho inicial de metal líquido y carga de la chatarra

La etapa de carga de la chatarra consiste en introducir la chatarra en el horno. Se realiza de manera continua o semicontinua. La etapa de carga se realiza en un horno de fundición en el que se prepara un lecho inicial de metal líquido de una primera composición sobre el cual se vierte la chatarra no compactada. La manera más económica de conseguir el lecho inicial de metal líquido es fundiendo en un horno de fundición residuos de gran masa, como son los recortes o restos de troquelar de planchas finas o gruesas, restos de perfiles de placas o restos de palanquillas, estando dichos residuos masivos formados por aleaciones de tipo Al-Li compatibles con la chatarra o por aleaciones que no contengan litio, y preferiblemente más puras, cuya composición no interfiera en la composición final. El lecho inicial de metal líquido puede conseguirse también fundiendo lingotes de refundición de una aleación de tipo Al-Li compatible con la chatarra o de una aleación que no contenga litio, y preferiblemente más pura, cuya composición no interfiera en la composición final. Otra forma de conseguir el lecho inicial de metal líquido es fundiendo chatarra directamente, pero este método no es tan económico porque causa la combustión de una cantidad importante de chatarra durante la operación si no se efectúa con unas precauciones muy específicas. La fundición directa de la chatarra se puede realizar en una atmósfera inerte adecuada, pero esto aumenta los costes de inversión y de explotación del proceso. En el caso de coladas sucesivas, el lecho inicial de metal líquido se puede realizar ventajosamente con el remanente de la colada anterior (o "pie de baño"). El lecho inicial de metal líquido tiene un peso típicamente inferior al 300 %, y preferiblemente inferior al 150 %, del peso de la chatarra que se va a fundir. Es preferible que su temperatura sea muy similar a la temperatura de fundición de dichos residuos masivos o lingotes de refundición.

La chatarra se carga en el lecho de metal líquido mediante un sistema adecuado, por ejemplo un tornillo sin fin o una tolva y un sistema vibrador, de manera que se forme en la superficie del lecho de metal líquido un colchón flotante de chatarra de un grosor controlado. Dicho colchón se fundirá parcialmente al entrar en contacto con el lecho de manera que se obtenga un baño de metal líquido con una segunda composición, que puede ser igual o diferente de la primera. La concentración de litio de la segunda composición de dicho baño de metal líquido estará comprendida entre el 0,1 %, o preferiblemente el 0,2 %, y el 2,5 % en peso.

Dicho grosor controlado está comprendido entre 300 mm y 1.500 mm.

El contenido de litio del baño de metal líquido de una segunda composición que resulta adecuado para el procedimiento de la presente invención está comprendido entre el 0,1 %, o preferiblemente el 0,2 %, y el 2,5 %. Se prefiere no superar el 2,5 %, ya que, a partir de este 2,5 %, la protección que proporciona el colchón flotante no es suficiente, lo cual causa un menor rendimiento en litio, puede generar humos nocivos y provoca una degradación más rápida del material refractario del horno. Por debajo del 0,1 % o incluso del 0,2 %, la reactividad del litio diluido en el baño de aluminio es baja y, por lo tanto, no se necesita protección. En una realización ventajosa del procedimiento de la invención, la concentración de litio del baño de metal líquido de una segunda composición está comprendida entre el 0,5 % y el 2 %.

El dibujo 1 muestra un dispositivo constituido por un tornillo sin fin (5) que permite introducir la chatarra (4) sobre el lecho de metal líquido (2) para formar un colchón de limaduras (3). Las características dimensionales de la chatarra, su densidad absoluta, la temperatura del lecho de metal líquido y las características del horno utilizado pueden influir en la velocidad a la que hay que introducir la chatarra para obtener un colchón del grosor deseado. El caudal de chatarra adecuado debe mantener el grosor del colchón de chatarra entre 300 mm y 1500 mm durante la mayor parte y, si es posible, la totalidad de la etapa de carga, de manera que la chatarra se vaya fundiendo e incorporando progresivamente al lecho de metal líquido. La etapa de carga puede efectuarse de manera continua o semicontinua.

Los inventores han descubierto que, aunque parezca sorprendente, el colchón de chatarra creado de esta manera en la superficie del lecho de metal líquido protege dicho lecho durante la fundición lo bastante para evitar la oxidación producida por el aire de la atmósfera y limitar las pérdidas caloríficas de dicho lecho. Es preferible que el colchón de chatarra sea casi estático, es decir, que no se mezcle ni se empuje mecánicamente para incorporarlo al baño de metal líquido. Es preferible evitar una acción mecánica sobre el colchón de chatarra porque altera el efecto protector del mismo. Además, si se aplica una acción mecánica sobre el colchón de chatarra con herramientas que contengan hierro, existe el riesgo de contaminar con hierro el baño de metal líquido, lo cual resulta negativo para las aplicaciones aeronáuticas. En una forma de realización ventajosa de la invención, no utilizamos ningún dispositivo mecánico en contacto con el colchón de chatarra durante la etapa de carga.

Durante esta etapa de carga, puede utilizarse una protección adicional del colchón de chatarra y del lecho de metal líquido contra la oxidación a base de, por ejemplo, argón, nitrógeno o alguna sal fundida, pero no es indispensable. En el caso en que el contenido de litio en el lecho de metal líquido sea elevado, por ejemplo superior al 2 %, esta protección adicional será ventajosa.

En una forma de realización ventajosa de la invención, el horno de fundición utilizado es un horno con agitación electromagnética (horno de inducción).

65

### 3/ Extracción y colada del metal líquido obtenido

El baño de metal líquido de una segunda composición se extrae del horno de fundición (etapa de extracción) con algún medio adecuado como, por ejemplo, inclinando el horno, mediante aspiración o desplazando las paredes móviles. Esta etapa de extracción puede efectuarse de manera continua o semicontinua.

En una variante continua de la invención, se realizan simultáneamente, al menos en parte, las etapas de carga y de extracción del metal líquido. En este caso, es necesario que el metal líquido esté permanentemente cubierto por el colchón flotante de chatarra. En una forma de realización ventajosa de esta variante continua, se utiliza una protección contra la oxidación de la chatarra y del metal líquido mediante argón, nitrógeno o una sal fundida durante las etapas, simultáneas al menos en parte, de carga y extracción de metal líquido.

La colada del metal líquido extraído se realiza para formar uno o varios productos intermedios sólidos como son las placas de laminado, palanquillas de extrusión, bloques de forja o lingotes de refundición. La colada en forma de lingotes de refundición (tal como se definen en la norma EN 12258-1), bolas, lingotes grandes o pequeños, barras, bloques, tochos, panes o cualquier otro formato favorable para una posterior fusión resulta ventajosa. No es necesaria ninguna medida especial para inertizar la superficie del metal líquido al salir del horno para evitar la oxidación durante la etapa de extracción y durante la colada, siempre que el tiempo de exposición del metal líquido al ambiente sea lo bastante corto.

El producto intermedio obtenido se enfría y se desmolda en las condiciones operativas habituales que utilizan los expertos en la materia para este tipo de aleaciones. En una forma de realización ventajosa de la invención, el producto intermedio obtenido es un lingote de refundición. Dicho lingote de refundición obtenido tiene, preferiblemente, una concentración de litio comprendida entre el 0,1 %, o preferiblemente el 0,2 %, y el 2,5 %, o preferiblemente comprendida entre el 0,2 % y el 2 %.

Los lingotes de refundición obtenidos con el procedimiento de la invención pueden utilizarse ventajosamente para elaborar productos acabados o semiacabados de aleaciones de tipo Al-Li, como son las planchas gruesas, las planchas finas, las bandas, los perfiles o las piezas forjadas.

Los inventores han observado asimismo que, cuando la chatarra contiene metales preciosos, como la plata o el escandio, el rendimiento de recuperación de estos metales es muy favorable.

### 4/ Etapa opcional de fundición final del colchón de chatarra

En una forma de realización de la invención, el colchón de chatarra está totalmente fundido y la temperatura del metal líquido se ajusta ventajosamente a la salida de la etapa de carga para permitir la extracción de metal líquido (etapa de fundición final del colchón). En una forma de realización ventajosa de la invención, la etapa de fundición final del colchón se realiza en una atmósfera protectora contra la oxidación. Esta protección se consigue, por ejemplo, con argón líquido o inyectando argón gaseoso. También se puede utilizar otro gas inerte y/o nitrógeno. En otra forma de realización de la invención, se utiliza, en la etapa de fundición final del colchón, una sal fundida, como puede ser el KCl, LiCl, MgCl<sub>2</sub> o una mezcla de estas sales, a la que puede añadirse eventualmente AlF<sub>3</sub>, criolita (AlF<sub>6</sub>Na<sub>3</sub>), quiolita (Na<sub>5</sub>Al<sub>3</sub>F<sub>14</sub>) o cualquier otra sal adecuada, con la intención de proteger la superficie del metal líquido contra la oxidación. En el caso en que el contenido de litio del baño sea elevado, por ejemplo superior al 2 %, esta protección durante la etapa de ajuste de la temperatura resulta especialmente ventajosa.

El procedimiento de la invención presenta ventajas técnicas y económicas:

- no requiere invertir en una instalación particular, sobre todo en atmósfera inerte,
- no requiere, o minimiza, el uso de consumibles caros, como son los gases inertes,

ya que la formación de un colchón de chatarra de grosor controlado permite proteger de la oxidación la superficie del metal líquido de una forma sorprendentemente eficaz. Si la aleación contiene otros metales preciosos, como la plata o el escandio, el procedimiento es especialmente ventajoso desde el punto de vista económico, ya que permite recuperarlos en su totalidad. Este procedimiento representa, por tanto, un avance significativo respecto de la técnica existente, que requiere una inmersión rápida de la chatarra y/o una inertización, muy cara, de las aleaciones de tipo Al-Li para limitar la oxidación de dicha chatarra, con las consiguientes consecuencias técnicas y económicas.

### **c) Ejemplos**

#### **Ejemplo 1**

Se introdujeron 2 toneladas de limaduras de descascarillado (la chatarra) de aleación 2098 con la ayuda de un tornillo sin fin en un horno IDEX® para desengrasarlas. Esta chatarra se caracterizaba por tener una densidad absoluta de 0,3 t/m<sup>3</sup>. Se empleó un detector magnético en la entrada del horno para eliminar al máximo la contaminación magnética accidental.

En un horno de inducción (frecuencia de la corriente de alimentación: 70 Hz) con una capacidad de 6 toneladas, se preparó un lecho de metal líquido a partir de 3 toneladas de residuos masivos de aleación 2098 (para otros ensayos similares de operaciones de fundición y de colada sucesivas, se utilizó como lecho de metal líquido el remanente de la colada anterior o "pie de baño"). Este lecho de metal líquido se llevó a una temperatura comprendida entre 700 y 780 °C. A continuación, se introdujeron 2 toneladas de chatarra a razón de 6 toneladas/hora. Así se obtuvo un colchón de chatarra de un grosor fijo de 800 mm. En algunos ensayos, durante esta etapa de carga, se introdujo argón. Las condiciones de todos los ensayos se resumen en la tabla 1. Una vez

cargada toda la chatarra, en algunos ensayos se aplicó una protección de la superficie del metal líquido mediante sales o argón.

Las sales utilizadas eran una mezcla formada por un 50 % de KCl y un 50 % de LiCl. A continuación, se llevó el metal líquido a una temperatura de referencia de 730 o 750 °C, según el ensayo. Las temperaturas de referencia y las temperaturas obtenidas se indican en la tabla 1. Seguidamente, se realizó una colada de 2 toneladas de metal líquido, repartida en dos cubetas con una capacidad de una tonelada cada una. En ese momento, se sacaron muestras para análisis ("fichas de colada") tras la etapa de introducción del chatarra y en el momento de verter la colada en las cubetas.

Nº de ensayo	Densidad absoluta de la chatarra (t/m3)	Etapa de carga			Etapa de fundición final del colchón		
		Condiciones operativas	Velocidad de carga de la chatarra (toneladas/h)	Grosor del colchón de chatarra (mm)	Condiciones operativas	Temperatura de referencia	Temperatura alcanzada
1	0,3	Argón	6	800	Argón	730	No determinado
2	0,3	Argón	6	800	Sal	730	731
3	0,3	-	6	800	-	730	697
4	0,3	-	6	800	Argón	750	753

Tabla 1: Condiciones operativas

Los resultados del análisis de las fichas extraídas en el momento de la colada, realizados para los diferentes ensayos, se resumen en la tabla 2. Se observó una contaminación de manganeso y zinc procedente de las aleaciones 2024 y 7075, que contaminaron la chatarra de 2098. Para saber el rendimiento en litio, se ha efectuado una corrección numérica asociada a estas contaminaciones determinando, a partir de las concentraciones de zinc y manganeso, la cantidad de chatarra procedente de las aleaciones 2024 y 7075.

Nº de ensayo	% Li de la carga (teórica)	% en masa medido en el momento de la colada				% de contaminación	% calculado		Rendimiento en Li
		Li	Ag	Mn	Zn		Li sin contaminación	Ag sin contaminación	
1	0,94	0,86	0,31	0,06	0,003	9,3	0,95	0,34	101%
2	0,97	0,85	0,31	0,07	0,020	11,2	0,96	0,35	99%
3	0,97	0,88	0,31	0,03	0,009	2,9	0,91	0,32	94%
4	0,94	0,88	0,32	0,03	0,030	3,9	0,91	0,33	97%

Tabla 2. Resultados analíticos y rendimiento

Contra todo pronóstico, el rendimiento en litio es muy similar en todas las configuraciones experimentales utilizadas. Así pues, en el ensayo nº 3, en el que, además de la inertización mediante el colchón de chatarra, no se empleó ningún otro sistema de inertización especial durante la carga o el aumento de la temperatura, como podría ser una inertización con argón o alguna sal, el rendimiento en Li es perfectamente aceptable para un uso industrial.

Asimismo, se observa una buena recuperación de la plata (la concentración teórica inicial de Ag es del orden del 0,3 % en peso). Esto hace que el procedimiento sea aún más interesante en términos económicos.

Para optimizar el rendimiento económico del procedimiento, la espuma que flota en la superficie después del desmojado contiene metal en forma metálica, que puede recuperarse con alguna operación complementaria.

**Ejemplo 2:**

Para entender mejor el efecto protector del colchón de chatarra que se forma encima del metal líquido según el procedimiento de la invención, medimos las concentraciones de oxígeno dentro del colchón de chatarra con una sonda y un aparato especial. El dibujo 2 muestra un esquema del método utilizado. Se introdujo un tubo de extracción de gas (14) en el colchón de chatarra (3) a una profundidad determinada (15). Se midió la concentración de oxígeno con un analizador de gases (16) pasado un tiempo determinado después de la introducción del tubo (t1). Este tiempo

puede influir en la medición, ya que el hecho de introducir el tubo en el colchón de chatarra altera localmente la composición de los gases. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3. Podemos observar diferencias en la concentración de oxígeno si se introduce el tubo 50 mm o 120 cm, y si se esperan 7 minutos, podemos alcanzar una concentración de oxígeno dividida por un factor superior a 3.

5 Estas mediciones demuestran la influencia en la concentración de oxígeno local del colchón de chatarra.

N° de medición	peso del pie de baño antes de cargar la chatarra en el horno (t)	Profundidad de introducción (5)									
		120mm		100mm		60mm		50mm		30 mm	
		Concentración de O <sub>2</sub>	t1 (min)								
1	2,5	15,3%	1	18,2%	2	18,4%	4	15,0%	5	18,6%	7
		15,9%	8								
2	3,5	16,3%	2	12,1%	3	17,5%	4	19,5%	5	20,5%	6
		6,5%	7								

10 Tabla 3. Resultados de las mediciones de la concentración de oxígeno

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fundición de chatarra de aleación de aluminio con contenido de litio en el que
  - (i) se suministra chatarra formada por aleaciones de tipo aluminio-litio (etapa de suministro);
  - (ii) se prepara un lecho inicial de metal líquido de una primera composición (etapa de preparación del lecho inicial de metal líquido) en un horno de fundición;
  - (iii) se carga dicha chatarra sobre el lecho inicial de metal líquido de manera que se forme en la superficie del lecho de metal líquido un colchón flotante de chatarra de un grosor controlado (etapa de carga). Dicho colchón se fundirá parcialmente al entrar en contacto con el lecho de manera que se obtenga un baño de metal líquido con una segunda composición, que puede ser igual o diferente a la primera. La concentración de litio de la segunda composición de dicho baño de metal líquido estará comprendida entre el 0,1 %, o preferiblemente el 0,2 %, y el 2,5 % en peso;
  - (iv) se extrae el metal líquido (etapa de extracción) de dicho baño de metal líquido de una segunda composición.

El grosor controlado de dicho colchón flotante durante la etapa de carga está comprendido entre 300 mm y 1.500 mm.
2. Procedimiento continuo según la reivindicación 1, en el que las etapas de carga y de extracción se desarrollan, al menos en parte, simultáneamente y en el que el metal líquido está cubierto permanentemente durante estas dos etapas por dicho colchón de chatarra.
3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en el que la etapa de carga se efectúa de manera continua o semicontinua.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en el que la etapa de extracción se efectúa de manera continua o semicontinua.
5. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que, al final de la etapa de carga, se funde totalmente el colchón de chatarra (etapa de fundición final del colchón).
6. Procedimiento según la reivindicación 5 en el que se ajusta la temperatura del baño de metal líquido de una segunda composición para obtener una temperatura compatible con la extracción de metal líquido durante la etapa de extracción.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6 en el que la chatarra y el metal líquido se protegen contra la oxidación durante la etapa de fundición final del colchón mediante argón líquido y/o argón gaseoso y/o nitrógeno.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7 en el que la chatarra y el metal líquido se protegen contra la oxidación durante la etapa de fundición final del colchón mediante una sal fundida.
9. Procedimiento según la reivindicación 8 en el que dicha sal fundida es una o varias de las sales del grupo formado por el KCl, el LiCl, el MgCl<sub>2</sub>, el AlF<sub>3</sub>, el AlF<sub>6</sub>Na<sub>3</sub> y Na<sub>5</sub>Al<sub>3</sub>F<sub>14</sub>.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 en el que se efectúa una colada del metal líquido extraído para formar un producto intermedio sólido.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 en el que la concentración de litio del baño de metal líquido de una segunda composición está comprendida entre el 0,5 % y el 2 % en peso.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 en el que el colchón de chatarra y el lecho de metal líquido se protegen contra la oxidación durante la etapa de carga mediante argón y/o nitrógeno y/o una sal fundida.
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 en el que la chatarra está formada por tomeaduras, como pueden ser granos, limaduras o virutas resultantes de procesos de mecanizado u otras operaciones.
14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 en el que la chatarra comprende elementos cuya longitud, anchura o grosor es inferior a 1 mm y que no tienen ninguna de estas dimensiones superior a 30 mm.
15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 en el que la densidad absoluta de la chatarra está comprendida entre 0,05, o preferiblemente 0,1, y 0,7 t/m<sup>3</sup>

16. Procedimiento según la reivindicación 15 en el que la densidad absoluta de la chatarra está comprendida entre 0,2 y 0,4 t/m<sup>3</sup>.
- 5 17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16 en el que la chatarra está esencialmente constituida por una o varias aleaciones seleccionadas de entre las siguientes: AA2050, AA2090, AA2091, AA2094, AA2095, AA2097, AA2098, AA2099, AA2195, AA2196, AA2197, AA2198, AA2199, AA2297 y AA2397.
- 10 18. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17 en el que la chatarra contiene plata o escandio.
19. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18 en el que se desengrasa la chatarra durante la etapa de suministro.
- 15 20. Procedimiento según la reivindicación 19 en el que dicho desengrasado se realiza con un horno cilíndrico giratorio con quemador.
- 20 21. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20 en el que el lecho inicial de metal líquido tiene un peso inferior al 300 % del peso de la chatarra cargada.
22. Procedimiento según la reivindicación 21 en el que el lecho inicial de metal líquido tiene un peso inferior al 150 % del peso de la chatarra cargada.
- 25 23. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 22 en el que el horno de fundición es un horno de inducción.
24. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 23 en el que el producto intermedio es un lingote de refundición.
- 30 25. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 24 en el que el colchón de chatarra es casi estático.
- 35 26. Procedimiento según la reivindicación 10 en el que el producto intermedio obtenido se utiliza para elaborar productos acabados o semiacabados de aleaciones de tipo Al-Li, como pueden ser planchas gruesas, planchas finas, bandas, perfiles o piezas forjadas.

Figure 1

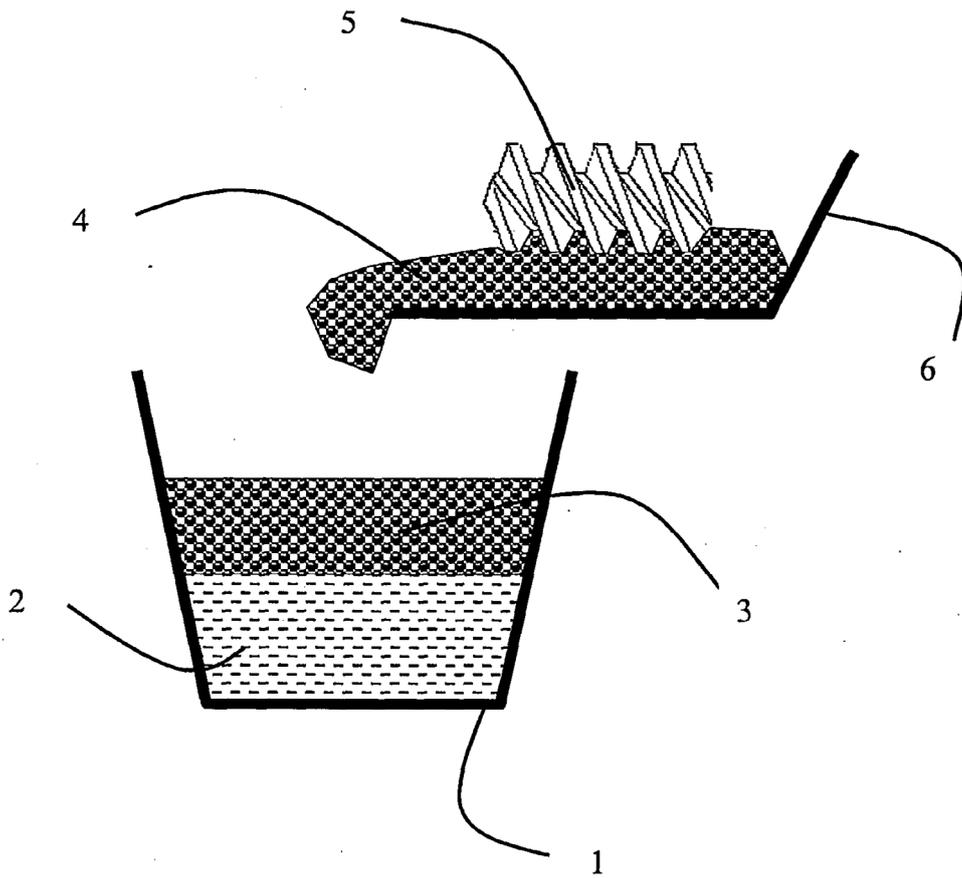


Figure 2

