

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 490**

51 Int. Cl.:

C22B 9/20 (2006.01)

C22F 1/16 (2006.01)

C22F 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.01.2011 PCT/US2011/022209**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.08.2011 WO11097084**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2011 E 11703076 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 2531627**

54 Título: **Sistemas y métodos para formar y procesar lingotes de aleación**

30 Prioridad:

05.02.2010 US 700954

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

23.11.2017

73 Titular/es:

**ATI PROPERTIES, INC. (100.0%)
1600 N.E. Old Salem Road
Albany, OR 97321, US**

72 Inventor/es:

MINISANDRAM, RAMESH S.

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 643 490 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

Sistemas y métodos para formar y procesar lingotes de aleación

5 Campo técnico

La presente divulgación se refiere a sistemas, aparatos y procesos para formar lingotes de aleación. La presente divulgación se refiere también a sistemas, aparatos y métodos para procesar lingotes de aleación. La presente divulgación se refiere igualmente a lingotes de aleación y otros artículos formados y procesados tal como se describe en el presente documento.

Antecedentes

Se pueden preparar productos de aleaciones metálicas, por ejemplo, usando operaciones de metalurgia de lingotes. Las operaciones de metalurgia de lingotes implican la fusión de la materia prima del lingote y el colado del material fundido para formar un lingote. Un ejemplo no limitante de operación de metalurgia de lingotes es una técnica "de triple fusión", que incluye tres operaciones de fusión: (1) fusión por inducción en vacío (VIM) para preparar una composición de aleación deseada a partir de la materia prima; (2) afino por electroescoria (ESR), que puede reducir los niveles, por ejemplo, de inclusiones que contienen oxígeno; y (3) refusión por arco en vacío (VAR), que puede reducir los niveles de componentes volátiles de la aleación y la segregación de la composición que se puede producir durante la solidificación tras el ESR.

Los lingotes de aleación formados a partir de operaciones de metalurgia de lingotes se pueden trabajar en caliente para producir otros productos de aleación. Por ejemplo, tras la solidificación para formar un lingote de aleación, el lingote puede ser sometido a forjado y/o extrusión para formar un tocho u otro artículo de aleación a partir del lingote.

La solicitud de patente US 2006/07564 divulga un método de fabricación de un componente grande tal como una turbina de gas o un disco compresor a partir de materiales propensos a la segregación tal como la Aleación 706 o la Aleación 718. Se forma un núcleo de lingote interno sólido a un primer diámetro (D1), por ejemplo usando un proceso de triple fusión que incluye fusión por inducción en vacío (VIM), afino por electroescoria (ESR), y fusión por inducción en vacío (VAR). Después se añade material a la superficie externa del núcleo del lingote para aumentar su tamaño hasta una dimensión (D2) requerida para la operación de forjado. Se puede usar un proceso de pulvimetalurgia o deposición por atomización para aplicar el material añadido.

La patente japonesa 2003 239025 divulga un método para prevenir defectos superficiales de un lingote de un metal de alto punto de fusión, aplicando un material de recubrimiento con un espesor de 0,1 a 1 mm sobre una superficie interna de un molde de cobre enfriado con agua que se usa en un proceso de fusión por arco en vacío de tipo electrodo consumible.

Sumario

La invención proporciona un proceso para formar un lingote de aleación de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

Las realizaciones divulgadas en el presente documento se dirigen a un proceso para formar un lingote de aleación. El proceso comprende colocar un revestimiento de aleación en un crisol para su uso en un aparato de refusión por arco en vacío. Se somete a refusión un electrodo de aleación en el aparato de refusión por arco en vacío. El electrodo de aleación se somete a refusión por arco en vacío dentro del revestimiento de aleación del crisol. De este modo, se forma un lingote de aleación que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno.

Otras realizaciones se dirigen a un método para procesar un lingote de aleación. El método comprende aplicar fuerza a un lingote de aleación para deformar el lingote de aleación. El lingote de aleación comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. La capa externa comprende una aleación que es más dúctil que la aleación que comprende el núcleo de lingote interno. La capa externa reduce la incidencia de agrietamiento superficial del lingote de aleación durante la aplicación de fuerza al lingote de aleación.

Se entiende que la invención divulgada y descrita en el presente documento no se limita a las realizaciones descritas en este sumario.

Breve descripción de las figuras

Varias características de las realizaciones no limitantes divulgadas y descritas en el presente documento se pueden comprender mejor con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra un aparato de refusión por arco en vacío (VAR);

La figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra un aparato de VAR que tiene un revestimiento de aleación colocado en el crisol del aparato;

5 La figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra un aparato de refusión por arco en vacío de doble electrodo que tiene un revestimiento de aleación colocado en el crisol del aparato;

10 Las figuras 4A y 4B son diagramas esquemáticos de un lingote de aleación cilíndrico que tiene una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno; la figura 4A es una vista frontal del lingote; la figura 4B es una vista en perspectiva del lingote que muestra la capa externa parcialmente eliminada para revelar la superficie subyacente del núcleo de lingote interno;

15 La figura 5A es un diagrama esquemático que ilustra una operación de forjado por estirado realizada en un lingote de aleación; la figura 5B es un diagrama esquemático de la sección transversal del lingote ilustrado en la figura 5A después del forjado; la figura 5C es un diagrama esquemático que ilustra una operación de forjado por estirado realizada sobre un lingote de aleación que tiene una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno; la figura 5D es un diagrama esquemático de la sección transversal del lingote ilustrado en la figura 5C después del forjado;

20 La figura 6A es un diagrama esquemático que ilustra una operación de forjado por recalado realizada en un lingote de aleación; la figura 6B es un diagrama esquemático de la sección transversal del lingote ilustrado en la figura 6A después del forjado; la figura 6C es un diagrama esquemático que ilustra una operación de forjado por recalado realizada sobre un lingote de aleación que tiene una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno; la figura 6D es un diagrama esquemático de la sección transversal del lingote ilustrado en la figura 6C después del forjado;

25 La figura 7 es una fotografía de una sección transversal macrograbada de un lingote que tiene una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno que muestra la macroestructura interna del lingote;

30 La figura 8A es una micrografía óptica de la capa externa del lingote mostrado en la figura 7; la figura 8B es una micrografía óptica del núcleo de lingote interno del lingote mostrado en la figura 7 tomada justo dentro de la interfase entre la capa externa y el núcleo de lingote interno; la figura 8C es una micrografía óptica del núcleo de lingote interno del lingote mostrado en la figura 7 tomada en una posición a mitad del radio dentro del lingote; la figura 8D es una micrografía óptica de la interfase entre la capa externa y el núcleo de lingote interno del lingote mostrado en la figura 7; y

35 La figura 9D es una micrografía SEM de la interfase entre la capa externa y el núcleo de lingote interno del lingote mostrado en las figuras 7 y 8A-8D.

40 El lector apreciará los detalles anteriores, así como otros, al considerar la siguiente descripción detallada de varias realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación. El lector puede comprender también los detalles adicionales al implementar o usar las realizaciones descritas en el presente documento.

45 **Descripción detallada de realizaciones no limitantes**

Debe entenderse que varias descripciones de las realizaciones descritas se han simplificado a fin de ilustrar solamente aquellos rasgos, aspectos, características, y similares que son relevantes para una clara comprensión de las realizaciones divulgadas, mientras que se han eliminado, con fines de claridad, otros rasgos, aspectos, características, y similares. Los expertos habituales en la materia, al considerar la presente descripción de las realizaciones divulgadas, reconocerán que pueden ser deseables otros rasgos, aspectos, características, y similares en una implementación o aplicación particular de las realizaciones divulgadas. Sin embargo, debido a que tales otros rasgos, aspectos, características, y similares pueden ser fácilmente determinados e implementados por los expertos habituales en la materia al considerar la presente descripción de las realizaciones divulgadas, y no son, por tanto, necesarios para una comprensión completa de las realizaciones divulgadas, no se proporciona en el presente documento una descripción de tales rasgos, aspectos, características, y similares. Como tal, debe entenderse que la descripción que se expone en el presente documento es meramente a modo de ejemplo e ilustrativa de las realizaciones divulgadas y no pretende limitar el alcance de la invención definido únicamente por las reivindicaciones.

60 En la presente descripción, aparte de donde se indique de otro modo, todos los números que expresan cantidades o características se ha de entender que están precedidos y modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". En consecuencia, a menos que se indique lo contrario, cualquier parámetro numérico que se expone en la siguiente descripción puede variar dependiendo de las propiedades deseadas que se desean obtener en las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación. Como mínimo, y no como un intento de limitar la aplicación de la doctrina de los equivalentes al alcance de las reivindicaciones, cada parámetro numérico descrito en

la presente descripción se debe interpretar al menos a la luz del número de dígitos significativos citados y mediante la aplicación de técnicas de redondeo ordinarias.

5 Además, cualquier intervalo numérico enumerado en el presente documento pretende incluir todos los subintervalos incluidos en el mismo. Por ejemplo, un intervalo de "1 a 10" se pretende que incluya todos los subintervalos entre el valor mínimo enumerado de 1 y el valor máximo enumerado de 10 incluyendo a los mismos, es decir, que tenga un valor mínimo igual o superior a 1 y un valor máximo igual o inferior a 10. Cualquier limitación numérica máxima enumerada en el presente documento pretende incluir todas las limitaciones numéricas inferiores incluidas en la misma y cualquier limitación numérica mínima enumerada en el presente documento pretende incluir todas las limitaciones numéricas superiores incluidas en la misma. En consecuencia, los solicitantes se reservan el derecho de modificar la presente divulgación, incluyendo las reivindicaciones, a fin de enumerar expresamente cualquier subintervalo incluido dentro de los intervalos que se enumeran expresamente en el presente documento.

15 Los artículos gramaticales "uno", "una", "un", y "el", "la", tal como se usan en el presente documento, pretenden incluir "al menos uno/una/un" o "uno/una o más", a menos que se indique de otra forma. Así, los artículos se usan en el presente documento para referirse a uno o más de uno (es decir, a al menos uno) de los objetos gramaticales del artículo. A modo de ejemplo, "un componente" significa uno o más componentes, y así, posiblemente, se contempla más de un componente y se puede emplear o usar en una implementación de las realizaciones descritas.

20 La presente divulgación incluye descripciones de varias realizaciones no limitantes. Se entenderá que todas las realizaciones descritas en el presente documento son a modo de ejemplo, ilustrativas, y no limitantes. De esta forma, la invención no está limitada por la descripción de varias realizaciones a modo de ejemplo, ilustrativas, y no limitantes. En su lugar, la invención es definida únicamente por las reivindicaciones, las cuales se pueden modificar para enumerar cualquier característica expresa o intrínsecamente descrita en la presente divulgación o si no, expresamente o intrínsecamente soportada por la misma.

25 Las distintas realizaciones no limitantes divulgadas y descritas en el presente documento pueden comprender, consistir en, o consistir esencialmente en los rasgos, aspectos, características, limitaciones, y similares, tal como se describe de forma diversa en el presente documento. Las distintas realizaciones no limitantes divulgadas y descritas en el presente documento pueden comprender también rasgos, aspectos, características, limitaciones, y similares adicionales u opcionales, que son conocidos en la técnica o que se pueden incluir de cualquier otra forma en las distintas realizaciones no limitantes como implementados en la práctica.

30 Varias aleaciones se pueden caracterizar como sensibles al agrietamiento. Las aleaciones sensibles al agrietamiento tienden a formar grietas durante las operaciones de trabajo. Los lingotes de aleación sensibles al agrietamiento, por ejemplo, pueden formar grietas durante las operaciones de trabajo en caliente usadas para producir artículos de aleación a partir de los lingotes de aleación sensibles al agrietamiento. Por ejemplo, se pueden formar tochos de aleación a partir de lingotes de aleación usando la conversión por forjado. Otros artículos de aleación se pueden formar a partir de tochos de aleación o lingotes de aleación usando extrusión u otras operaciones de trabajo. El rendimiento de producción de los artículos de aleación, (por ejemplo, tochos de aleación) formados a partir de lingotes de aleación sensibles al agrietamiento usando operaciones de trabajo en caliente puede ser bajo debido a la incidencia del agrietamiento superficial de los lingotes de aleación durante el trabajo en caliente (por ejemplo, durante el forjado o la extrusión). Los rendimientos de producción se pueden reducir por la necesidad de pulir o de eliminar de otro modo las grietas superficiales de un lingote trabajado.

45 Tal como se usa en el presente documento, el término "trabajo en caliente" se refiere a la aplicación de fuerza a una pieza de trabajo a una temperatura superior a la temperatura ambiente, en el que la fuerza aplicada deforma plásticamente la pieza de trabajo.

50 Durante las operaciones de trabajo en caliente, tales como, por ejemplo, forjado o extrusión, se forma un gradiente de temperatura natural debido al enfriamiento de la superficie del lingote de aleación por la pérdida de calor al aire ambiente. Además, la temperatura de un lingote de aleación que se somete a la operación de trabajo puede ser superior a la temperatura de las matrices usadas para aplicar fuerza mecánicamente a las superficies del lingote. La compensación del gradiente térmico resultante entre las superficies del lingote y las porciones interiores del lingote puede contribuir al agrietamiento superficial del lingote durante el trabajo en caliente, particularmente para los lingotes formados a partir de aleaciones sensibles al agrietamiento, tales como, por ejemplo, aleaciones y superaleaciones a base de níquel, a base de hierro, a base de níquel-hierro y a base de cobalto.

60 Un modo en el que se reduce la formación de grietas en las superficies de los lingotes de aleación durante el trabajo en caliente es colocar los lingotes de aleación en una camisa de aleación antes del trabajo en caliente. Con lingotes cilíndricos, por ejemplo, el diámetro interior de la camisa de aleación es ligeramente mayor que el diámetro exterior del lingote de aleación, permitiendo así la inserción del lingote en la camisa. La camisa rodea libremente el lingote, y proporciona retención térmica usando espacios de aire y un recinto de radiación. Durante las operaciones de trabajo, las matrices están en contacto con la camisa externa, la cual encierra, al menos parcialmente, el lingote interno. De este modo, la camisa puede aislar térmicamente y proteger mecánicamente la superficie del lingote encerrado, al menos parcialmente, lo que puede reducir la incidencia de agrietamiento superficial del lingote durante el trabajo.

Una operación de encamisado del lingote puede resultar en varias desventajas. El contacto mecánico entre las superficies externas de la camisa y las matrices de trabajo puede romper la camisa. Por ejemplo, durante el forjado por recalado y estirado de un lingote encamisado, la camisa puede romperse durante una operación de estirado. En tal caso, puede ser necesario encamisar de nuevo el lingote entre cada ciclo de recalado y estirado de una operación múltiple de forjado por recalado y estirado, lo que aumenta la complejidad y los costes del proceso. Además, la camisa dificulta al operador el control visual de la superficie de un lingote encamisado para determinar grietas y otros defectos inducidos por el trabajo durante una operación de trabajo.

Las realizaciones divulgadas en el presente documento se dirigen a procesos para formar un lingote de aleación y a métodos para procesar un lingote de aleación. En varias realizaciones no limitantes, un proceso para formar un lingote de aleación puede comprender colocar un revestimiento de aleación en un crisol para su uso en un aparato de refusión por arco en vacío (VAR). Un electrodo de aleación se puede someter a refusión por arco en vacío en el aparato de refusión por arco en vacío. El electrodo de aleación se puede someter a refusión por arco en vacío dentro del revestimiento de aleación en el crisol. De este modo, se puede formar un lingote de aleación que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. La capa externa comprende la aleación que comprende inicialmente el revestimiento (la aleación de revestimiento). El núcleo de lingote interno comprende la aleación que comprende inicialmente el electrodo VAR (la aleación del electrodo).

La refusión por arco en vacío es una operación metalúrgica de lingote que se usa para mejorar la limpieza y refinar la estructura de los lingotes de aleación. En una operación de VAR, el lingote de aleación que se ha de someter a refusión se puede denominar un electrodo de aleación. Un electrodo de aleación que se ha de someter a refusión en una operación de VAR puede formarse, por ejemplo, usando fusión con aire (por ejemplo, en un horno de arco eléctrico (EAF)), fusión al vacío (por ejemplo, fusión por inducción en vacío (VIM)), afino por electroescoria (ESR), procesos de fusión en crisol, procesos de atomización, y/u otras operaciones de colado de masa fundida o formación de lingotes. La operación de VAR puede incluir la refusión continua de un electrodo de aleación consumible por un arco eléctrico en vacío. Una alimentación de energía de corriente directa (DC) se puede conectar eléctricamente al electrodo de aleación y a una placa base de un crisol en un aparato de VAR. La alimentación de energía de DC genera un arco eléctrico entre un extremo libre del electrodo de aleación y la placa base del crisol. El calor generado por la energía descargada a través del arco eléctrico funde el extremo libre del electrodo. La operación de VAR se describe de modo general, por ejemplo, en Donachie et al., *Superalloys: A Technical Guide, ASM International, 2002*.

La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una realización no limitante de un aparato de VAR 10. El aparato de VAR 10 incluye un crisol 12 que tiene una placa base 14. El crisol 12 se enfría con agua mediante una camisa de agua 16. La camisa de agua 16 incluye una entrada de agua y una salida de agua permitiendo que el flujo de agua pase por las superficies externas del crisol 12. El flujo de agua pasa por el crisol 12 y extrae calor del crisol 12, lo que, a su vez, extrae el calor del baño de aleación fundida 42 dentro del crisol 12, facilitando así la solidificación del baño de aleación fundida 42 en un lingote sometido a refusión por arco en vacío 40. El lingote sometido a refusión por arco en vacío 40 es moldeado por las superficies internas del crisol 12. El flujo de agua que pasa por el crisol 12 extrae además el calor del lingote 40. El crisol 12 se acopla a un cabezal de VAR 20 para formar una cámara de horno sellada 22. El cabezal de VAR 20 incluye un puerto de vacío 24, que permite que se produzca un vacío dentro de la cámara del horno 22.

Un extremo de un electrodo de aleación 30 se conecta a un pistón 32 que se extiende en la cámara del horno 22 del aparato de VAR 10. El pistón 32 acciona el extremo libre del electrodo 30 en el volumen abierto del crisol 12. El pistón 32 coloca verticalmente el electrodo de aleación 30 en el crisol 12 a medida que el electrodo de aleación 30 se funde, y la aleación fundida 36 cae a través del espacio del arco del electrodo 46 en el baño de aleación fundida 42 sobre la superficie superior del lingote 40. De este modo, el pistón 32 puede avanzar hacia la placa base 14 para mover el electrodo de aleación 30 y mantener un espacio relativamente constante del arco del electrodo 46 dentro de las tolerancias de operación. El pistón 32 se coloca de forma desplazable a través de una abertura sellada 38 en el cabezal de VAR 20 de manera que pueda mantenerse un vacío en la cámara del horno 22 durante una operación de VAR.

El electrodo de aleación 30 se funde debido al calor generado por la energía descargada a través de un arco eléctrico que se forma inicialmente entre el extremo libre del electrodo 30 y la placa base 14 del crisol. El electrodo 30 y la placa base 14 están conectados eléctricamente a una alimentación de energía 26. El arco eléctrico se forma inicialmente entre el extremo libre del electrodo 30 y la placa base 14 a través de un espacio del arco del electrodo 46. La acción de colocar verticalmente el pistón 32 mantiene el espacio del arco del electrodo 46 y el arco eléctrico formado entre el extremo libre del electrodo 30 y el lingote solidificado 40 después de que la aleación fundida cubra la placa base 14 y comience a rellenar el volumen abierto dentro del crisol 12.

La figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra una realización no limitante de un aparato de VAR 50. El aparato de VAR 50 incluye un crisol 52 que tiene una placa base 54. Un revestimiento de aleación 90 se coloca en el crisol 52. Aunque la figura 2 muestra el revestimiento de aleación 90 abierto en los dos extremos opuestos, en varias realizaciones alternativas el revestimiento de aleación puede estar parcial o completamente cerrado en el extremo colocado adyacente a la placa base de un aparato de VAR. El crisol 52 se enfría con agua mediante la camisa de

agua 56. La camisa de agua 56 incluye una entrada de agua y una salida de agua permitiendo que el flujo de agua pase por las superficies externas del crisol 52. El flujo de agua pasa por el crisol 52 y extrae calor del crisol 52, lo que, a su vez, extrae calor del revestimiento de aleación 90 y el baño de aleación fundida 82 dentro del revestimiento de aleación 90, facilitando así la solidificación del baño de aleación fundida 82 en un núcleo de lingote interno 80 sometido a refusión por arco en vacío. De este modo, se forma un lingote de aleación que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. La capa externa comprende material que comprende inicialmente el revestimiento de aleación 90, y el núcleo de lingote interno comprende material que comprende inicialmente un electrodo de aleación 70. El crisol 52 se acopla a un cabezal de VAR 60 para formar una cámara de horno sellada 62. El cabezal de VAR 60 incluye un puerto de vacío 64, que permite que se produzca un vacío dentro de la cámara del horno 62.

Un extremo del electrodo de aleación 70 está conectado a un pistón 72 en el aparato de VAR 50. El pistón 72 acciona el extremo libre del electrodo 70 en el volumen abierto del revestimiento de aleación 90. El pistón 72 coloca verticalmente el electrodo de aleación 70 en el revestimiento de aleación 90 a medida que el electrodo de aleación 70 se funde y la aleación fundida 76 gotea a través del espacio del arco del electrodo 86 en el baño de aleación fundida 82. De este modo, el pistón 72 se puede controlar a fin de mantener un espacio relativamente constante del arco del electrodo 86 dentro de las tolerancias de operación. El pistón 72 se coloca de forma desplazable a través de una abertura sellada 78 en el cabezal de VAR 60 de manera que pueda mantenerse un vacío en la cámara del horno 62 durante una operación de VAR.

El electrodo de aleación 70 se funde debido al calor generado por la energía descargada a través de un arco eléctrico que se forma inicialmente entre el extremo libre del electrodo 70 y la placa base 54 del crisol. El electrodo 70 y la placa base 54 están conectados eléctricamente a una alimentación de energía 66. El arco eléctrico se forma inicialmente entre el extremo libre del electrodo 70 y la placa base 54 a través de un espacio del arco del electrodo. La acción de colocar verticalmente el pistón 72 mantiene el espacio del arco del electrodo 86 y el arco eléctrico formado entre el extremo libre del electrodo 70 y el lingote solidificado 80 después de que la aleación fundida cubra la placa base del crisol 54 y comience a rellenar el volumen dentro del revestimiento de aleación 90. De este modo, el electrodo de aleación 70 se puede someter a refusión por arco en vacío dentro del revestimiento de aleación 90, el cual está colocado en el crisol 52 en el aparato de refusión por arco en vacío 50.

Tal como se usa en el presente documento, la expresión "refusión por arco en vacío" y el término "VAR" incluyen variaciones de VAR tales como, por ejemplo, la refusión de arco en vacío de doble electrodo (VADER). La figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra una realización no limitante de un aparato de VAR 150 que comprende un aparato de VADER. El aparato de VAR 150 incluye un crisol 152 que tiene una placa base 154. Un revestimiento de aleación 190 se coloca en el crisol 152. Aunque la figura 3 muestra el revestimiento de aleación 190 abierto en los dos extremos opuestos, en varias realizaciones alternativas, el revestimiento de aleación puede estar parcial o completamente cerrado en el extremo colocado adyacente a la placa base de un aparato de VAR. El crisol 152 se enfría con agua mediante una camisa de agua 156. La camisa de agua 156 incluye una entrada de agua y una salida de agua permitiendo que el flujo de agua pase por las superficies externas del crisol 152. El flujo de agua pasa por el crisol 152 y extrae calor del crisol 152, lo que, a su vez, extrae el calor del revestimiento de aleación 190 y del baño de aleación fundida 182 dentro del revestimiento de aleación 190, facilitando así la solidificación del baño de aleación fundida 182 en un núcleo de lingote interno 180 sometido a refusión por arco en vacío de doble electrodo. De este modo, se forma un lingote de aleación que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. La capa externa comprende material que comprende inicialmente el revestimiento de aleación 190 y el núcleo de lingote interno comprende material que comprende inicialmente dos electrodos de aleación 170. El crisol 152 se acopla a un cabezal de VAR 160 para formar una cámara de horno sellada 162. El cabezal de VAR 160 incluye un puerto de vacío 164, que permite que se produzca un vacío dentro de la cámara del horno 162.

Un extremo de cada electrodo de aleación 170 está conectado a un pistón 172 en el aparato de VAR 150. Los pistones 172 accionan los extremos libres de los electrodos 170 uno hacia el otro, manteniendo un espacio del arco del electrodo 186. Los pistones 172 colocan horizontalmente los electrodos de aleación 170 uno con respecto al otro a medida que los electrodos de aleación 170 se funden y la aleación fundida 176 gotea en el baño de aleación fundida 182. De este modo, los pistones 172 se pueden controlar a fin de mantener un espacio relativamente constante del arco del electrodo 186 dentro de las tolerancias de operación.

Los electrodos de aleación 170 se funden debido al calor generado por la energía descargada a través de un arco eléctrico formado entre los extremos libres de cada electrodo 170. Los electrodos 170 están conectados eléctricamente a una alimentación de energía (no mostrada). El arco se forma entre los extremos libres de los electrodos 170 a través del espacio del arco del electrodo 186. La acción de colocar horizontalmente los pistones 172 mantiene el espacio del arco del electrodo 186 y el arco eléctrico formado entre los extremos libres de los electrodos 170. De este modo, los electrodos de aleación 170 se pueden someter a refusión por arco en vacío dentro del revestimiento de aleación 190, el cual está colocado en el crisol 152 en el aparato de refusión por arco en vacío 150.

En varias realizaciones no limitantes, un proceso para formar un lingote de aleación puede comprender un proceso

de refusión por arco en vacío. El proceso de refusión por arco en vacío puede comprender colocar un revestimiento de aleación en un crisol en un aparato de refusión por arco en vacío. Al menos un electrodo de aleación se puede someter a refusión por arco en vacío dentro del revestimiento de aleación colocado en el crisol en el aparato de refusión por arco en vacío. Puesto que la aleación del electrodo fundida gotea fundida a partir de un electrodo de aleación en el baño fundido colocado dentro del revestimiento de aleación, el calor puede fundir parcialmente el revestimiento de aleación en regiones adyacentes al baño fundido. Como la aleación del electrodo fundida y la aleación del revestimiento al menos parcialmente fundida solidifican dentro del crisol, el revestimiento de aleación y la aleación del electrodo solidificada se funden y se unen metalúrgicamente, formando así un lingote de aleación que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. La capa externa del lingote comprende la aleación del revestimiento. El núcleo de lingote interno del lingote comprende la aleación del electrodo.

Las Figuras 4A y 4B son diagramas esquemáticos de un lingote de aleación 200 formado de acuerdo con varias realizaciones no limitantes descritas en el presente documento. El lingote de aleación 200 comprende una capa externa 202 metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno 203. La interfase 205 entre la capa externa 202 y el núcleo de lingote interno 203 comprende una unión metalúrgica formada entre la aleación del revestimiento que comprende la capa externa 202 y la aleación del electrodo que comprende el núcleo de lingote interno 203.

En varias realizaciones no limitantes, la unión metalúrgica puede comprender una fusión intermetálica o coalescencia de la aleación del revestimiento que comprende la capa externa 202 y la aleación del electrodo que comprende el núcleo de lingote interno 203. Por ejemplo, cuando un electrodo de aleación se somete a refusión en un revestimiento de aleación, la aleación del electrodo fundida se puede fusionar con la superficie interna del revestimiento de aleación, formando así una interfase metalúrgicamente unida entre una capa externa (que comprende la aleación del revestimiento) y un núcleo de lingote interno (que comprende la aleación del electrodo). La energía calorífica que lleva la aleación del electrodo fundida puede fundir, al menos parcialmente, la superficie interna del revestimiento de aleación, la cual puede coalescer parcialmente con la aleación del electrodo fundida, formando así una interfase metalúrgicamente unida entre la capa externa y el núcleo de lingote interno tras la solidificación.

En varias realizaciones no limitantes, la unión metalúrgica puede comprender una región de gradiente de aleación en la cual la composición del lingote pasa a lo largo de un gradiente desde la composición de la aleación del electrodo a la composición de la aleación del revestimiento. El gradiente de aleación puede formarse debido al mezclado de la aleación del electrodo y la aleación del revestimiento en la región de gradiente de aleación. Cuando el electrodo de aleación se funde en el revestimiento de aleación, la aleación del electrodo fundida puede mezclarse, al menos parcialmente, con al menos una porción de la aleación del revestimiento fundida, la cual puede fundirse al menos parcialmente debido a la energía calorífica de la aleación del electrodo que gotea fundida en el baño fundido dentro del revestimiento de aleación. De este modo, se puede formar un lingote que comprende una capa externa formada a partir de la aleación del revestimiento, un núcleo de lingote interno formado a partir de la aleación del electrodo, y una región de gradiente de aleación formada a partir de una mezcla de la aleación del electrodo y la aleación del revestimiento, caracterizado por que la mezcla pasa desde la aleación del electrodo a la aleación del revestimiento dentro de la región de gradiente de aleación.

En varias realizaciones, la capa externa (que comprende la aleación del revestimiento) y el núcleo de lingote interno (que comprende la aleación del electrodo) no están metalúrgicamente unidos entre sí. Por ejemplo, si la temperatura del punto de fusión de la aleación del revestimiento es mucho mayor que la temperatura del punto de fusión de la aleación del electrodo, entonces la aleación del electrodo fundida solidificará dentro del revestimiento de aleación sin que el revestimiento de aleación se funda o, de otra forma, se fusione al núcleo de lingote interno solidificado. De este modo, el revestimiento de aleación funciona como un molde en el cual la aleación del electrodo solidifica en un núcleo de lingote interno físicamente asociado, aunque no metalúrgicamente unido, a una capa externa.

El grado de coalescencia o mezclado de la aleación del revestimiento y la aleación del electrodo y, a su vez, el volumen de la región de interfase entre la capa externa y el núcleo de lingote interno en realizaciones metalúrgicamente unidas, se puede controlar, por ejemplo, mediante la selección de las aleaciones respectivas con temperaturas del punto de fusión especificadas. Por ejemplo, si la temperatura del punto de fusión de la aleación del revestimiento es suficientemente mayor que la temperatura del punto de fusión de la aleación del electrodo, entonces la aleación del electrodo fundida se fusionará metalúrgicamente a la superficie interna del revestimiento de aleación, dando como resultado una región de interfase relativamente pequeña.

Sin embargo, si la temperatura del punto de fusión de la aleación del revestimiento es mucho menor que la temperatura del punto de fusión de la aleación del electrodo, entonces el revestimiento de aleación puede fundirse completamente y mezclarse con la aleación del electrodo fundida. Esto puede ser indeseable debido a que podría cambiar significativamente la composición química del núcleo de lingote interno del lingote resultante, lo que puede dar como resultado que la aleación del electrodo esté fuera de la especificación. En varias realizaciones no limitantes, se selecciona una aleación del revestimiento para una aleación del electrodo determinada que resulte en una unión metalúrgica fuerte entre la capa externa y el núcleo de lingote interno, pero que además no se funda excesivamente cuando está en contacto con la aleación del electrodo fundida. De este modo, la aleación que

comprende el núcleo de lingote interno puede permanecer dentro de la especificación.

En varias realizaciones no limitantes, la aleación del electrodo (la cual comprende posteriormente el núcleo de lingote interno) puede comprender una aleación sensible al agrietamiento. Por ejemplo, varias aleaciones y superaleaciones a base de níquel, a base de hierro, a base de níquel-hierro, y a base de cobalto pueden ser sensibles al agrietamiento, especialmente durante las operaciones de trabajo en caliente. Un electrodo de aleación se puede formar a partir de tales aleaciones y superaleaciones sensibles al agrietamiento. Un electrodo de aleación sensible al agrietamiento se puede formar a partir de una aleación o superaleación que incluye, si bien no se limita a las mismas, Aleación 718, Aleación 720, aleación Rene 41®, aleación Rene 88®, aleación Waspaloy®, y aleación Inconel® 100. Las realizaciones descritas en el presente documento se aplican generalmente a cualquier aleación caracterizada por una ductilidad relativamente baja a temperaturas de trabajo en caliente. Tal como se usa en el presente documento, el término "aleación" incluye aleaciones y superaleaciones convencionales, exhibiendo las superaleaciones una estabilidad superficial y una resistencia a la corrosión y a la oxidación relativamente buenas, una alta resistencia mecánica, y una alta resistencia a la termofluencia a temperaturas elevadas.

La aleación del revestimiento (que comprende posteriormente la capa externa) puede ser una aleación que es más dúctil y/o maleable que la aleación del electrodo (y, posteriormente, el núcleo de lingote interno subyacente) a las temperaturas de trabajo particulares que se van a usar. La aleación del revestimiento puede ser una aleación que exhibe una tenacidad mayor y/o una dureza menor que la aleación que comprende el electrodo de aleación (y el núcleo de lingote interno subyacente) a las temperaturas de trabajo particulares que se van a usar cuando el lingote formado se trabaja en caliente. En varias realizaciones no limitantes, la capa externa aísla el núcleo de lingote interno subyacente de la exposición al aire ambiente y/o del contacto con las superficies de las matrices de trabajo en caliente, y evita así el enfriamiento del núcleo de lingote interno subyacente a una temperatura a la cual la aleación del electrodo que comprende el núcleo de lingote interno se hace frágil y se agrieta más fácilmente durante el trabajo en caliente.

La aleación del revestimiento (y la capa externa) puede comprender una aleación que es resistente a la oxidación. En varias realizaciones no limitantes, la capa externa no se oxida en una extensión apreciable durante el trabajo en caliente o de algún otro modo. La capa externa puede comprender una aleación que exhibe una rigidez relativamente alta (por ejemplo, un módulo elástico relativamente bajo). En varias realizaciones no limitantes, la capa externa no disminuye sustancialmente su espesor durante el trabajo en caliente (por ejemplo, en el que la aplicación de fuerza por una o más matrices podría causar que la aleación de rigidez relativamente baja disminuyera su espesor sobre el núcleo de lingote interno subyacente).

En varias realizaciones no limitantes, la aleación que comprende el revestimiento de aleación (y la capa externa) y la aleación que comprende el electrodo de aleación (y el núcleo de lingote interno subyacente) pueden comprender el mismo metal de base. Por ejemplo, si el electrodo de aleación (y el núcleo de lingote interno) comprende una aleación o superaleación a base de níquel (por ejemplo, Aleación 718, Aleación 720, aleación Rene 88®, o aleación Waspaloy®), entonces el revestimiento de aleación (y la capa externa) puede comprender también una aleación a base de níquel, tal como, por ejemplo, Aleación 625.

En varias realizaciones no limitantes, la aleación que comprende el revestimiento de aleación (y la capa externa) y la aleación que comprende el electrodo de aleación (y el núcleo de lingote interno subyacente) pueden comprender un metal de base diferente. Por ejemplo, si el electrodo de aleación (y el núcleo de lingote interno) comprende una aleación o superaleación a base de níquel (por ejemplo, Aleación 718, Aleación 720, aleación Rene 88®, o aleación Waspaloy®), entonces el revestimiento de aleación (y la capa externa) puede comprender una aleación a base de hierro, tal como, por ejemplo, acero inoxidable Tipo 304.

El espesor de la pared del revestimiento de aleación se puede seleccionar de modo que la capa externa se pueda formar con un espesor suficiente para proteger el núcleo de lingote interno subyacente de las superficies de las matrices de contacto, y evitar así el enfriamiento del núcleo de lingote interno subyacente a una temperatura a la cual una superficie subyacente pueda agrietarse más fácilmente durante el trabajo en caliente. De este modo, las temperaturas de trabajo en caliente superiores se pueden correlacionar generalmente con un espesor mayor de la capa externa. En varias realizaciones no limitantes, el revestimiento de aleación puede tener un espesor de pared de 0,635 cm a 1,27 cm (0,25 pulgadas a 0,5 pulgadas).

Un electrodo de aleación se puede formar usando una operación metalúrgica de lingote o una operación de pulvimetalurgia. Por ejemplo, en varias realizaciones no limitantes, un electrodo de aleación se puede formar mediante VIM. En varias realizaciones no limitantes, un electrodo de aleación se puede formar mediante VIM-ESR. De este modo, un proceso de triple fusión de acuerdo con varias realizaciones no limitantes puede comprender VIM-ESR-VAR, caracterizado por que la operación de VAR comprende fundir un electrodo de aleación (o dos electrodos en una operación de VADER) en un revestimiento de aleación colocado en el crisol de un aparato de VAR. En varias realizaciones no limitantes, una operación de pulvimetalurgia puede implicar la atomización de la aleación fundida y la recogida y consolidación de los polvos metalúrgicos solidificados en un electrodo. Un ejemplo no limitante de una operación de pulvimetalurgia incluye las etapas de: 1) VIM para preparar una composición de aleación deseada a partir de una materia prima; 2) atomización de la aleación fundida en gotas de aleación fundida que solidifican en un

polvo de aleación; (3) opcionalmente, tamizado del polvo de aleación para reducir inclusiones; (4) encamisado y desgasificado de una cantidad del polvo de aleación; y (5) prensado del polvo de aleación para consolidar el polvo de aleación en un electrodo de aleación.

5 En varias realizaciones no limitantes, una capa terminal se puede depositar sobre al menos un extremo de un lingote de aleación que tiene una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. Por ejemplo, después de que el electrodo de aleación cilíndrico se someta a refusión en un revestimiento de aleación tubular para formar un lingote de aleación cilíndrico que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno, el núcleo de lingote interno puede permanecer expuesto por uno o ambos extremos opuestos del lingote cilíndrico. Una capa de un material de aleación se puede depositar sobre al menos una porción del núcleo de lingote interno expuesto por uno o ambos extremos opuestos del lingote. De este modo, el núcleo de lingote interno de un lingote cilíndrico puede estar encerrado dentro de una capa externa circunferencial y una o dos capas terminales en uno o ambos extremos del lingote cilíndrico.

15 En varias realizaciones no limitantes, una capa terminal de aleación puede depositarse y unirse metalúrgicamente a uno o ambos extremos opuestos de un lingote de aleación. Por ejemplo, una capa terminal de aleación se puede depositar como un depósito de soldadura sobre una superficie terminal de un lingote. Un depósito de soldadura puede unirse metalúrgicamente a al menos una región de una superficie terminal de una aleación usando operaciones de soldadura que incluyen, aunque no se limitan a las mismas, soldadura de metal con gas inerte (MIG), soldadura de tungsteno con gas inerte (TIG), soldadura por plasma, soldadura por arco sumergido, y soldadura por haz de electrones.

25 Una capa terminal de aleación puede comprender un material de aleación que es más dúctil y/o maleable que la aleación del núcleo de lingote interno subyacente a las temperaturas de trabajo particulares que se van a usar. Una capa terminal de aleación puede comprender un material de aleación que exhibe una tenacidad mayor y/o una dureza menor que la aleación del núcleo de lingote interno subyacente a las temperaturas de trabajo particulares que se van a usar. En varias realizaciones no limitantes, una capa terminal de aleación aísla la superficie subyacente del núcleo de lingote interno de las superficies de las matrices de contacto, y evita así el enfriamiento de la superficie subyacente a una temperatura a la cual la superficie es frágil y puede agrietarse más fácilmente durante el trabajo en caliente.

35 La capa terminal de aleación puede comprender un material de aleación que es resistente a la oxidación. En varias realizaciones no limitantes, la capa terminal de aleación no se oxida durante el trabajo en caliente o de algún otro modo. La capa terminal de aleación puede comprender una aleación que muestra una rigidez relativamente alta (por ejemplo, un módulo elástico relativamente bajo). En varias realizaciones no limitantes, la capa terminal de aleación no disminuye sustancialmente su espesor durante el trabajo en caliente (por ejemplo, en el que la aplicación de fuerza por una o más matrices podría causar que el material metálico de rigidez relativamente baja disminuyera su espesor sobre la superficie subyacente del lingote).

40 En varias realizaciones no limitantes, el material de aleación que forma una capa terminal y la aleación que forma el núcleo de lingote interno subyacente pueden comprender el mismo material de base. Por ejemplo, si el núcleo de lingote interno comprende una aleación o superaleación a base de níquel (por ejemplo, Aleación 718, Aleación 720, aleación Rene 88®, o aleación Waspaloy®), entonces el material de aleación y la capa terminal pueden comprender también una aleación a base de níquel, tal como, por ejemplo, una aleación de soldadura a base de níquel (por ejemplo, la aleación Techalloy 606®, disponible en Techalloy Company/Central Wire). La capa terminal de aleación puede depositarse a un espesor suficiente para aislar la superficie subyacente del núcleo de lingote interno de las superficies de las matrices de contacto, evitando así el enfriamiento de la superficie subyacente a una temperatura a la cual la superficie subyacente puede agrietarse más fácilmente durante el trabajo en caliente. De este modo, las temperaturas de trabajo en caliente superiores se pueden correlacionar generalmente con un espesor mayor del material metálico. En varias realizaciones no limitantes, la capa de material metálico puede depositarse a un espesor de 0,635 cm a 1,27 cm (0,25 pulgadas a 0,5 pulgadas) sobre al menos una región de una superficie de un lingote de aleación.

55 En varias realizaciones no limitantes, el material de aleación que forma una capa terminal metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno y el material de aleación que forma una capa externa circunferencial metalúrgicamente unida al núcleo de lingote interno pueden comprender el mismo metal de base. En varias realizaciones no limitantes, el material de aleación que forma una capa terminal metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno y el material de aleación que forma una capa externa circunferencial metalúrgicamente unida al núcleo de lingote interno son la misma aleación. En varias realizaciones no limitantes, el material de aleación que forma una capa terminal metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno y el material de aleación que forma una capa externa circunferencial metalúrgicamente unida al núcleo de lingote interno son diferentes aleaciones. En varias realizaciones no limitantes, el material de aleación que forma una capa terminal metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno y el material de aleación que forma una capa externa circunferencial metalúrgicamente unida al núcleo de lingote interno comprenden diferentes metales de base.

65 Después de la formación de un lingote que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de

lingote interno (y, opcionalmente, una o dos capas terminales metalúrgicamente unidas a los extremos opuestos del núcleo de lingote interno), el lingote de aleación se puede tratar térmicamente. Por ejemplo, en varias realizaciones no limitantes, un lingote de aleación se puede exponer a altas temperaturas para homogeneizar la composición de aleación y la microestructura del núcleo de lingote interno. Las altas temperaturas pueden estar por encima de la temperatura de recristalización de la aleación que comprende el núcleo de lingote interno, pero por debajo de la temperatura del punto de fusión de las aleaciones que comprenden la capa externa y el núcleo de lingote interno. En varias realizaciones, un lingote que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno (y, opcionalmente, una o dos capas terminales metalúrgicamente unidas a los extremos opuestos del núcleo de lingote interno), no mostrarán ninguna desunión de la capa externa (y/o la una o las dos capas terminales) del núcleo de lingote interno durante o después de la homogenización u otros tratamientos térmicos.

Varias realizaciones no limitantes divulgadas en el presente documento se dirigen también a los métodos para procesar los lingotes y los procesos de trabajo en caliente que se caracterizan por una reducción en la incidencia del agrietamiento superficial de un lingote de aleación durante una operación de trabajo en caliente. En varias realizaciones no limitantes, los métodos y procesos descritos pueden comprender formar un lingote de aleación que tiene una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. La capa externa puede comprender una aleación que es más dúctil que la aleación que comprende el núcleo de lingote interno. La capa externa puede reducir la incidencia de agrietamiento superficial del lingote de aleación durante la aplicación de fuerza al lingote de aleación. En varias realizaciones no limitantes, un lingote de aleación se puede trabajar en caliente mediante aplicación de una fuerza al lingote de aleación. La fuerza se puede aplicar a la capa externa del lingote de aleación. La fuerza aplicada puede deformar el lingote de aleación.

En varias realizaciones no limitantes, una operación de trabajo en caliente puede comprender una operación de forjado y/o una operación de extrusión. Por ejemplo, un lingote de aleación que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno puede ser forjado por recalado y/o forjado por estirado.

Una operación de forjado por recalado y estirado puede comprender una o más secuencias de una operación de forjado por recalado y una o más secuencias de forjado por estirado. Durante una operación de recalado, las superficies terminales de un lingote pueden estar en contacto con las matrices de forjado que aplican fuerza al lingote que comprime la longitud del lingote e incrementa la sección transversal del lingote. Durante una operación de estirado, las superficies laterales (por ejemplo, la superficie circunferencial de un lingote cilíndrico) puede estar en contacto con las matrices de forjado que aplican fuerza al lingote que comprime la sección transversal del lingote e incrementa la longitud del lingote.

Las figuras 5A y 5C ilustran una operación de forjado por estirado. Las matrices de forjado 280/280' aplican fuerza a un lingote 220/220'. La fuerza se aplica generalmente perpendicular al eje longitudinal 201/201' del lingote 220/220', tal como indican las flechas 285/285'. Las matrices de forjado 280/280' aplican fuerza al lingote 220/220' a lo largo generalmente de la longitud completa del lingote 220/220' al moverse por lo general en paralelo al eje longitudinal 201/201' del lingote 220/220', tal como indican las flechas 287/287'. La figura 5A muestra un lingote 220 sin una capa externa. La superficie circunferencial del lingote 220 está en contacto con las matrices de forjado 280 (figura 5A). La figura 6C muestra un lingote 220' que tiene una capa externa 222 metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno 223'. La capa externa 222 del lingote 220' está en contacto con las matrices de forjado 280 (figura 5C).

Las figuras 5B y 5D ilustran las superficies en contacto con la matriz de los lingotes 220 y 220' después del forjado por estirado tal como se ilustra en las figuras 5A y 5C, respectivamente. Tal como se muestra en la figura 5B, la superficie en contacto con la matriz 290 del lingote 220 muestra agrietamiento superficial. Tal como se muestra en la figura 5D, la superficie en contacto con la matriz 290' del lingote 220', que incluye la capa externa 222 metalúrgicamente unida al núcleo de lingote interno 223, no muestra agrietamiento superficial. La capa externa 222 reduce la incidencia del agrietamiento superficial en un lingote de aleación forjado con respecto a otro lingote de aleación forjado idéntico por lo demás que carece de dicha capa externa.

Las figuras 6A y 6C ilustran una operación de forjado por recalado. Las matrices de forjado 380/380' aplican fuerza a los extremos opuestos de un lingote 320/320'. La fuerza se aplica generalmente en paralelo al eje longitudinal 301/301' del lingote 320/320', tal como indican las flechas 385/385'. La figura 6A muestra un lingote 320 sin una capa externa. Los extremos del lingote 320 están en contacto con las matrices de forjado 380 (figura 6A). La figura 6C muestra un lingote 320' que incluye una capa externa 322 metalúrgicamente unida al núcleo de lingote interno 323. La capa externa 322 está metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno 323 de forma generalmente cilíndrica a lo largo de la superficie circunferencial del núcleo de lingote interno 323. La capa externa 322 está también metalúrgicamente unida a los extremos opuestos del núcleo de lingote interno 323. La capa externa 322 está en contacto con las matrices de forjado 380' (figura 6C).

Las figuras 6B y 6D ilustran una superficie en contacto con la matriz de cada uno los lingotes 320 y 320' después del forjado por recalado tal como se ilustra en las figuras 6A y 6C, respectivamente. Tal como se muestra en la figura 6B, la superficie en contacto con la matriz 390 del lingote 320 muestra agrietamiento superficial. Tal como se muestra en la figura 6D, la superficie en contacto con la matriz 390' del lingote 320', que incluye la capa externa 322

metalúrgicamente unida al núcleo de lingote interno 323, no muestra agrietamiento superficial. La capa externa 322 reduce la incidencia del agrietamiento superficial en un lingote de aleación forjado con respecto a otro lingote de aleación forjado idéntico por lo demás que carece de dicha capa externa.

5 En varias realizaciones no limitantes, un lingote que tiene una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno se puede someter a una o más operaciones de forjado por recalcado y estirado. Por ejemplo, en una operación de forjado por recalcado y estirado triple, un lingote se puede forjar por recalcado primero y por estirado después. La secuencia de recalcado y estirado puede repetirse dos veces más hasta un total de tres operaciones de forjado por recalcado y estirado secuenciales. Una o más de las superficies en contacto con la matriz del lingote
10 pueden tener una capa externa que está metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno.

En varias realizaciones no limitantes, un lingote que tiene una capa externa que está metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno se puede someter a una o más operaciones de extrusión. Por ejemplo, en una operación de extrusión, un lingote cilíndrico se puede forzar a través de una matriz circular, disminuyendo así el diámetro e
15 incrementando la longitud del lingote. Una o más de las superficies en contacto con la matriz del lingote pueden tener una capa externa que está metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno.

En varias realizaciones no limitantes, los métodos y procesos descritos en el presente documento se pueden usar para producir un tocho trabajado a partir de un lingote que comprende una capa externa que está metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. La conversión por forjado o la conversión por extrusión de un lingote a un tocho u otro artículo trabajado pueden producir una estructura de grano más fina en el artículo en comparación con el artículo antes de la conversión por forjado o extrusión. Los métodos y procesos descritos en el presente documento pueden mejorar el rendimiento de los productos forjados o extruidos (tales como, por ejemplo, tochos) a partir de lingotes de aleación debido a que la capa externa puede reducir la incidencia de agrietamiento superficial del lingote durante las operaciones de forjado y/o extrusión. Por ejemplo, un artículo que incluye una capa externa de aleación relativamente más dúctil metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno de aleación relativamente menos dúctil puede tolerar más fácilmente la tensión inducida por las matrices de trabajo que un artículo idéntico por lo demás que carece de la capa externa de aleación relativamente más dúctil. Una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno puede tolerar también más fácilmente el diferencial de temperatura entre el aire ambiente y el lingote, y/o entre las matrices de trabajo y el lingote, durante el trabajo en caliente. De este modo, una capa externa puede mostrar un agrietamiento superficial nulo o mínimo durante el trabajo del artículo, mientras que se evita o se reduce el inicio del agrietamiento superficial en el núcleo de lingote interno subyacente durante el trabajo.
20
25
30

35 En varias realizaciones no limitantes, después del trabajo en caliente, al menos una porción de una capa externa se puede eliminar del producto formado a partir del lingote durante el trabajo en caliente. Por ejemplo, se puede usar una operación de molienda, decapado, y/u otra operación de torneado para eliminar al menos una porción de la capa externa. En varias realizaciones no limitantes, al menos una porción de una capa externa se puede eliminar de un tocho (formado mediante trabajo de un lingote) por decapado (torneado en torno) y/o molienda del tocho y/o usando otras técnicas adecuadas.
40

En varias realizaciones no limitantes, los lingotes que tienen una capa externa se pueden trabajar en caliente para formar productos que se pueden usar para fabricar diversos artículos. Por ejemplo, los procesos descritos en el presente documento se pueden usar para formar tochos de aleación o superaleación a base de níquel, a base de hierro, a base de níquel-hierro, o a base de cobalto. Los tochos u otros productos formados a partir de lingotes trabajados en caliente se pueden usar para fabricar artículos que incluyen, si bien no se limitan a los mismos, componentes de turbina, tales como, por ejemplo, discos y anillos para motores de turbina y varias turbinas ubicadas en tierra. Otros artículos fabricados a partir de lingotes procesados de acuerdo con varias realizaciones no limitantes descritas en el presente documento pueden incluir, si bien no se limitan a los mismos, válvulas, componentes de motores, ejes, y elementos de fijación.
45
50

Los ejemplos ilustrativos y no limitantes que siguen pretenden describir adicionalmente varias realizaciones no limitantes sin restringir el alcance de las realizaciones. Los expertos habituales en la materia apreciarán que son posibles variaciones de los ejemplos dentro del alcance de la invención definida solamente por las reivindicaciones. Todas las partes y porcentajes son en peso a menos que se indique lo contrario.
55

Ejemplos

Ejemplo 1

60 Se formó un lingote cilíndrico que comprendía una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. Se formó un revestimiento de aleación cilíndrico que comprendía Aleación 625, una aleación a base de níquel (UNS06625). La Aleación 625 tiene una especificación química nominal tal como la proporcionada en la tabla 1.
65

Tabla 1

Química	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Co	Fe	Mo	Ti	Al	Nb + Ta
% p/p, mín.	-	-	-	-	-	20,0	Resto	-	-	8,0	-	-	3,15
% p/p, máx.	0,10	0,50	0,50	0,015	0,015	23,0	-	1,0	5,0	10,0	0,40	0,40	4,15

5 Se usó una sección de 15,24 cm (6 pulgadas) de una tubería de Aleación 625 (15,08125 cm De. x 11,67003 cm Di. (5,9375 pulgadas De. x 4,5945 pulgadas Di.) para formar el revestimiento de aleación. La sección de 15,24 cm (6 pulgadas) se mecanizó a un De. de 14,288 cm (5,625 pulgadas) para formar un espesor de pared de aproximadamente 1,27-1,32 cm (0,50-0,52 pulgadas). El revestimiento de aleación pesó aproximadamente 6,7 kg (14,75 lb).

10 El revestimiento de aleación se colocó dentro de un crisol de VAR de cobre. El conjunto del crisol y el revestimiento de aleación se colocaron dentro de un aparato de VAR y se sujetó a una placa base del crisol. Se colocó también un electrodo de la aleación a base de níquel Aleación 718 dentro del aparato de VAR y se sujetó a un pistón. La Aleación 718 tiene una especificación química nominal tal como la proporcionada en la tabla 2.

Tabla 2

Química	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Co	Fe	Mo	Ti	Al	B	Nb + Ta
% p/p, mín.	-	-	-	-	-	17,0	50,0	-	Resto	2,8	0,65	0,20	-	5,0
% p/p, máx.	0,08	0,35	0,35	0,015	0,015	21,0	55,0	1,0	-	3,3	115	0,80	0,006	5,5

15 El electrodo de Aleación 718 se sometió a refusión por arco en vacío a 3,5 kiloamperios y 25 voltios. El arco eléctrico se generó inicialmente a aproximadamente 2 kiloamperios, y la corriente del arco se elevó rápidamente a 3,5 kiloamperios. Durante un tiempo de fusión de aproximadamente 7 minutos, se fundieron 13,62 kg (30 lb) del electrodo de Aleación 718 en el revestimiento de Aleación 625 (velocidad de fusión promedio de 1,95 kg/min (4,3 lb/min)).

20 Con referencia a la figura 7, el lingote 400 resultante comprendía una capa externa 402 metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno 403. La interfase 405 entre la capa externa 402 y el núcleo de lingote interno 403 comprendía una unión metalúrgica. El núcleo de lingote interno 403 y la capa externa 402 se dispusieron concéntricamente. La figura 7 muestra la sección transversal longitudinal interna del lingote después del grabado ácido con cloruro férrico/reactivo Canada. Tal como se muestra en la fotografía de la figura 7, se alcanzó una unión metalúrgica fuerte y uniforme entre el revestimiento de aleación (Aleación 625) y la aleación del electrodo fundida (Aleación 718), formando así un lingote con una capa externa de Aleación 625 metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno de Aleación 718.

30 Ejemplo 2

35 Se tomaron imágenes de la microestructura del lingote formado de acuerdo con el ejemplo 1 usando un microscopio óptico. La figura 8A es una micrografía óptica de la capa externa de Aleación 625 del lingote. La figura 8B es una micrografía óptica del núcleo de lingote interno de Aleación 718 del lingote, justo dentro de la interfase entre la capa externa y el núcleo de lingote interno. La Figura 8C es una micrografía óptica del núcleo de lingote interno del lingote de Aleación 718 tomada en una posición a mitad del radio dentro del núcleo de lingote interno. La figura 8D es una micrografía óptica de la interfase entre la capa externa del lingote y el núcleo de lingote interno. Tal como se muestra en la figura 8D, se formó una unión metalúrgica fuerte y uniforme entre la capa externa del lingote y el núcleo de lingote interno.

40 Ejemplo 3

45 Se analizó cuantitativamente la química del lingote formado de acuerdo con el ejemplo 1 usando microscopía electrónica de barrido/ espectroscopía de energía dispersiva (SEM/EDS). La figura 9 es una micrografía SEM de la interfase entre la capa externa del lingote de Aleación 625 y el núcleo de lingote interno del lingote de Aleación 718. Tal como se muestra en la figura 9, se formó una unión metalúrgica fuerte y uniforme entre la capa externa del lingote y el núcleo de lingote interno.

50 Las composiciones químicas de la capa externa del lingote de Aleación 625, el núcleo de lingote interno de Aleación 718, y la región de interfase metalúrgicamente unida entre la capa externa y el núcleo de lingote interno determinadas usando SEM/EDS se presentan en la tabla 3. Las mediciones SEM/EDS para la capa externa y el núcleo de lingote interno se tomaron unos cuantos micrómetros hacia el exterior y hacia el interior a partir de la región de la interfase, respectivamente.

55

Tabla 3

Elemento	capa externa de Aleación 625 (% p/p)	región de interfase (% p/p)	núcleo de lingote interno de Aleación 718 (% p/p)
Al	0,18	0,24	0,42
Si	0,00	0,04	0,10
Ti	0,40	0,25	0,84
Cr	21,59	21,92	19,21
Fe	3,06	3,60	15,99
Ni	63,35	62,98	55,54
Nb	3,28	3,30	4,26
Mo	8,15	7,67	3,64
Total	100,01	100,00	100,00

- 5 La composición química de la capa externa de Aleación 625 estaba dentro de las especificaciones para la calidad de aleación para todos los elementos constituyentes (Tabla 1). La composición química del núcleo de lingote interno de Aleación 718 estaba dentro de las especificaciones para la calidad de aleación para todos los elementos constituyentes excepto para níquel, niobio, y molibdeno (Tabla 2). La composición química de la región de interfase era generalmente intermedia entre la composición química de la capa externa de Aleación 625 y la composición del núcleo de lingote interno de Aleación 718, aparte de ser relativamente pobre en titanio y relativamente rica en cromo.
- 10 La composición química del núcleo de lingote interno de Aleación 718 se midió dos veces más usando SEM/EDS a aproximadamente 1,27 cm (media pulgada) y 2,54 cm (una pulgada) hacia adentro desde la región de interfase. Los resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Elemento	Medición inicial (Tabla 3) (% p/p)	Medición a 1,27 cm (media pulgada) desde la interfase (% p/p)	Medición a 2,54 cm (una pulgada) desde la interfase (% p/p)
Al	0,42	0,42	0,44
Si	0,10	0,14	0,15
Ti	0,84	1,18	1,03
Cr	19,21	18,53	18,40
Fe	15,99	17,65	17,08
Ni	55,54	53,38	54,66
Nb	4,26	5,30	5,03
Mo	3,64	3,20	3,20
Total	100,00	99,80	99,99

- 15 Las composiciones químicas medidas para el núcleo de lingote interno de Aleación 718 estaban dentro de las especificaciones para la calidad de aleación para todos los elementos constituyentes excepto para el nivel de titanio medido a media pulgada de la región de interfase.

20 Ejemplo 4

- 25 La composición química del núcleo de lingote interno del lingote formado de acuerdo con el ejemplo 1 se analizó cuantitativamente usando espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF), técnicas de combustión y fusión, y espectroscopia de emisión óptica (OES) por chispa. Los análisis de espectrometría XRF se efectuaron de acuerdo con la norma ASTM E2465-06: Método de ensayo estándar para análisis de aleaciones a base de Ni mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X, incorporado como referencia en el presente documento. Las técnicas de combustión y fusión se realizaron de acuerdo con la norma ASTM E1019-08: Métodos de ensayo estándar para la determinación de carbono, azufre, nitrógeno, y oxígeno en aleaciones de acero, hierro, níquel, y cobalto mediante varias técnicas de combustión y fusión, incorporados como referencias en el presente documento.

- 30 También se analizó cuantitativamente la composición química del electrodo de Aleación 718 usando espectrometría XRF, técnicas de combustión y fusión, y OES por chispa. Las composiciones químicas medidas se presentan en la

tabla 5.

Tabla 5

Elemento	Electrodo (% p/p)	Núcleo de lingote interno (% p/p)	Diferencia (% p/p)	Porcentaje de diferencia con relación al electrodo
Al	54,010	53,774	-0,236	-0,4
Si	18,222	17,432	-0,790	-4,3
Ti	18,029	17,960	-0,069	-0,4
Cr	2,918	3,083	0,165	5,7
Fe	0,034	0,033	-0,001	-2,9
Ni	0,179	0,175	-0,004	-2,2
Nb	0,065	0,071	0,006	9,2
Mo	5,164	5,263	0,099	1,9
Cu	0,505	0,480	-0,025	-5,0
Co	0,079	0,088	0,009	11,4
Mn	1,001	0,989	-0,012	-1,2
C	0,026	0,024	-0,002	-7,7
Total	100,232	99,372	---	---

- 5 Las composiciones químicas medidas para el núcleo de lingote interno de Aleación 718 y el electrodo inicial de Aleación 718 estaban dentro de las especificaciones para la calidad de aleación para todos los elementos constituyentes. Además, no se observó ningún cambio apreciable en la composición química en masa del material de Aleación 718 después de que el electrodo de aleación se sometiera a refusión en el revestimiento de aleación para formar un lingote que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno. Esto
- 10 demuestra poca o ninguna infiltración/dilución de la composición química del electrodo por el material del revestimiento de aleación. Por tanto, la capa externa se puede eliminar fácilmente para formar un lingote de Aleación 718 dentro de la especificación. Alternativamente, el lingote se puede trabajar en caliente, por ejemplo, se puede forjar para formar un tocho y la capa externa se puede eliminar fácilmente para formar un tocho forjado de Aleación 718 dentro de la especificación que muestra una incidencia de agrietamiento superficial reducida.
- 15

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para formar un lingote de aleación, que comprende:
 - 5 colocar un revestimiento de aleación en un crisol de un aparato de refusión por arco en vacío; y someter a refusión por arco en vacío un electrodo de aleación dentro del revestimiento de aleación en el crisol, formando así un lingote de aleación que comprende una capa externa metalúrgicamente unida a un núcleo de lingote interno.
 - 10 2. El proceso de la reivindicación 1, en el que el revestimiento de aleación comprende una aleación que es más dúctil que la aleación que comprende el electrodo de aleación.
 - 15 3. El proceso de la reivindicación 1, en el que el electrodo de aleación comprende una aleación seleccionada entre el grupo que consiste en una aleación a base de níquel, una aleación a base de hierro, una aleación a base de níquel-hierro y una aleación a base de cobalto.
 - 20 4. El proceso de la reivindicación 1, en el que el electrodo de aleación comprende una aleación seleccionada entre el grupo que consiste en Aleación 718, Aleación 720, aleación Rene 41®, aleación Rene 88®, y aleación Waspaloy®.
 - 25 5. El proceso de la reivindicación 1, en el que el revestimiento de aleación comprende una aleación a base de níquel.
 - 30 6. El proceso de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 - 35 trabajar en caliente el lingote de aleación, en donde el trabajo en caliente comprende aplicar fuerza sobre la capa externa y en donde la fuerza deforma plásticamente el lingote de aleación.
 - 40 7. El proceso de la reivindicación 6, en el que el trabajo en caliente del lingote de aleación comprende el forjado por recalado y estirado del lingote de aleación.
 - 45 8. El proceso de la reivindicación 6, que comprende adicionalmente eliminar al menos una porción de la capa externa del lingote de aleación después del trabajo en caliente del lingote de aleación.
 - 50 9. El proceso de la reivindicación 6, en donde el proceso mejora el rendimiento de los productos forjados de superaleación a base de níquel formados a partir de lingotes de superaleación a base de níquel.
 - 55 10. El proceso de la reivindicación 6, en donde el proceso produce un tocho trabajado de superaleación a base de níquel a partir de un lingote colado de superaleación a base de níquel.
 - 60 11. El proceso de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente proporcionar el electrodo de aleación usando una operación de fusión por inducción en vacío.
 - 65 12. El proceso de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente proporcionar el electrodo de aleación usando una operación de fusión por inducción en vacío-afino por electroescoria.
 - 70 13. El proceso de la reivindicación 1, en el que el electrodo de aleación comprende una aleación que comprende, en porcentaje en peso, de 0 a 0,08 de carbono, de 0 a 0,35 de manganeso, de 0 a 0,35 de silicio, de 0 a 0,015 de azufre, de 0 a 0,015 de fósforo, de 17,0 a 21,0 de cromo, de 50,0 a 55,0 de níquel, de 0 a 1,0 de cobalto, de 2,8 a 3,3 de molibdeno, de 0,65 a 1,15 de titanio, de 0,2 a 0,8 de aluminio, de 0 a 0,006 de boro, de 5,0 a 5,5 de niobio y/o tántalo, el resto hierro e impurezas accidentales.
 - 75 14. El proceso de la reivindicación 1, en el que la capa externa comprende una aleación que es más dúctil que la aleación que comprende el núcleo de lingote interno y en el que la capa externa reduce la incidencia de agrietamiento superficial del lingote de aleación, y que comprende adicionalmente la etapa de aplicación de una fuerza al lingote de aleación para deformar plásticamente el lingote de aleación.
 - 80 15. El método de la reivindicación 14, que comprende adicionalmente eliminar al menos una porción de la capa externa del lingote de aleación después de deformar el lingote de aleación.
 - 85 16. El método de la reivindicación 14, en el que el núcleo de lingote interno comprende una aleación seleccionada entre el grupo que consiste en una aleación a base de níquel, una aleación a base de hierro, una aleación a base de níquel-hierro y una aleación a base de cobalto.
 - 90 17. El método de la reivindicación 14, en el que el núcleo de lingote interno comprende una aleación seleccionada entre el grupo que consiste en Aleación 718, Aleación 720, aleación Rene 41®, aleación Rene 88® y aleación Waspaloy®.

18. El método de la reivindicación 14, en el que el núcleo de lingote interno comprende una superaleación a base de níquel y la región externa comprende una aleación a base de níquel.
19. El método de la reivindicación 14, en el que la aplicación de fuerza al lingote de aleación comprende el forjado por recalado y estirado del lingote de aleación.
20. El método de la reivindicación 14, en donde el método mejora el rendimiento de los productos forjados de superaleación a base de níquel formados a partir de lingotes de superaleación a base de níquel.
- 10 21. El método de la reivindicación 14, en donde el método produce un tocho trabajado de superaleación a base de níquel a partir de un lingote colado de superaleación a base de níquel.

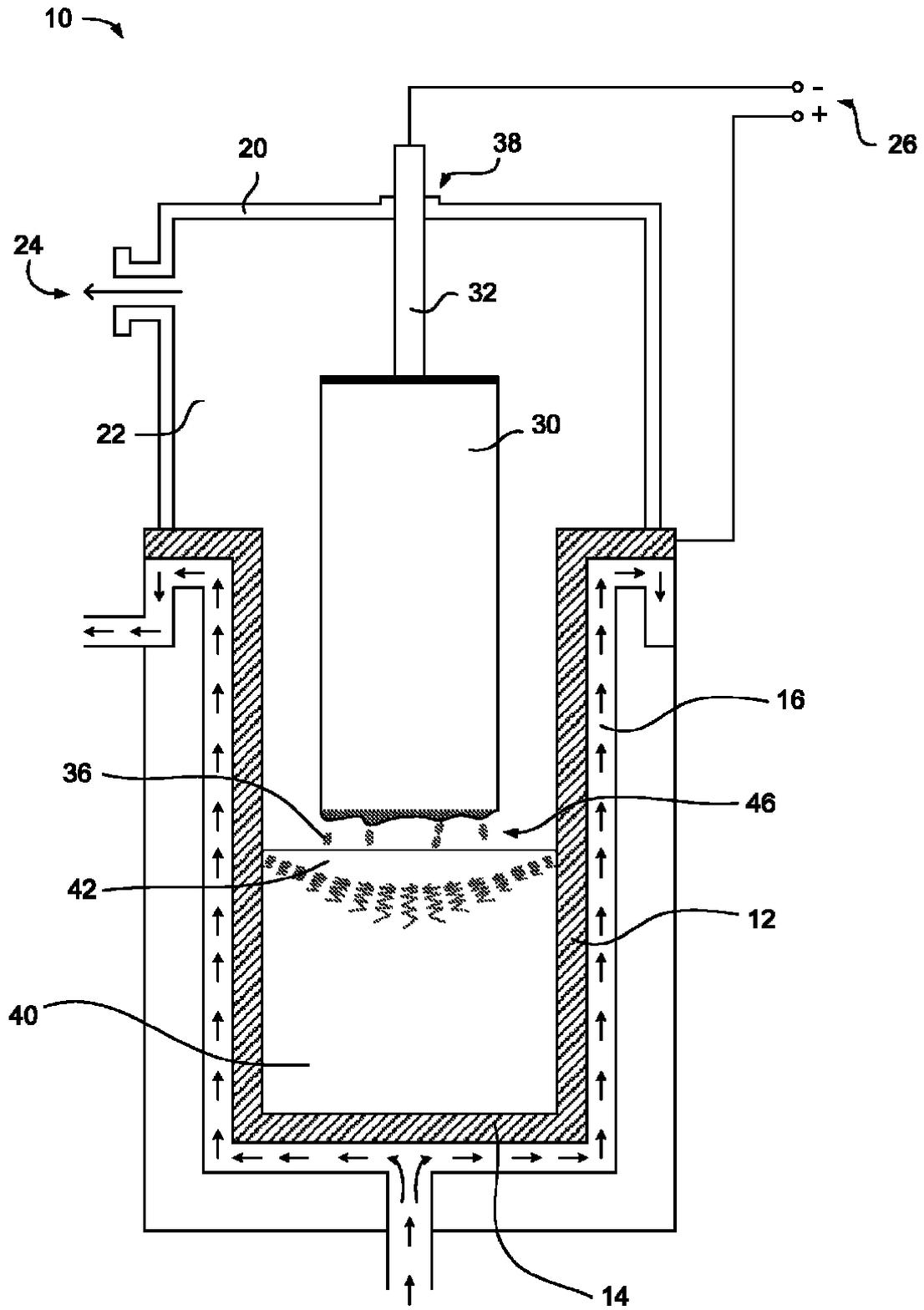


FIG. 1

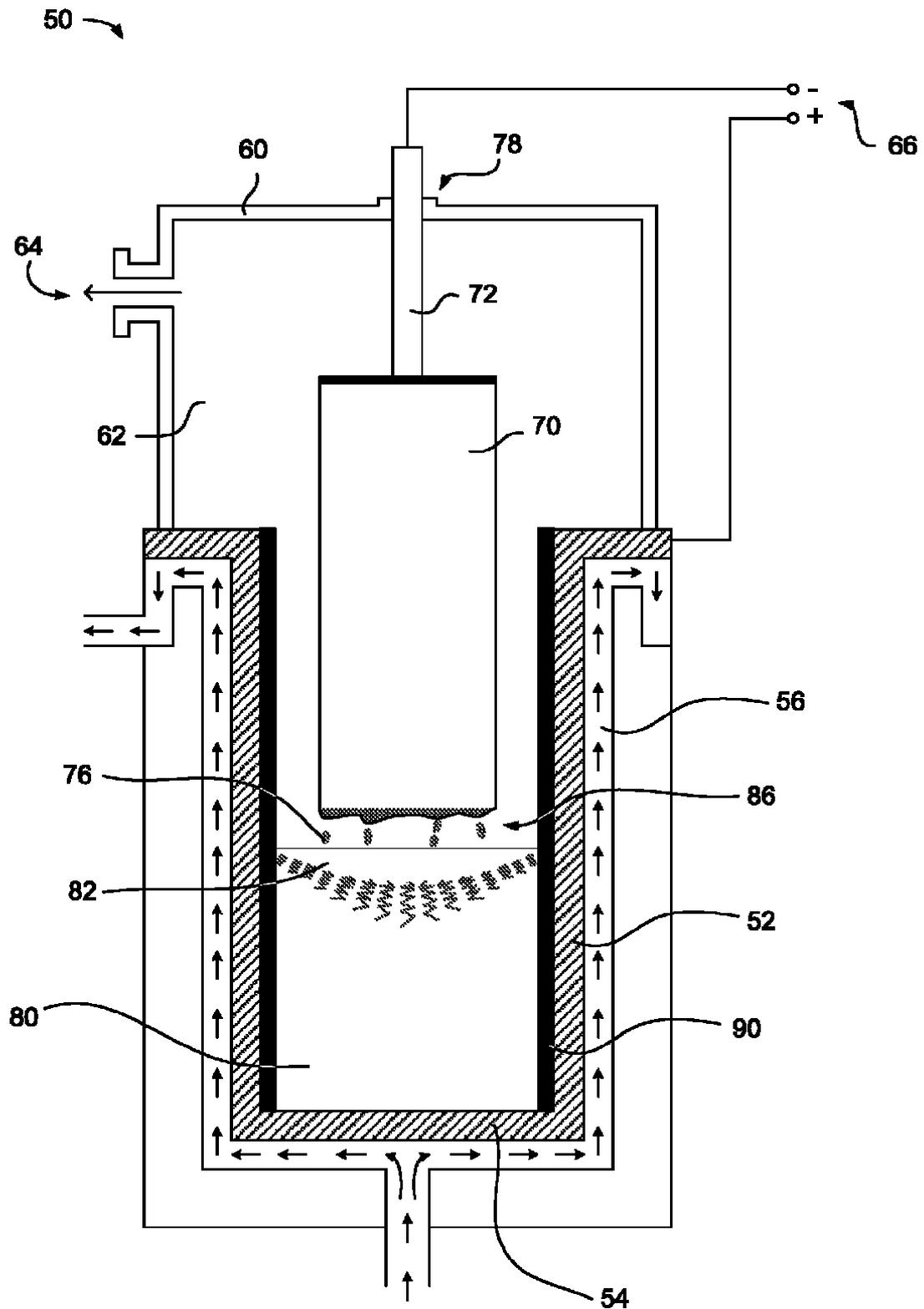


FIG. 2

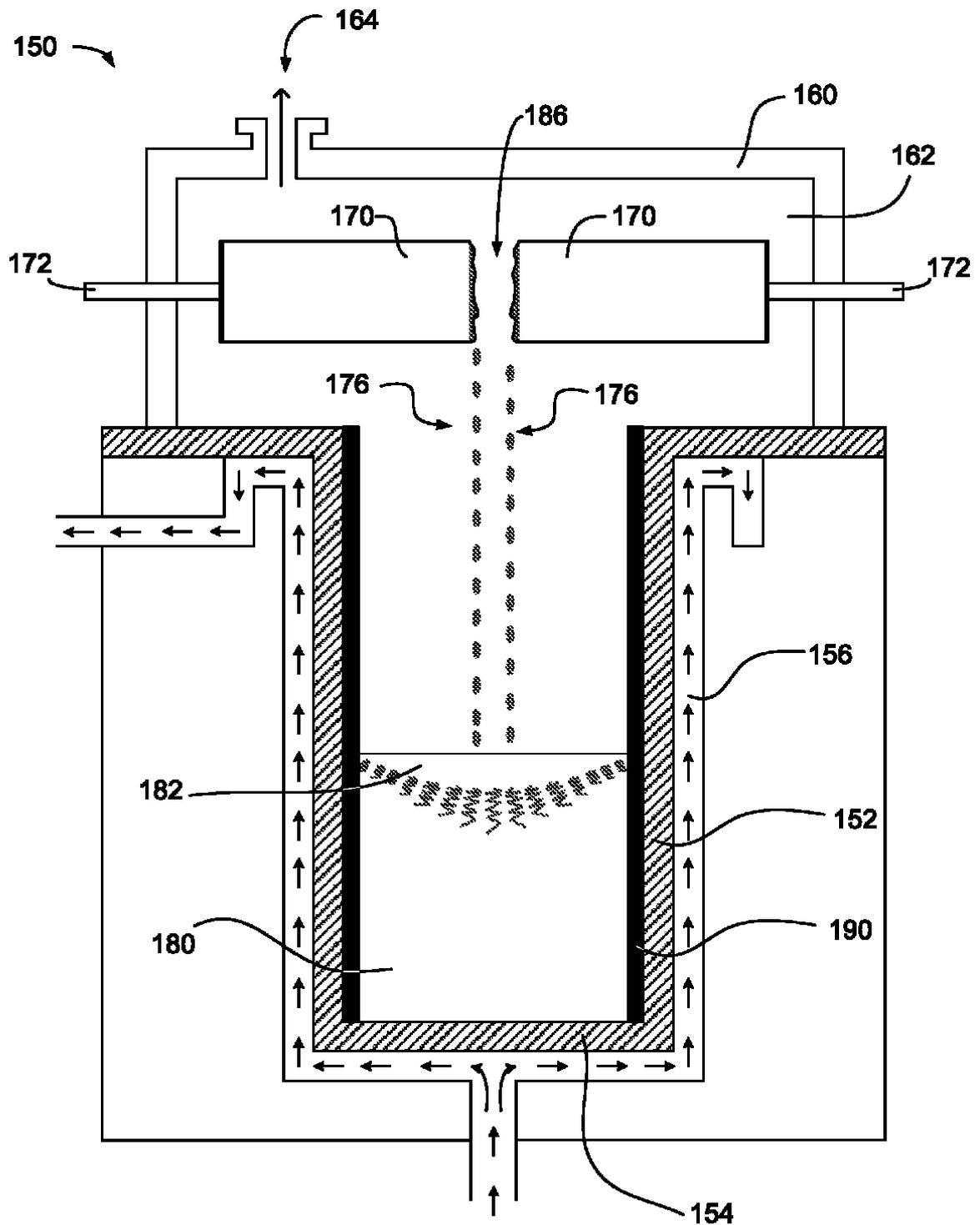


FIG. 3

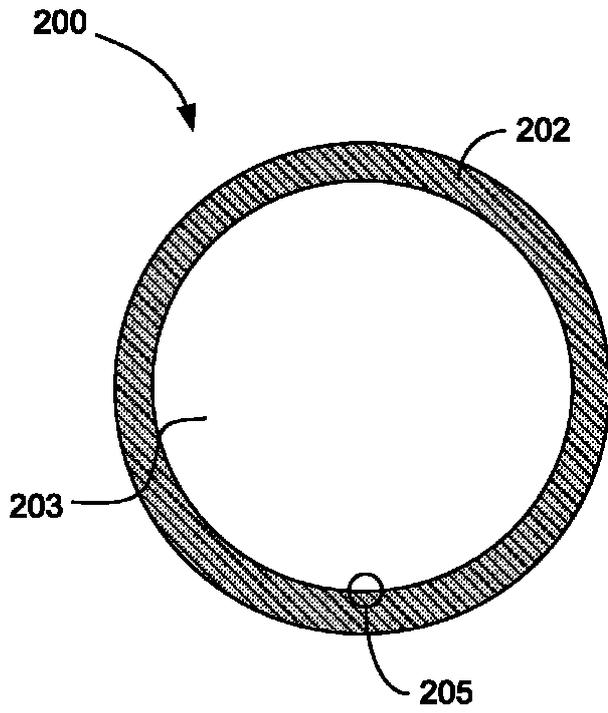


FIG. 4A

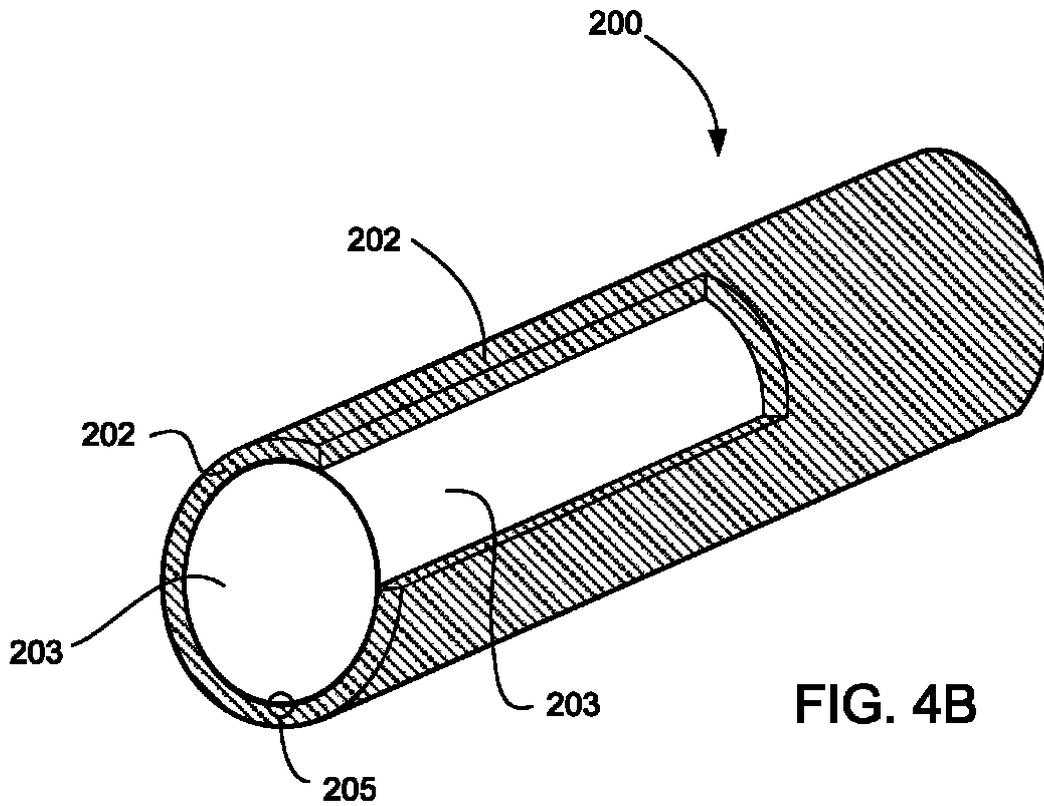


FIG. 4B

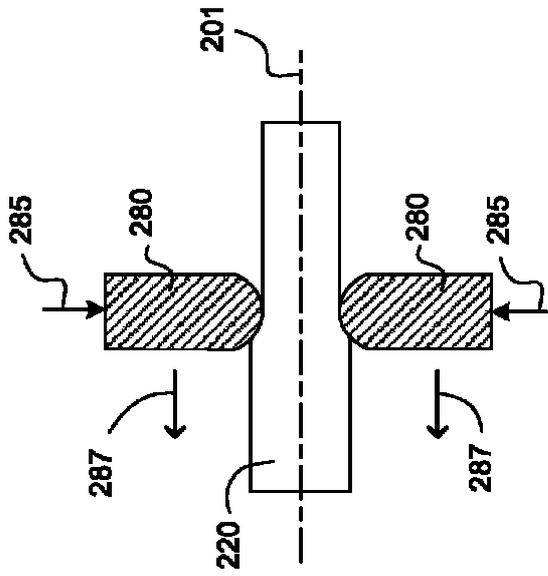


FIG. 5A

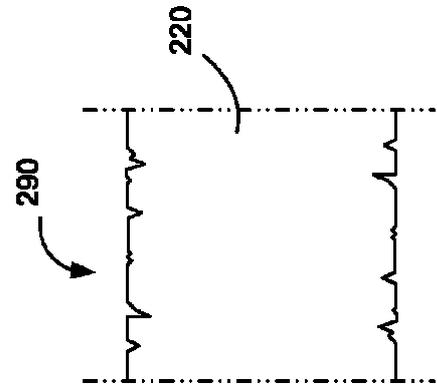


FIG. 5B

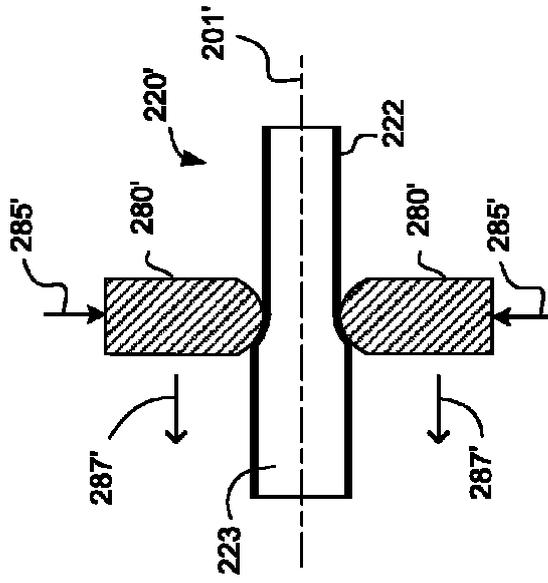


FIG. 5C

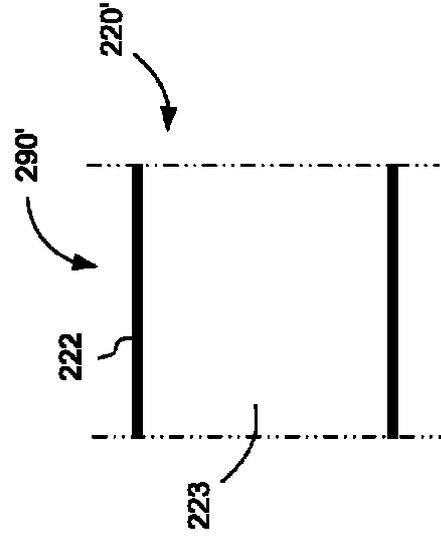


FIG. 5D

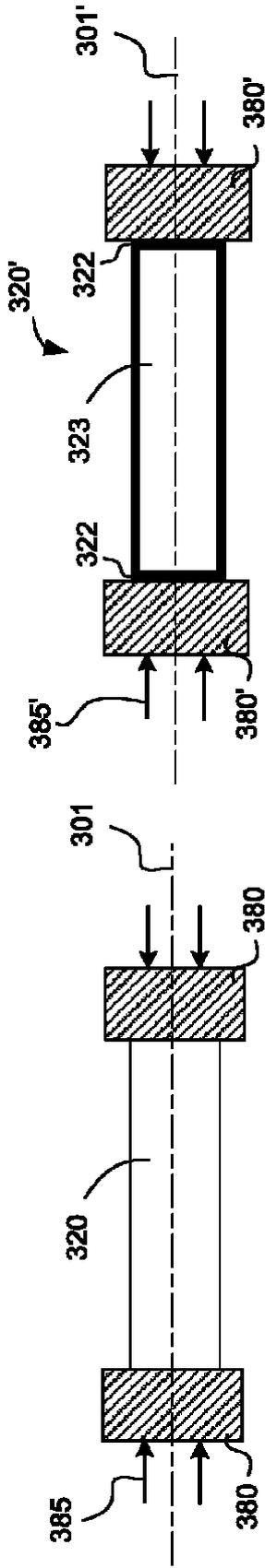


FIG. 6C

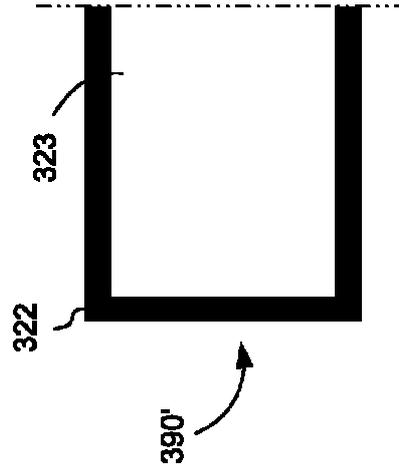


FIG. 6D

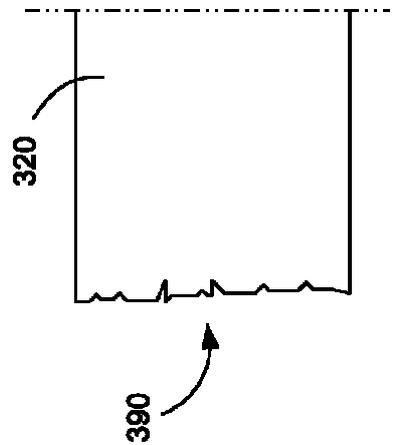


FIG. 6B

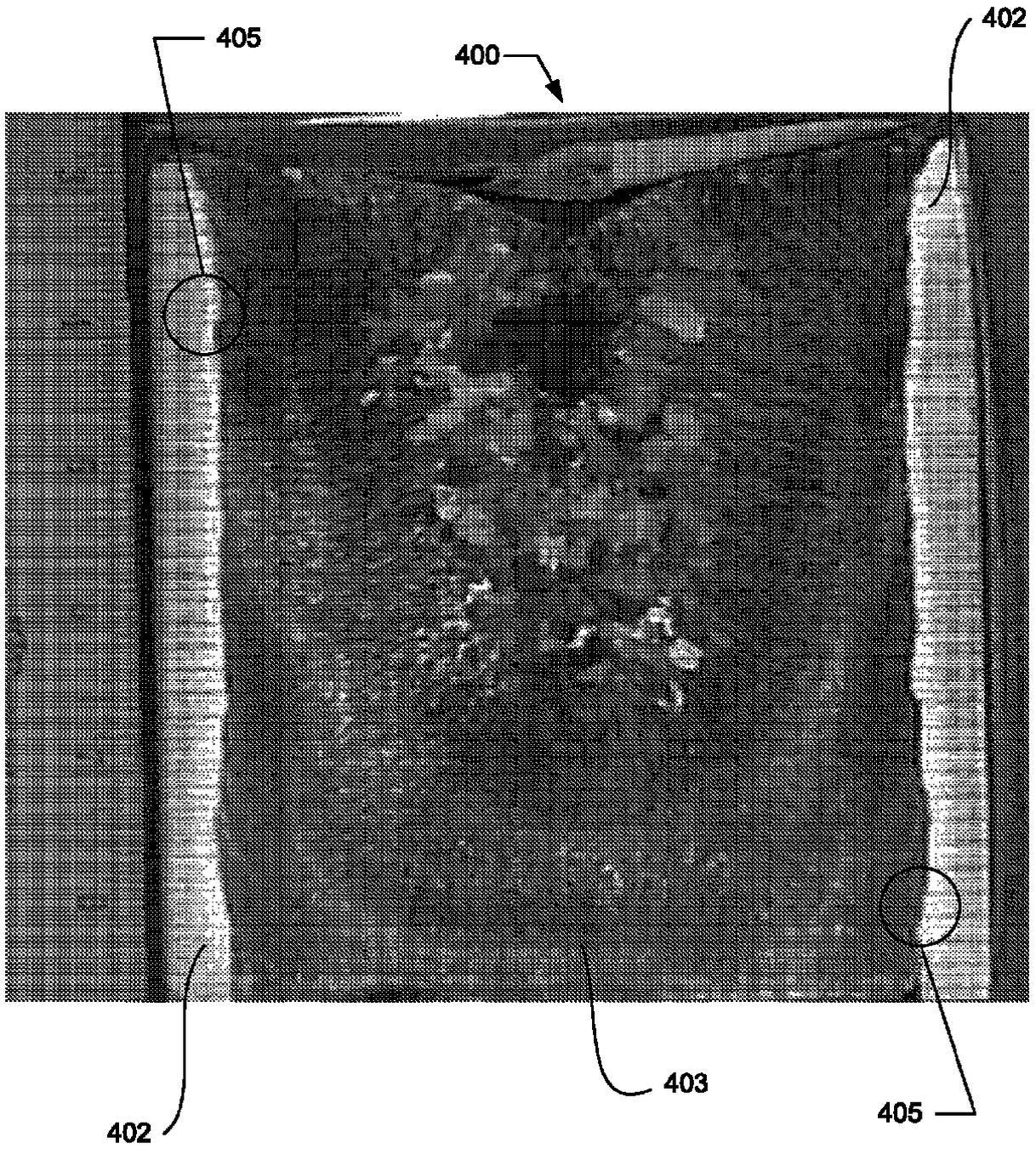


FIG. 7

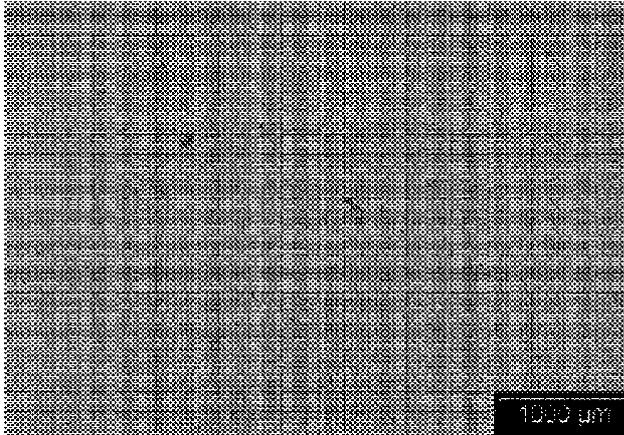


FIG. 8A

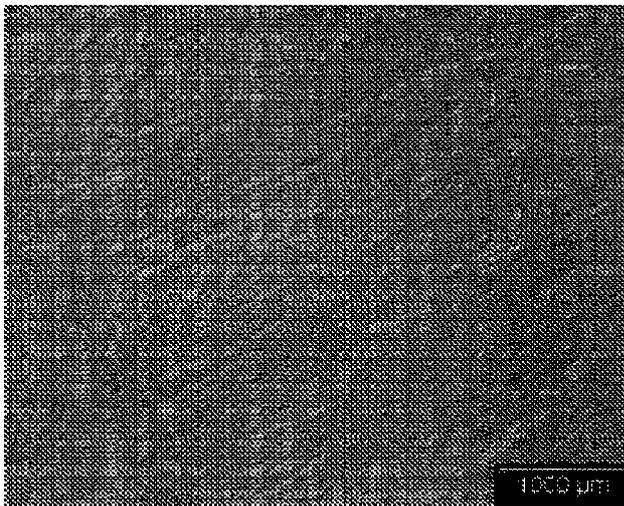


FIG. 8B

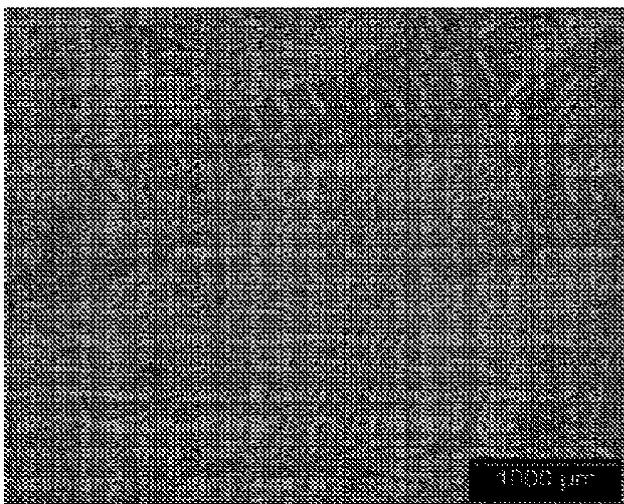


FIG. 8C

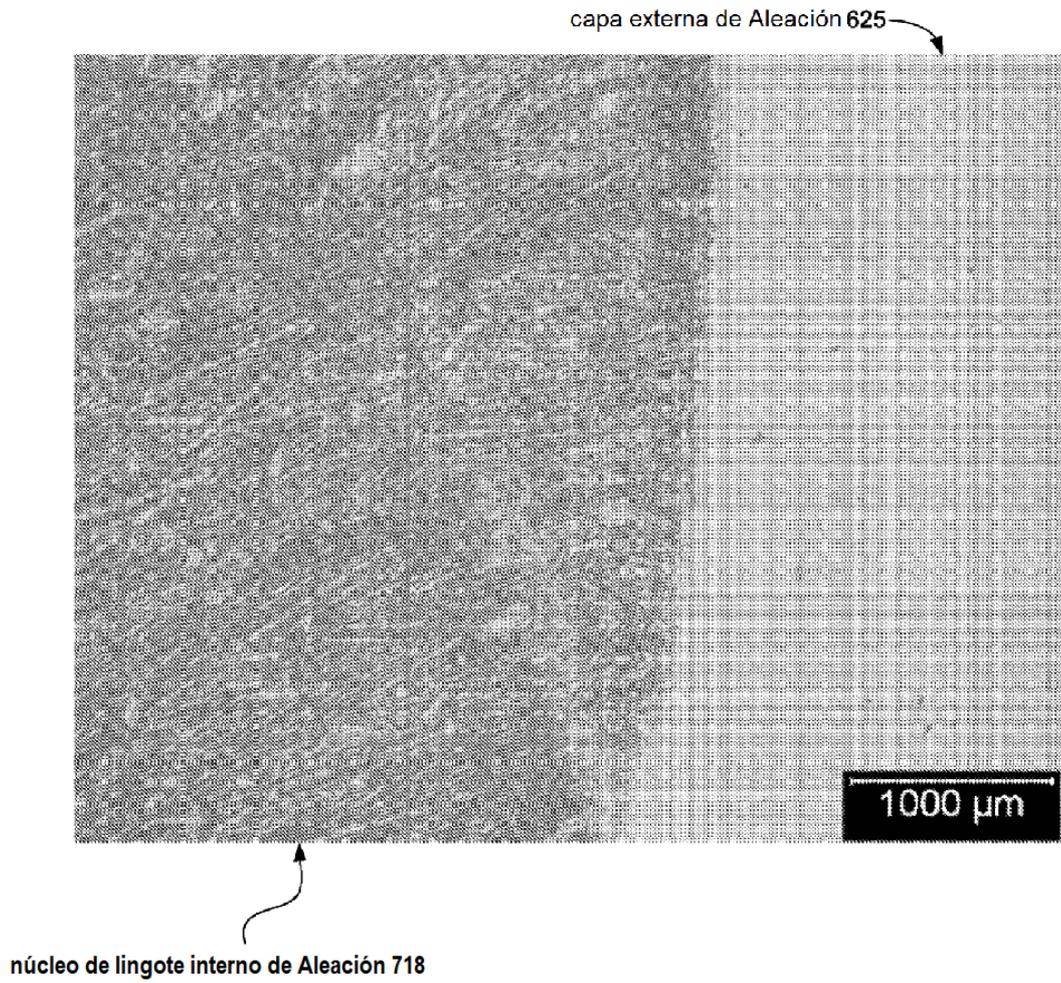


FIG. 8D

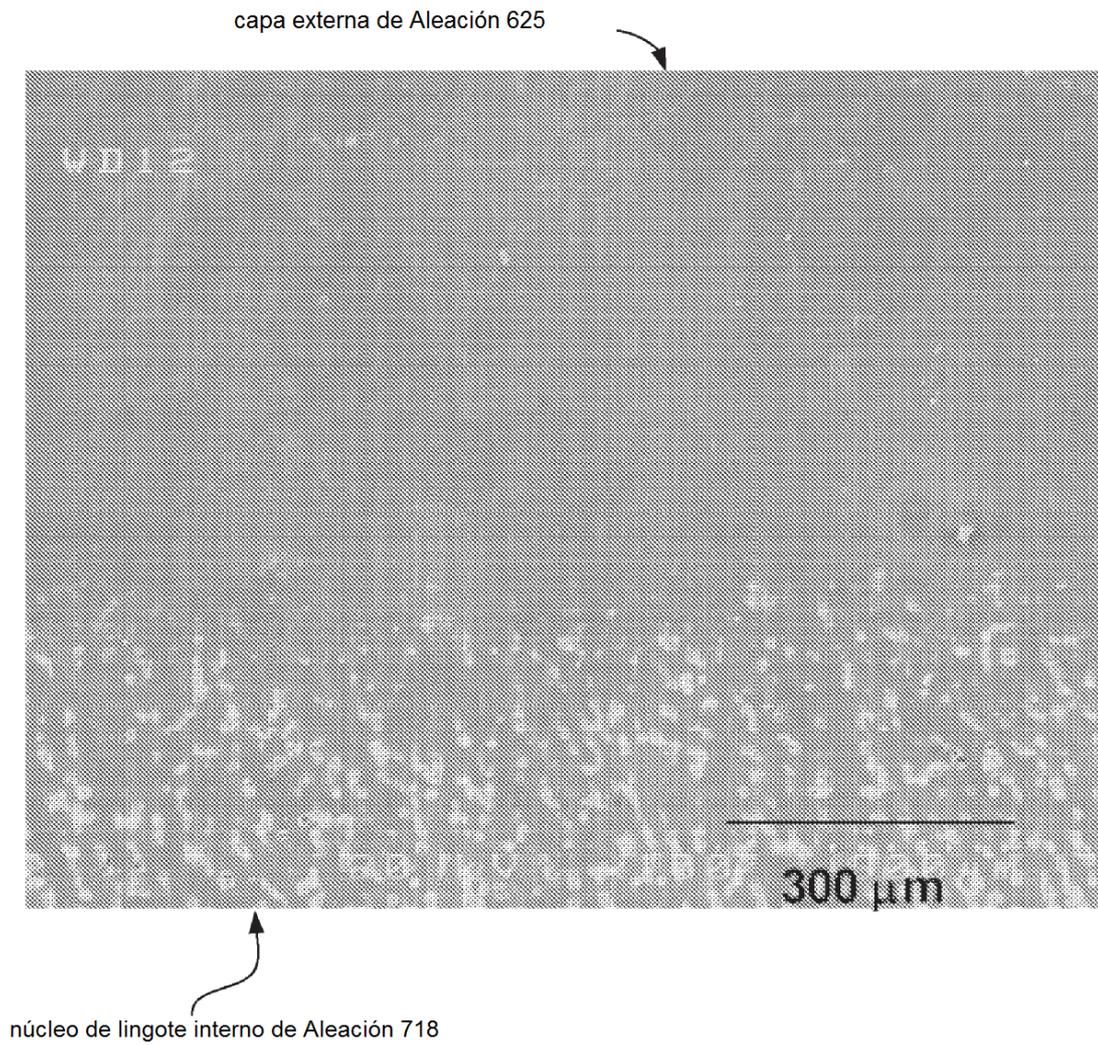


FIG. 9