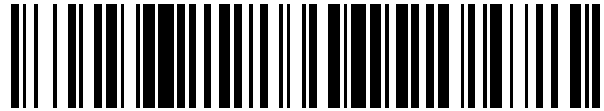


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 740 430**

51 Int. Cl.:

C22B 9/02 (2006.01)

C22B 21/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.04.2013 PCT/IB2013/000775**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2013 WO13160754**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.04.2013 E 13728509 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2019 EP 2841608**

54 Título: **Aparato y procedimiento para cebar un filtro de metal fundido**

30 Prioridad:

27.04.2012 US 201261639196 P

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

05.02.2020

73 Titular/es:

**NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (NTNU) (100.0%)
c/o NTNU Technology Transfer AS, Klaebuveien
153
7491 Trondheim, NZ**

72 Inventor/es:

**KENNEDY, MARK, WILLIAM;
AKHTAR, SHAHID;
FRITZSCH, ROBERT;
BAKKEN, JON ARNE y
AUNE, RAGNHILD, ELISABETH**

74 Agente/Representante:

GARCÍA GONZÁLEZ, Sergio

ES 2 740 430 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

Aparato y procedimiento para cebar un filtro de metal fundido

5 **Campo técnico**

Esta invención implica el cebado de filtros para la eliminación de inclusiones sólidas del metal líquido. En la presente memoria descriptiva se divulga un aparato y un procedimiento para cebar un filtro de metal fundido.

10 **Antecedentes de la invención**

Los filtros de cerámica y comúnmente los filtros de espuma cerámica (FEC) están actualmente disponibles para purificar metal líquido, tal como se divulga en la Patente de Estados Unidos N.º 3,893,917. Muy a menudo esto implica la eliminación de inclusiones sólidas del metal líquido, como el acero y el aluminio. Estas inclusiones sólidas pueden conducir a defectos físicos en los productos metálicos finales si no se eliminan antes de la solidificación.

Para utilizar de manera más eficiente los medios de filtro, la porosidad abierta del filtro debe estar completamente llena de metal líquido. Llenar completamente el filtro con metal líquido mejora la humectación de la superficie del medio de filtro para facilitar la recolección de las inclusiones sólidas. El problema a resolver es que el cebado incompleto resulta en velocidades de líquido localmente más altas en las partes activas del filtro, caídas de presión operativas más altas o una producción de metal líquido total más baja, en combinación con una eficiencia de recolección más baja para las inclusiones sólidas.

Una práctica común es colocar un filtro de espuma cerámica con un material de junta en un dispositivo de filtración o 'recipiente', de modo que la altura del metal se acumule sobre el filtro y sea forzada por la gravedad dentro y a través del medio de filtro. Las inclusiones se eliminan mediante mecanismos de filtración profunda o de lecho. Las malas características de humectación de estos filtros de cerámica y la necesidad de eliminar el aire contenido dentro de los poros, a menudo conlleva dificultades, particularmente al comienzo de la operación de filtración.

La importancia del cebado en la filtración se divulga en varias Patentes y Solicitudes de Patente, tales como la Patente de Estados Unidos N.º 4,872,908, en la que Enright, P.G. *et al.* describen la definición y el papel del cebado en detalle y también brindan datos de eficiencia específicos al eliminar partículas de 20 micras (entre - 13,4 y 54,8%) usando LiMCA para filtros de 30 PPI. El amplio intervalo de eficiencia de filtración puede atribuirse en parte al impacto del cebado en el rendimiento del filtro. En la Patente de Estados Unidos N.º 4,081,371, Yarwood, J.C. *et al.* describen la necesidad de eliminar las burbujas de gas dentro del filtro de espuma cerámica, y las funciones de la cabeza metalostática y el ángulo del filtro en el cebado. En términos generales, una presión total más alta (de la cabeza metalostática u otros medios) mejora la eficiencia de cebado. En la Solicitud de Patente de Estados Unidos con N.º de Serie 09/867,144, Quackenbush, M.S., divulga un medio de filtro, sin la aplicación de fuerzas mecánicas para alentar la liberación de burbujas de aire, con el fin de liberar burbujas de aire atrapadas para asegurar un cebado más fácil y completo del medio de filtro.

En la Patente de Estados Unidos N.º 7,666,248, Belley, L., *et al.* divulgan un procedimiento utilizando un sistema de vacío para generar un gradiente de presión adicional de aproximadamente 6 kPa o aproximadamente 25 cm de equivalente de cabeza de aluminio líquido con el propósito expreso de aumentar la presión efectiva de cebado para garantizar un cebado adecuado para filtros de espuma cerámica con un espesor de 2,5 a 7,6 cm y un tamaño bajo promedio de poro o "ventana" de 150-500 micras, que son típicos de los filtros con 60 PPI o más. De lo contrario, estos filtros requieren cabezas metalostáticas sustanciales (distancia vertical desde la parte inferior del canal hasta la parte superior del filtro) para garantizar un cebado adecuado. Belley *et al.* también divulgan que la gama típica de cabezas de cebado para filtros de espuma cerámica es de aproximadamente 20-80 cm. Los valores más altos están asociados con una mayor densidad de poros y tamaños de ventana más pequeños, y a menudo no son prácticos para implementar en las operaciones de fundición existentes.

Los filtros se precalientan normalmente para tratar de mejorar el flujo de metal en el medio de filtro y, por lo tanto, la eficiencia de cebado para una altura de metal fija sobre el filtro. A menudo se encuentran dificultades para obtener un calentamiento uniforme sin sobrecalentamiento localizado que pueda provocar daños térmicos en los medios de filtro. Esto hace difícil poder asegurar que el área total del filtro se encuentre disponible para pasar metal líquido. En la Patente de Estados Unidos N.º 4,834,876, Walker, N.G. reivindica un procedimiento mediante el cual el filtro de cerámica no conductor se vuelve eléctricamente conductor mediante el revestimiento de las partículas de los medios de filtro con una sustancia conductora como el níquel o mediante el uso de un material eléctricamente conductor, como el carburo de silicio, para construir los medios de filtro. Al pasar una corriente a través de los medios o al rodear el filtro con una bobina de inducción para inducir corrientes de Foucault, los medios podrían autocalentarse debido a las pérdidas resistivas (I^2R) para garantizar el precalentamiento y el cebado completo.

Un procedimiento que implica el uso de una bobina de inducción de baja frecuencia y elementos de filtro de espuma cerámica se ha presentado en la Patente de Estados Unidos N.º 4,837,385 por Calogero, C. *et al.* En este procedimiento se presentaron varios medios diferentes, por los cuales se podía crear una corriente cruzada y un campo magnético, lo que generaría fuerzas de Lorentz. Algunos de estos procedimientos implican el uso de electrodos y una llamada 'corriente de inyección' que no es deseable ya que los electrodos son una fuente potencial de contaminación para el metal líquido que se está filtrando. La teoría detrás del procedimiento divulgado por Calogero *et al.* fue que las fuerzas de Lorentz actuarían preferentemente sobre el metal y no sobre las inclusiones, lo que provocaría la migración de las inclusiones y la intercepción de las inclusiones por las paredes de los medios de filtro. El impacto del campo magnético en el cebado de los medios de filtro no fue divulgado. Además, el mecanismo descrito por Calogero depende de la ausencia de cualquier curvatura o vorticidad significativa en los campos de fuerza magnéticos y de Lorentz. Sin embargo, como se divulga en la Patente de Estados Unidos 4,909,836, la vorticidad siempre está presente en estos campos cuando se usa una bobina de inducción normal con un paso helicoidal constante como fuente de corriente cruzada y campo magnético. Un aspecto de la presente invención usa una bobina de inducción para evitar el contacto directo y la contaminación del metal líquido. Se utiliza una bobina de inducción de paso constante estándar. Los inventores son muy conscientes de la vorticidad en las fuerzas magnéticas y de Lorentz producidas a través de dicha bobina de inducción y, por lo tanto, han diseñado el procedimiento para aprovechar al máximo la vorticidad, a fin de presionar el metal en el medio de filtro para lograr un mejor grado de cebado con una cabeza metalostática baja.

Un artículo científico de Kennedy *et al.*, publicado en Light Metals 2011, ed. Stephen J Lindsay, de TMS (The Minerals, Metals and Materials Society), divulga una configuración experimental en la que se estudia el comportamiento del menisco del aluminio fundido bajo una intensidad de campo magnético variable. Se realizan experimentos de filtración por lotes.

Definiciones

Como se usa en la presente invención, el término "cebado" se refiere al desplazamiento del aire contenido en la estructura de poro abierto de un filtro (por ejemplo, un filtro de espuma cerámica) y la mejora de la humectación de los medios de filtro por el metal líquido, por lo tanto, permitiendo que el volumen máximo y el área de superficie interna estén disponibles para pasar el flujo y recolectar partículas.

Como se usa en la presente memoria descriptiva, el término "inclusión" se refiere a cualquier contaminante del metal líquido que tiene un punto de fusión mayor que el metal y, por lo tanto, es sólido a la temperatura de procesamiento.

Sumario de la invención

La invención se define en el conjunto de reivindicaciones adjuntas. Varios aspectos de la presente invención se relacionan con: (1) un procedimiento de cebado, sin el uso de vacío o presión de gas aplicados externamente, mediante la aplicación de una bobina de inducción de baja frecuencia (1-60 Hz) para asegurar el cebado completo de un elemento de filtro eléctricamente no conductor; (2) un procedimiento de cebado para mejorar el cebado y la operación posterior de los filtros de espuma cerámica con un tamaño pequeño de 'ventana', como de los típicos Filtros de Espuma Cerámica (FEC) comerciales de 50-80 PPI, para operar con mayor eficiencia y producir un producto metálico que contiene menos inclusiones; (3) un procedimiento de cebado que permite cebar filtros de espuma cerámica más gruesos que los tradicionales o una pila de filtros tradicionales; y (4) un aparato que permite que los medios de filtro, incluidos los medios de filtro usados previamente, se mantengan calientes o recalentados, y posteriormente reutilizados durante más de un ciclo de fundición.

En una realización, el aparato para cebar un filtro incluye un elemento de filtro contenido en un recipiente de filtro configurado para recibir un flujo de metal líquido; una bobina de inducción que rodea el elemento de filtro, en el que dicha bobina de inducción está alojada en un separador que separa la bobina de inducción del flujo de metal líquido y está configurada para producir un campo magnético, un eje de la bobina de inducción está sustancialmente alineado con una dirección de introducción del flujo de metal líquido; y una junta configurada para proporcionar un recinto seguro a una circunferencia del elemento de filtro.

En una realización, se coloca una bobina de inducción de baja frecuencia alrededor y muy cerca de un medio de filtro de cerámica, tal como un elemento de filtro de espuma cerámica o una pila de dichos elementos de filtro. La presencia de un campo magnético permite el cebado de filtros más gruesos que el estándar industrial convencional de aproximadamente 50 mm. El espesor total permitido está determinado por la longitud instalada de la bobina de inducción.

La orientación de los elementos de la bobina y del filtro puede ser vertical u horizontal, siempre que haya una ruta disponible para que escape el gas durante el cebado.

Los conductores eléctricos de la bobina de inducción pueden tener muchas formas diferentes. Por ejemplo, plano redondo, tubular, rectangular o cuadrado. A diferencia de las bobinas tradicionales de hornos de inducción, las bobinas de la presente invención no necesitan construirse para una baja resistencia eléctrica, ya que no se utilizan como parte de un dispositivo destinado principalmente a una fusión eléctricamente eficiente. Por lo tanto, se puede usar ventajosamente una densidad de corriente más alta (por ejemplo, 50 A/mm² frente a valores típicos de 1-10 A/mm²), lo que resulta en conductores de diámetro proporcionalmente más pequeños que pueden proporcionar más espiras en una altura dada bobina, con un aumento correspondiente en la intensidad del campo magnético. También se pueden usar ventajosamente capas simples, dobles o más de bobinas para lograr intensidades de campo magnético aún mayores sobre la altura de los medios de filtro. También se pueden usar bobinas de inducción con más de 3 capas, pero con beneficios decrecientes de la fuerza adicional del campo magnético.

En una realización, el medio de filtro es sustancialmente horizontal y está rodeado por una bobina de inducción. La bobina de inducción se coloca para extenderse sobre la superficie superior del elemento de filtro, lo que coloca la parte superior del filtro dentro de la zona de alta densidad de flujo magnético longitudinal. La densidad de flujo del campo magnético es muy fuerte en toda la altura de la bobina, pero se disipa rápidamente después de la última espira de la bobina.

Otro aspecto de la invención presenta metal vertido sobre el filtro hasta al menos tan alto como la parte superior de la bobina. En una realización preferente, el metal es sustancialmente más alto que la parte superior de la bobina para evitar la formación de un menisco metálico significativo y para reducir el potencial de oxidación del metal durante el cebado. El campo magnético de la bobina induce corrientes de Foucault en el metal que se encuentra en los medios de filtro, que interactúan con el fuerte campo magnético de la bobina, para producir poderosas fuerzas de Lorentz. La profundidad a la que pueden producirse estas fuerzas se mejora mediante el uso de una frecuencia alterna baja en la corriente de excitación de la bobina. Un elemento de filtro con una anchura grande requerirá el uso de una frecuencia más baja para lograr resultados similares a los de un filtro de anchura más pequeña.

La eficiencia de calentamiento de la bobina aumenta con la frecuencia. En un aspecto de la invención, la frecuencia de la corriente de excitación de la bobina está preferentemente entre 1 y 60 Hz, y más preferentemente entre 50 y 60 Hz. Este intervalo de frecuencia proporciona una combinación óptima de agitación y calentamiento. Opcionalmente, se pueden usar frecuencias más altas si se requiere un mayor grado de calentamiento para volver a fundir el metal congelado en medios de filtro usados previamente. En una realización preferente, se selecciona el radio de un filtro redondo o la anchura de un filtro rectangular o cuadrado, de modo que la frecuencia de línea eléctrica estándar de 50 o 60 Hz se puede utilizar para proporcionar un efecto beneficioso óptimo.

La bobina y el aparato de filtro puede tener una sección redonda, cuadrada o rectangular sin desviarse del propósito de esta invención. Una forma rectangular tiene la ventaja de que el área total del filtro se puede maximizar, mientras se minimiza la anchura en el que se debe hacer que penetre el campo magnético. Una forma rectangular puede eliminar la necesidad de usar frecuencias por debajo de la frecuencia de línea (50 o 60 Hz), en la que se vuelven necesarias las costosas fuentes de alimentación de estado sólido.

Las fuerzas de Lorentz se producen inicialmente solo en el metal y no en los medios de filtro eléctricamente no conductores. Por lo tanto, existe una gran vorticidad inicial en el campo de fuerza de Lorentz, lo que provoca la rotación del metal y el impacto sobre la superficie del elemento de filtro. Es el impulso del metal que impacta lo que fuerza al metal hacia el interior del filtro.

Los inventores han encontrado que, dentro del medio de filtro, el flujo de corriente se inhibe en un grado sorprendente por la presencia de la matriz cerámica. Como resultado, fluye menos corriente dentro del filtro que en el metal sobre o debajo del filtro, reduciendo así la magnitud de las fuerzas de Lorentz. La conductividad eléctrica efectiva reducida en el filtro asegura que continúe existiendo una vorticidad sustancial en las fuerzas de Lorentz hasta y más allá del punto de cebado completo del filtro. El resultado es que el metal es forzado dentro y a través de los medios de filtro. Los filtros de mayor densidad de poros, por ejemplo, 50 y 80 PPI, tienen una mayor resistividad, lo que aumenta la vorticidad en las fuerzas de Lorentz y proporciona las fuerzas impulsoras aumentadas para cebar estos elementos de filtro 'más ajustados'.

Si el medio de filtro no está precalentado, el metal líquido se congelará inicialmente en la superficie del medio de filtro. Dado que el metal sólido tiene una conductividad eléctrica sustancialmente más alta que el metal líquido a la misma temperatura (aproximadamente un factor de dos para el aluminio), el sólido conducirá preferentemente corriente, mientras que al mismo tiempo se ve afectado por el metal líquido que fluye rápidamente. Al verse obligado a permanecer estacionario y dentro de la altura del inductor, experimentará un calentamiento continuo hasta que se licue. En una realización preferente, el elemento de filtro se precalienta por medios convencionales para reducir las tensiones térmicas a fin de evitar el agrietamiento. Sin embargo, el precalentamiento no es un requisito para el cebado, incluso para elementos de filtro muy ajustados de 80 PPI.

Una vez que el medio de filtro se llena sustancialmente con metal, se puede detener la excitación de la bobina. Posteriormente, se pueden usar procedimientos de colada convencionales. Al finalizar el procedimiento de fundición por lotes, es típico deshacerse del medio de filtro porque es difícil de reutilizar en ausencia de flujo continuo de metal.

Un elemento de filtro usado puede reutilizarse hasta que su capacidad para eliminar inclusiones se agote por completo. Un elemento de filtro usado puede reutilizarse aplicando un período de calentamiento inductivo antes de cebar con metal líquido o manteniendo el filtro lleno de metal líquido entre moldes mediante el calentamiento continuo por inducción. En un aspecto, se usa ventajosamente una corriente de excitación superior a 60 Hz. Esto utiliza una fuente de alimentación de doble frecuencia, que opcionalmente podría combinarse con una segunda bobina específicamente diseñada para la operación de fusión.

Referencias

15	3,893,917	7/1975	Pror <i>et al.</i>	210/69
	4,081,371	3/1978	Yarwood <i>et al.</i>	210/69
	4,834,876	5/1989	Walker	210/185
20	4,837,385	6/1989	Conti <i>et al.</i>	210/695
	4,872,908	10/1989	Enright <i>et al.</i>	75/68
25	7,666,248	2/2010	Belley <i>et al.</i>	75/407
	09/867,144	12/2002	Quackenbush	210/510.1
	4,909,836	03/1990	El-Kaddah	75/10.67

Breve descripción de los dibujos

Los archivos de la patente o solicitud contienen al menos un dibujo ejecutado a color.

35 La Figura 1 es un dibujo esquemático de una realización de la presente invención.

La Figura 2 es una imagen de Microscopio Electrónico de Barrido que muestra la estructura relativamente abierta de un nuevo Filtro de Espuma Cerámica de 30 PPI.

40 La Figura 3 es una imagen de Microscopio Electrónico de Barrido que muestra la estructura relativamente cerrada perpendicular a la dirección normal del flujo de metal de un nuevo Filtro de Espuma Cerámica de 80 PPI.

45 La Figura 4 representa una fotografía de un ejemplo no limitante de cebado de un filtro de cerámica de 30 PPI de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 5 representa una fotografía de un ejemplo no limitante de cebado de un filtro de cerámica de 30 PPI de acuerdo con una realización de la presente invención.

50 La Figura 6 representa una fotografía de cebado incompleto de un filtro de cerámica de 30 PPI sin la presencia de una bobina de inducción.

La Figura 7 es un gráfico que muestra los datos registrados para el EJEMPLO 1.

55 La Figura 8 es un gráfico que muestra los datos registrados para el EJEMPLO 2.

La Figura 9 es un gráfico que muestra los datos registrados para el EJEMPLO 3.

60 La Figura 10 representa una fotografía de un ejemplo no limitante de cebado de 50 PPI FEC de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 11 representa una fotografía de cebado insignificante de un FEC de 50 PPI sin la presencia de una bobina de inducción.

65 La Figura 12 representa una fotografía de un ejemplo no limitante de cebado de 80 PPI FEC de acuerdo

con una realización de la presente invención.

La Figura 13 es una fotografía que muestra un cebado insignificante de un FEC de 80 PPI sin la presencia de una bobina de inducción.

5

Descripción detallada de la invención

Con el objeto de promover una comprensión de los principios de la invención, ahora se hará referencia a las realizaciones ilustradas en los dibujos. Sin embargo, se entenderá que no se pretende ninguna limitación del ámbito de la invención por la ilustración y la descripción de ciertas realizaciones de la invención. Además, se considera que cualquier alteración y/o modificación de las realizaciones ilustradas y/o descritas está dentro del ámbito de la presente invención. Además, cualquier otra aplicación de los principios de la invención, como se ilustra y/o describe en la presente memoria descriptiva, como se le ocurriría normalmente a un experto en la técnica a la que pertenece la invención, se contempla dentro del ámbito de la presente invención.

10

15

La Figura 1 muestra un 'recipiente' de filtro convencional 1 como se usa usualmente con los filtros de espuma cerámica. La Figura 1 se modifica adecuadamente de acuerdo con la presente invención para incluir una bobina de inducción 2. Una bobina de inducción 2 de dos capas se muestra en la Figura 1. También se podría usar una bobina de capa simple, doble o más sin cambiar el propósito de la invención.

20

Se muestra un elemento 3 de Filtro de Espuma Cerámica convencional instalado dentro de la bobina de inducción 2. Alternativamente, dos o más elementos de filtro podrían apilarse sin desviarse del propósito de la presente invención, siempre que la bobina 2 se extienda por encima de la superficie superior de la parte superior del filtro 3 por una espira de la bobina o al menos 5% y preferentemente 10% del radio de la bobina, como se indica por la línea punteada 13 en la Figura 1.

25

La bobina de inducción 2 se coloca preferentemente lo más cerca posible del borde del filtro 3 para lograr los resultados más ventajosos del campo magnético. Debe dejarse un espacio adecuado para el material de junta 4 para evitar fugas del metal líquido alrededor del filtro 3 y para el aislamiento térmico y el material refractario 5. Debe haber suficiente aislamiento térmico y material refractario para evitar el contacto del metal caliente en la parte superior del recipiente 6 o porción de descarga del recipiente 7, con la bobina 2 o con los cables de bobina 8. Los expertos en la técnica entienden que se debe usar un medio de enfriamiento adecuado (orgánico o agua) en combinación con los cables de bobina 8 y la bobina 2, para evitar el sobrecalentamiento eléctrico o térmico y daños a los conductores eléctricos.

30

35

Se debe evitar el contacto entre los conductores 8 y entre las capas de la bobina 2 para evitar cortocircuitos eléctricos de la corriente de excitación.

Para poder funcionar como dispositivo de filtración, el recipiente debe estar equipado con un alimentador de metal líquido adecuado 9 y medios de descarga 10. Los lados 11 y el fondo 12 del recipiente deben estar diseñados con medios refractarios adecuados para mantener el equilibrio térmico del metal a filtrar. El filtro 3 puede precalentarse por medios convencionales para evitar un choque térmico excesivo antes de su uso.

40

En una realización preferente de la invención, se imprime una corriente en la bobina de inducción de magnitud suficiente para generar una densidad de flujo magnético promedio de 0,05-0,25 T, a lo largo de la anchura del filtro sin cebar. La frecuencia de la corriente de excitación de la bobina está preferentemente entre 1 y 60 Hz. La frecuencia de la corriente de excitación de la bobina está preferentemente en un intervalo en el que la proporción entre la profundidad de penetración electromagnética (δ) en el metal líquido en la porción superior del recipiente 6 y el radio o anchura promedio del filtro 3 está entre preferentemente 0,5 y 3,0, y más preferentemente entre 0,7 y 1,4, para lograr una penetración magnética suficientemente alta y evitar un calentamiento excesivo.

45

50

En una realización preferente, se agrega metal líquido a la parte superior del recipiente 6 a través de la entrada 9 con corriente aplicada a la bobina 2. Alternativamente, primero se agrega metal líquido, y luego se aplica corriente a la bobina 2. En la realización, el metal líquido llena la porción superior del recipiente 6 hasta una altura suficiente durante la última espira de la bobina 2, de modo que se evita que se forme un menisco electromagnético. Esta realización también evita la oxidación excesiva del metal durante el cebado.

55

El cebado electromagnético se puede lograr con un mínimo de metal líquido sobre la superficie superior del filtro. Preferentemente, una altura de metal líquido de aproximadamente 5-10 cm se encuentra sobre la espira superior de la bobina 2. Alternativamente, se prefieren presiones metalostáticas de aproximadamente 1,1 a 3,6 kPa para lograr un cebado adecuado de los filtros FEC entre 30 y 80 PPI, mientras se evita un exceso formación de meniscos, y usando densidades de flujo magnético promedio en el intervalo de 0,1-0,2T en el espacio entre la bobina y el filtro.

60

En un aspecto de la invención, la corriente continúa durante períodos de tiempo de aproximadamente 30

65

segundos hasta aproximadamente 10 minutos, e incluso más preferentemente a aproximadamente 3-6 minutos. Una vez que se ha logrado un cebado adecuado, la corriente de excitación a la bobina 2 puede interrumpirse.

Una vez que se ha usado un elemento de filtro 3, se puede reutilizar opcionalmente usando primero la bobina de inducción 2 para volver a fundir el metal congelado en los poros del filtro 3. Los expertos en la técnica entienden que una frecuencia más alta es ventajosa para la fusión. Se puede aplicar una frecuencia > 60 Hz. Por lo tanto, una fuente de alimentación de doble frecuencia se puede usar de manera beneficiosa con el presente procedimiento. Una persona experta en la técnica puede especificar la frecuencia, la corriente y el tiempo para lograr la fusión deseada en la cantidad de tiempo correcta, sin sobrecalentamiento significativo y posible daño a los elementos del filtro, mientras se logra una alta eficiencia eléctrica. Opcionalmente, una segunda bobina puede diseñarse e instalarse coaxialmente a la bobina 2 para lograr una fusión aún más energéticamente eficiente.

La presente invención se puede entender mejor con referencia a ejemplos específicos. Estos ejemplos son ilustrativos y no pretenden restringir la aplicabilidad de la presente invención. Estos ejemplos se realizaron usando varias bobinas diferentes como se indica en la TABLA I. Estas bobinas se operaron a 50 Hz usando corrientes aplicadas como se indica en los diversos ejemplos.

TABLA I

Bobinas:	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3
Número de capas	2	1	2
Diámetro interior, mm	126	126	127
Diámetro promedio, mm	140	132	142
Altura, mm	107	111	116
Diámetro del tubo de cobre de la bobina, mm	6	6	6
Espesor del tubo de cobre de la bobina, mm	1	1	1
Número de espiras	31,0	16,5	31,0
Inductancia medida de la bobina vacía, µH	103,3	27,6	101,5

Las dimensiones nominales del filtro de 100-105 mm de diámetro y 50 mm de espesor se utilizaron en estos ejemplos. Se utilizaron elementos comerciales de 30, 50 y 80 PPI de Filtro de Espuma Cerámica (FEC). Las imágenes SEM de FEC comerciales de 30 y 80 PPI se muestran en las Figuras 2 y 3. Se puede apreciar claramente en estas figuras que el FEC de 30 PPI tiene una estructura muy abierta, mientras que el tamaño de poro y ventana del FEC de 80 PPI se reduce mucho. La estructura abierta del FEC de 30 PPI permite un cebado muy fácil con una cabeza de metal baja y menos precalentamiento, pero también reduce la eficiencia de filtración, especialmente para inclusiones finas en el metal líquido. Es más difícil lograr que el metal penetre y elimine el aire de la estructura cerrada y apretada del FEC de 80 PPI, lo que requiere mayores alturas de cebado del metal, como es bien conocido por los expertos en la técnica.

Se usó una aleación de fundición de aluminio estándar, A356 en todos los ejemplos, a los que se añadieron diversos niveles de contaminantes. Se agregó 1,5% en peso (EJEMPLOS 4-6) - 3% en peso (EJEMPLOS 1-3) de SiC, usando partículas de SiC de 13-23 micras incrustadas en una matriz de aleación de A356. En los EJEMPLOS 1-3, también se añadieron partículas de óxido mediante la adición de 20% en peso de placas de aluminio anodizado y lacado.

Ejemplo 1

Se creó un recipiente de filtro a escala de laboratorio al cementar un diámetro nominal de 105 mm de diámetro, FEC de 30 PPI en dos secciones de crisoles aislantes de fibra de 150 mm de largo por 4 pulgadas de diámetro, de modo que la línea media de la bobina 1 coincidiera con la parte inferior del FEC y aproximadamente una sola espira de la bobina se encontraba sobre la superficie superior del FEC. El fondo del recipiente se construyó a partir de una placa cerámica densa, de ~25 mm de espesor, en la que se había perforado un orificio de descarga de 3,2 mm de diámetro.

El filtro fue precalentado a una temperatura roja brillante usando un quemador de propano portátil. Se aplicó una corriente RMS de 731 A a la bobina 1 a 50 Hz. La aleación de aluminio A356, que contiene partículas de SiC y óxido y a una temperatura de vertido inicial nominal de 750 °C (medida por termopar de inmersión segundos antes del vertido) se agregó a la parte superior del recipiente hasta un nivel de 100 mm por encima de la parte superior del FEC. Este nivel se mantuvo hasta que el crisol de alimentación se vació después de 110 segundos. La energía se interrumpió después de 260 segundos, cuando el aluminio ya no se descargaba por el orificio de salida. La temperatura medida sobre y debajo del filtro y la velocidad de descarga del aluminio se registraron como datos como se indica en la FIGURA 7. El efecto de calentamiento de la bobina de inducción se ilustra claramente en la FIGURA 13, con la temperatura más baja aumentando con el tiempo, incluso a medida que

disminuye la temperatura del metal sobre el filtro. La corriente promedio de la bobina durante la filtración fue de 715 A, debido a la mayor resistencia eléctrica causada por el metal líquido. Este efecto está presente en todos los ejemplos y bien conocido por los expertos en la técnica.

5 El filtro se seccionó posteriormente usando corte abrasivo con agua, debido a la alta concentración de partículas de SiC extremadamente duras y abrasivas. Una sección se muestra como la Figura 4. Las áreas que contienen alta porosidad de gas y que exhiben una baja humectación metal-cerámica fueron eliminadas durante el procedimiento de corte. En este ejemplo, en el que el filtro se preparó con un campo magnético "fuerte", se eliminó muy poco material y se observó una buena humectación tanto macroscópica como microscópica durante
10 el posterior análisis metalográfico con un microscopio electrónico de barrido.

Ejemplo 2

15 Se construyó un aparato usando la bobina 2, pero por lo demás idéntico al Ejemplo 1. El filtro se precalentó de manera similar. Se aplicó una corriente RMS de 956 A a la bobina 2. Se añadió la misma receta de aleación, SiC y óxido, a una temperatura nominal de vertido de 750 °C. La temperatura sobre y debajo del filtro y la velocidad de descarga del aluminio se midieron nuevamente como se muestra en la Figura 8. El crisol de alimentación se vació después de 110 segundos y la energía se interrumpió después de 215 segundos. Este elemento de filtro, que había sido cebado con un campo magnético 'débil', se cortó nuevamente utilizando un corte abrasivo con
20 agua y, en este caso, se observó una porosidad mucho mayor y menos humectación de la cerámica, como se indica por la pérdida de material cerámico durante el corte, que se muestra claramente en la Figura 5.

Ejemplo 3

25 Se construyó un aparato sin una bobina de inducción, pero por lo demás idéntico a los Ejemplos 1 y 2. El filtro se precalentó hasta que se puso rojo brillante y nuevamente se usó la misma receta de alimentación y temperaturas de vertido objetivo. El nivel de cebado del metal se mantuvo a 100 mm sobre el elemento de filtro durante 145 segundos hasta que se vació el crisol de alimentación. La temperatura superior, inferior y la velocidad de
30 descarga del aluminio se midieron nuevamente como se muestra en la Figura 9. Una sección del elemento de filtro se ilustra en la Figura 6, que muestra la muy alta porosidad y muy poca humectación del elemento de filtro, en comparación con las Figuras 4 y 5 de los Ejemplos 1 y 2. La mala preparación del filtro también se indica por la velocidad de descarga reducida del metal para la misma cabeza metalostática sobre el filtro y el mismo tamaño del orificio de descarga. Los resultados de cebado fueron mejores con el campo "fuerte", menos buenos con el campo "débil" y los más pobres sin campo magnético.
35

Ejemplo 4

40 Se construyó un aparato similar a los Ejemplos 1-3, pero sin un orificio de descarga en la placa inferior. Se usó la bobina número 3. Se colocó un Filtro de Espuma Cerámica (FEC) comercial de 50 PPI, de 100 mm de diámetro, de modo que la parte inferior del filtro estuviera a la misma elevación que la línea media de la bobina y la bobina se extendió aproximadamente una espira por encima de la superficie superior del filtro de 50 mm de espesor. Se usó una alimentación que consistía en aleación de aluminio A356 y 1,5% en peso de SiC. El filtro no fue precalentado. La porción superior del recipiente de filtro se llenó con el material de alimentación de aluminio líquido a una temperatura de vertido nominal de 750 °C, hasta un nivel de 100 mm sobre la superficie superior
45 del elemento del filtro. Luego se aplicó una corriente de excitación de 738 A a la bobina. Durante aproximadamente 20 segundos, se introdujo metal en el filtro y se añadió metal para mantener una altura casi constante de 100 mm sobre el filtro (104 mm medidos después de la congelación). La corriente se mantuvo durante exactamente 180 segundos. La potencia se detuvo y la muestra se solidificó. El elemento de filtro se seccionó luego usando una cuchilla de acero. La sección pulida se muestra en la Figura 10, que muestra una
50 muy baja porosidad y una penetración completa del metal del elemento de filtro.

Ejemplo 5

55 Se construyó un aparato sustancialmente idéntico al del Ejemplo 4, pero sin una bobina de inducción. Se utilizó la misma receta de alimentación y el mismo procedimiento de llenado. Nuevamente, no se aplicó precalentamiento del elemento de filtro. Después de llenar hasta 100 mm sobre la parte superior del FEC, no se observó disminución en la altura del metal. Al desmontar el aparato, el elemento de filtro se separó de los 100 mm de metal, que se congeló sobre el filtro y se observó que solo se había producido una penetración muy pequeña de metal (< 20 mm) como se muestra en la Figura 11. El equilibrio del medio de filtro estaba
60 completamente desprovisto de metal y, por lo tanto, el cebado había fallado. La diferencia en los resultados entre los Ejemplos 4 y 5 fue dramática, y la única diferencia sustancial en la ejecución fue un campo magnético 'fuerte' en el caso del Ejemplo 4 y ningún campo magnético en el Ejemplo 5.

Ejemplo 6

65

Se construyó un aparato sustancialmente idéntico al de los Ejemplos 4 y 5, pero usando un FEC de 80 PPI, en lugar de un FEC de 50 PPI. Se usaron los mismos procedimientos y la receta de alimentación del Ejemplo 4. Después de llenar con aleación líquida a 100 mm sobre la parte superior del filtro, se aplicó una corriente de excitación de 747 A a la bobina 3. Durante un período de aproximadamente 30-40 segundos, se introdujo metal en el elemento del filtro y se agregó metal sobre el filtrar para mantener un nivel de 100 mm (99 mm medidos después de la congelación). La corriente se mantuvo nuevamente durante exactamente 180 segundos. La potencia se detuvo y la muestra se solidificó. Este elemento de filtro se cortó utilizando un corte abrasivo con agua. El cebado fue extremadamente exitoso como lo indica la penetración completa del metal, la baja porosidad del gas y la buena humectación que se muestra en la Figura 12)

Ejemplo 7

Se construyó un aparato sustancialmente idéntico al del Ejemplo 6, pero sin una bobina de inducción. Se volvieron a utilizar los mismos procedimientos de llenado y receta de alimentación. Se añadió aleación de aluminio líquido que contenía partículas de SiC sobre el elemento de filtro de 80 PPI hasta una altura de aproximadamente 100 mm. No se detectó disminución en la altura del metal. La muestra se solidificó posteriormente. En el desmontaje, el metal que se extendía 103 mm sobre la parte superior del elemento del filtro, se separó del resto del filtro, que estaba completamente libre de metal. Aproximadamente 0-5 mm de material de filtro permanecieron unidos al metal congelado, como se muestra en la Figura 13. Se concluyó que el cebado había fallado por completo. Nuevamente, la única diferencia sustancial entre el Ejemplo 6 y 7 fue que en el Ejemplo 6 se había usado un campo magnético "fuerte" y en el Ejemplo 7 no se aplicó ningún campo magnético.

La presencia del campo magnético fuerte en los Ejemplos 4 y 6 fue responsable del buen cebado incluso en ausencia de precalentamiento del filtro. La falta de campos magnéticos, combinada con ningún precalentamiento y la baja altura metalostática sobre los filtros en los Ejemplos 5 y 7 resultaron en una falla de cebado.

Debe entenderse que los ejemplos y realizaciones descritos en la presente memoria descriptiva únicamente tienen fines ilustrativos y que diversas modificaciones o cambios a la luz de los mismos serán evidentes para los expertos en la técnica y se incluirán dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para cebar un filtro de cerámica eléctricamente no conductor para la eliminación de inclusiones sólidas del metal líquido, en el que dicho filtro está contenido en un recipiente de filtro y está rodeado por una bobina de inducción cuyo eje está sustancialmente alineado con la dirección del flujo de metal neto deseado, comprendiendo dicho procedimiento:
 - a) aplicar una corriente de excitación alterna a la bobina de inducción;
 - b) agregar suficiente metal líquido para cubrir un lado aguas arriba del elemento de filtro;
 - c) permitir que las corrientes inducidas en el metal líquido por la bobina y el campo magnético de la bobina creen fuerzas de Lorentz que presionen y agiten el metal líquido, de modo que el metal líquido se presione en la cerámica, por lo tanto, cebando el filtro; y
 - d) interrumpir la corriente de excitación una vez que se haya obtenido un grado predeterminado de cebado.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el diseño de la bobina y la magnitud de la corriente aplicada generan una intensidad de campo magnético promedio de al menos 0,05T, por ejemplo, entre 0,05 y 0,25T, por ejemplo, entre 0,1 y 0,2T, en un espacio entre la bobina y el filtro de cerámica.
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el metal líquido es una aleación de aluminio.
4. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el metal líquido se agrega primero al recipiente del filtro y luego se aplica corriente a la bobina de inducción.
5. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el filtro de cerámica eléctricamente no conductor es un filtro de espuma cerámica de entre 30 y 80 PPI y 25-75 mm de espesor.
6. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que 2 o más filtros de espuma cerámica se combinan hasta un espesor total de 50-150 mm.
7. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la bobina se extiende al menos una espira y entre 5 y 10% del radio de la bobina, pero menos de la mitad de la longitud total de la bobina, sobre la superficie superior de la parte superior del filtro.
8. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el metal se extiende entre 5 y 15 cm sobre la parte superior de la bobina.
9. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la frecuencia aplicada a la bobina de inducción está entre 1-60 Hz, por ejemplo, seleccionada para proporcionar una proporción de profundidad de penetración electromagnética entre 0,5 y 3,0 y preferentemente entre 0,7 y 1,4.
10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la frecuencia de línea eléctrica local se puede usar ajustando la anchura o el diámetro del elemento de filtro para lograr las proporciones preferentes.
11. Un aparato para cebar un filtro, que comprende:
 - un elemento de filtro 3 contenido en un recipiente de filtro 1 configurado para recibir un flujo de metal líquido;
 - una bobina de inducción 2, tal como una bobina de capa única o una bobina de múltiples capas, que rodea el elemento de filtro 3, en el que dicha bobina de inducción 2 está alojada en un separador que separa la bobina de inducción 2 del flujo de metal líquido y está configurada para producir un campo magnético, estando un eje de la bobina de inducción 2 sustancialmente alineado con una dirección de introducción del flujo de metal líquido; y
 - una junta 4 configurada para proporcionar un recinto seguro para una circunferencia del elemento de filtro 3.
12. El aparato de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la bobina de inducción 2 se extiende, a lo largo del eje, por encima de una superficie superior, frente al flujo de metal líquido, del elemento de filtro 3.
13. El aparato de acuerdo con la reivindicación 12, que además comprende:
 - un alimentador de metal líquido configurado para conducir la alimentación de metal líquido hacia el elemento de filtro 3; y un dispositivo de descarga 10; y/o

- un dispositivo de precalentamiento configurado para precalentar el elemento de filtro antes de introducir el flujo de metal líquido.

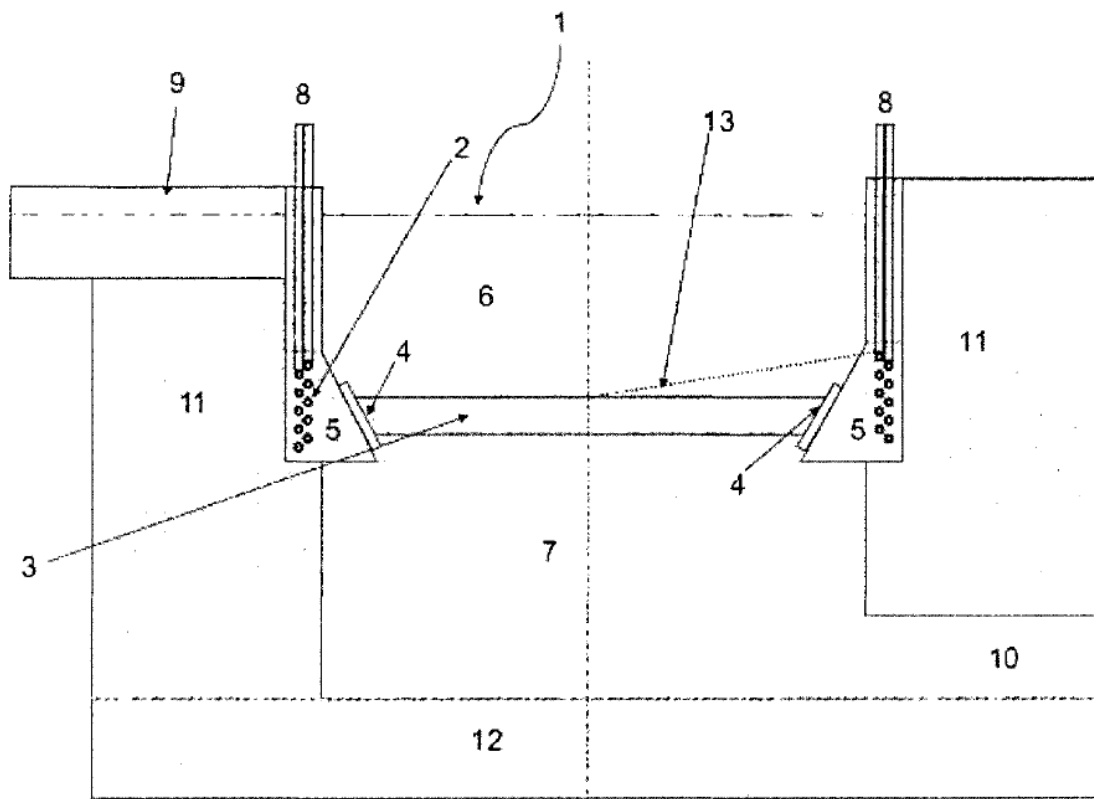


FIG. 1

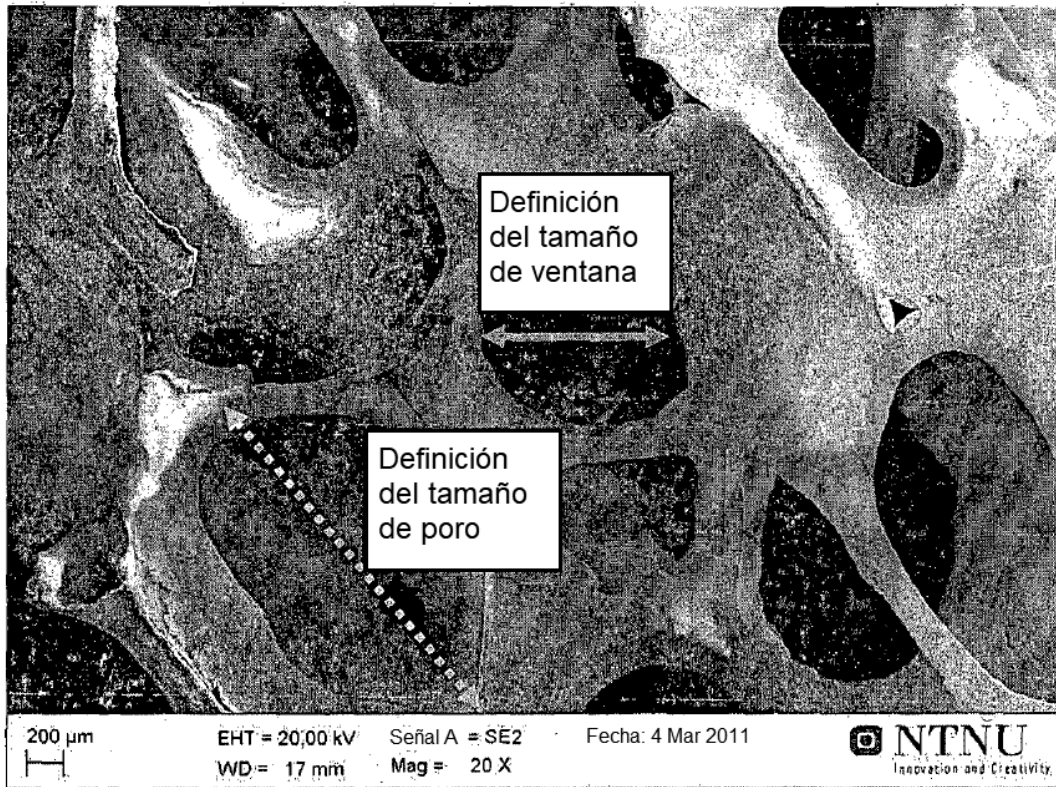


FIG. 2

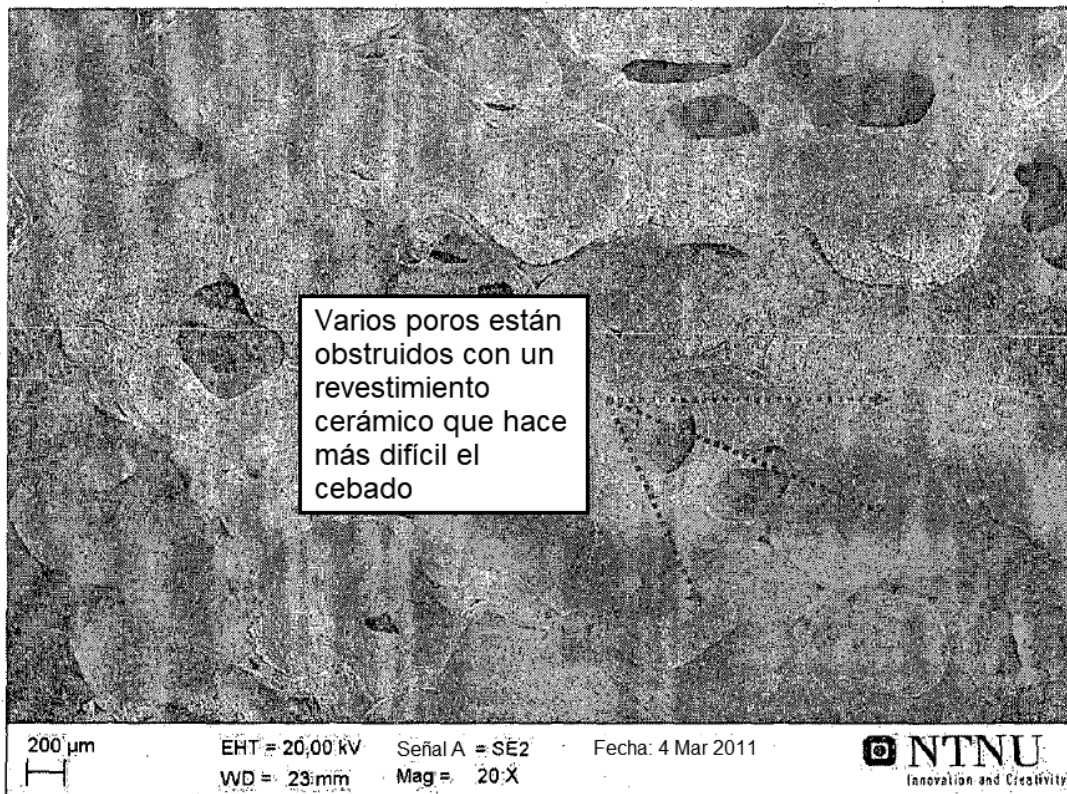


FIG. 3

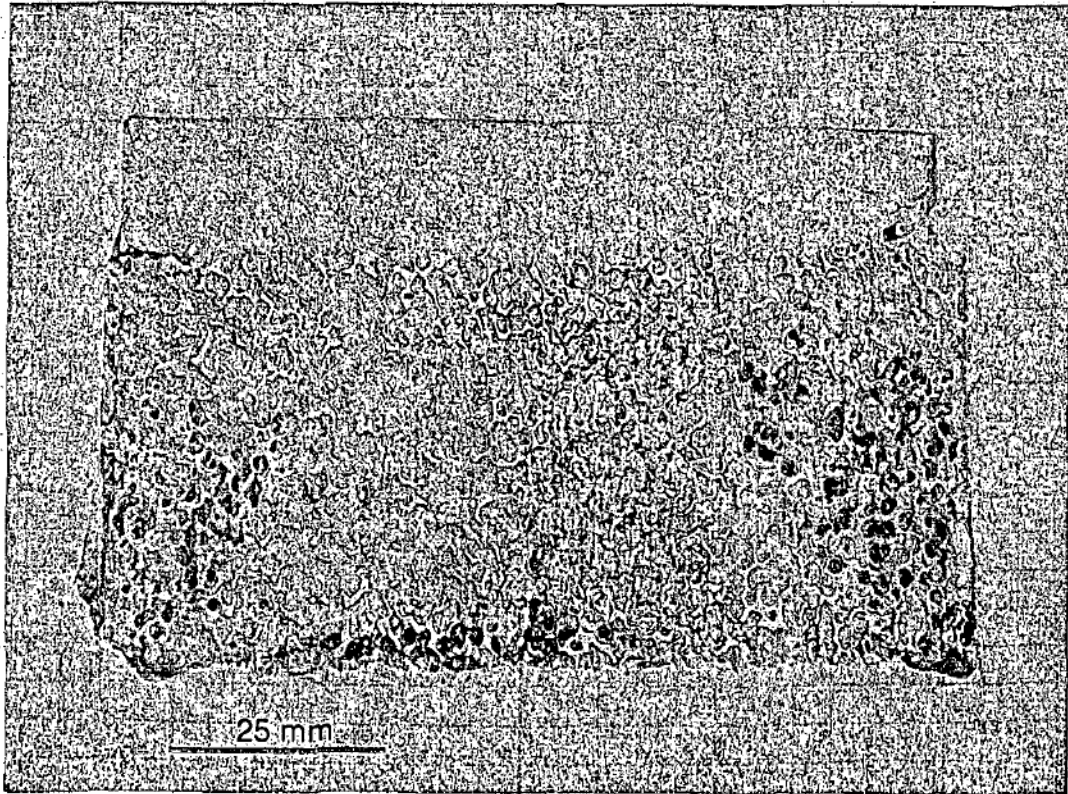


FIG. 4

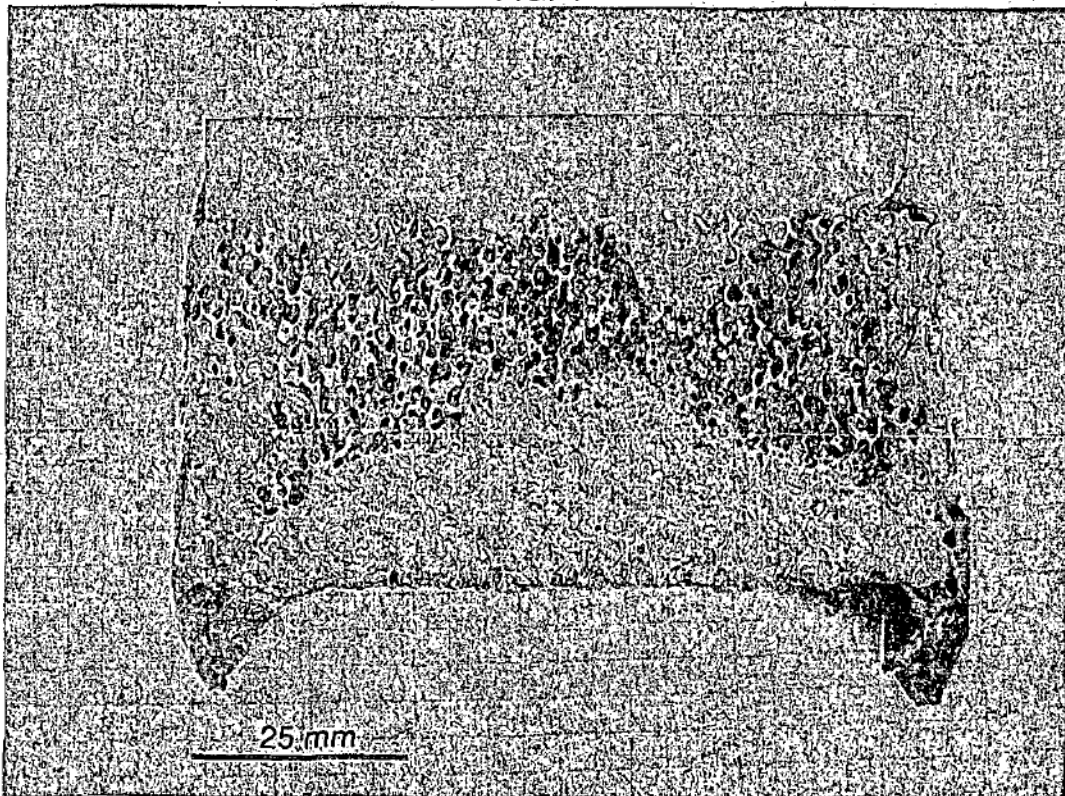


FIG. 5

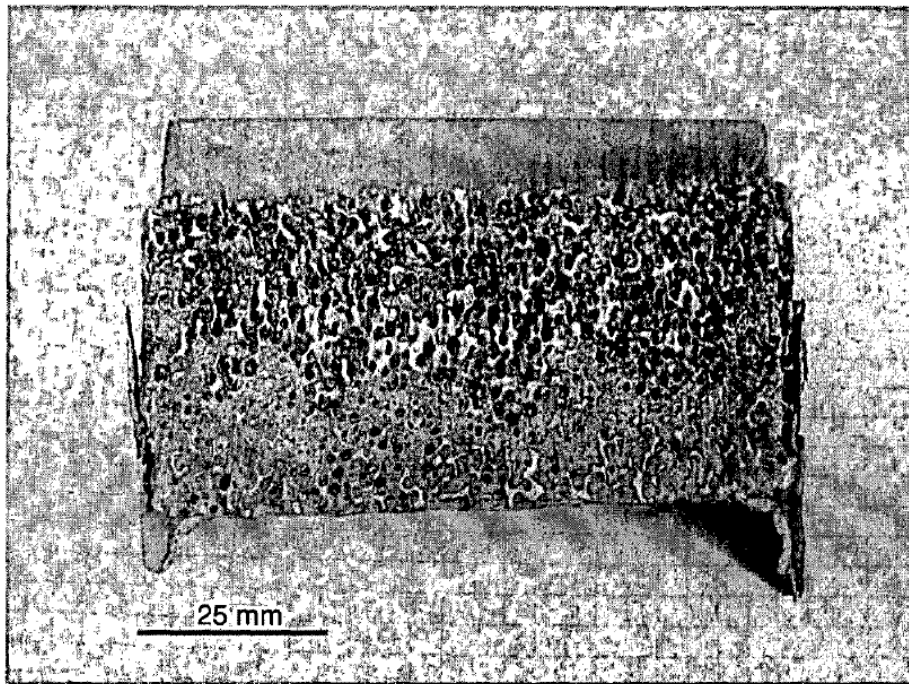


FIG. 6

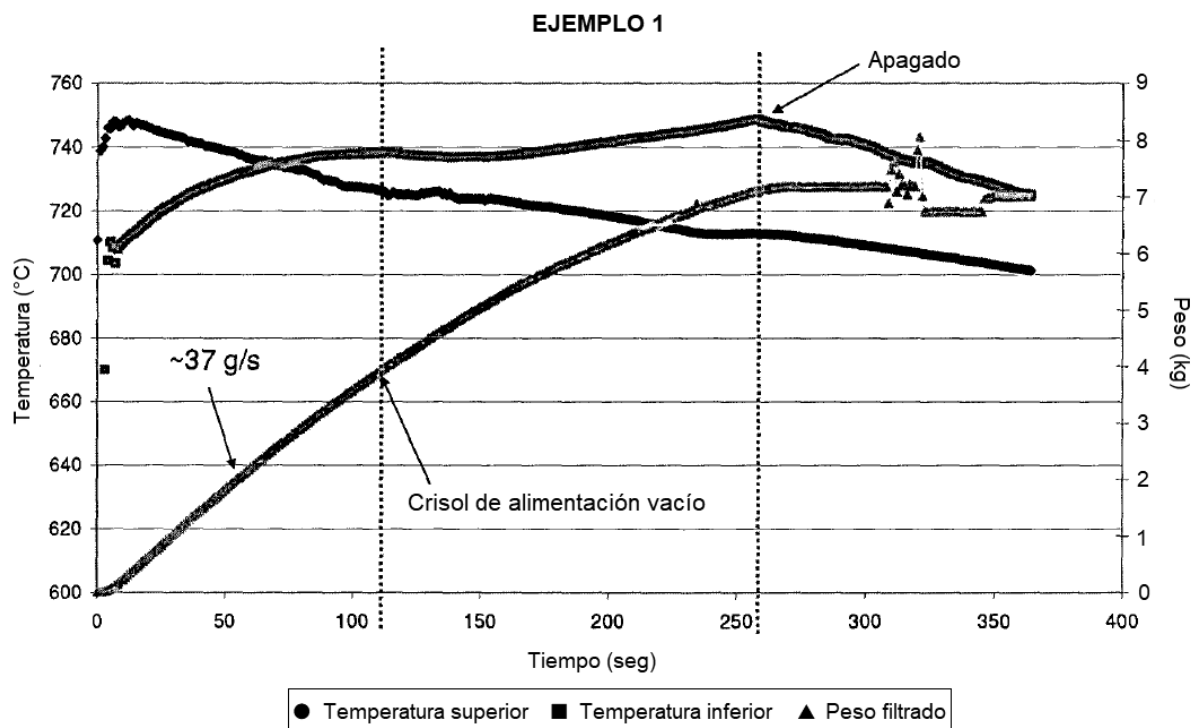


FIG. 7

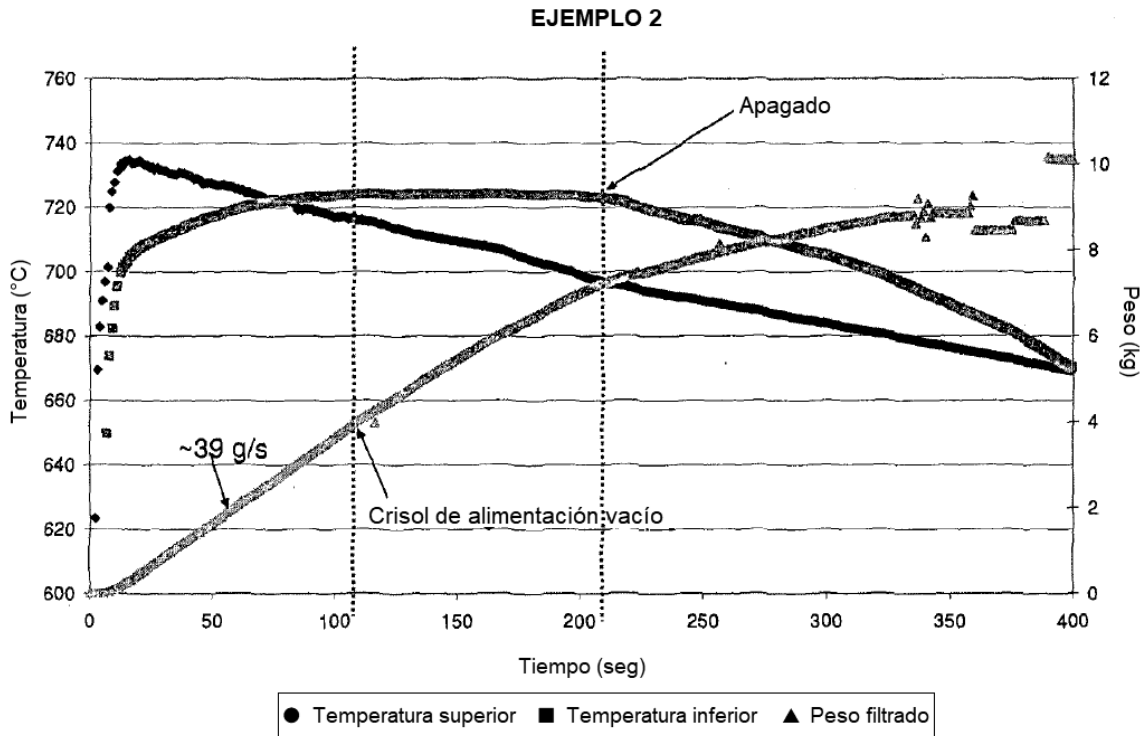


FIG. 8

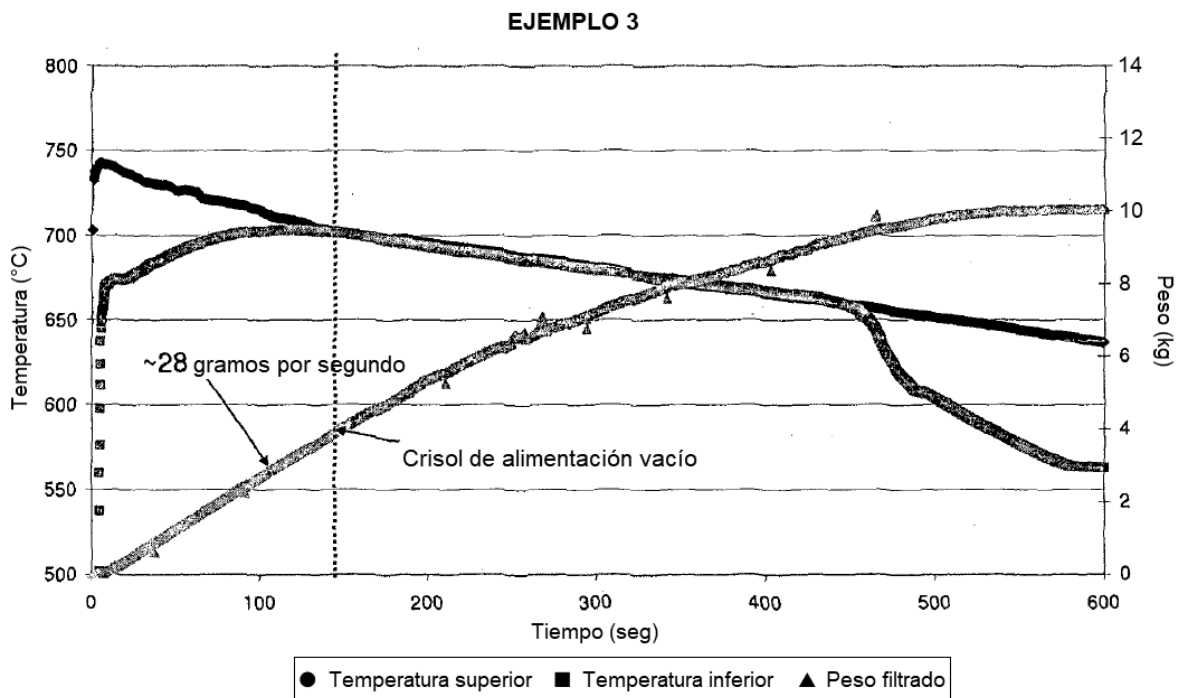


FIG. 9

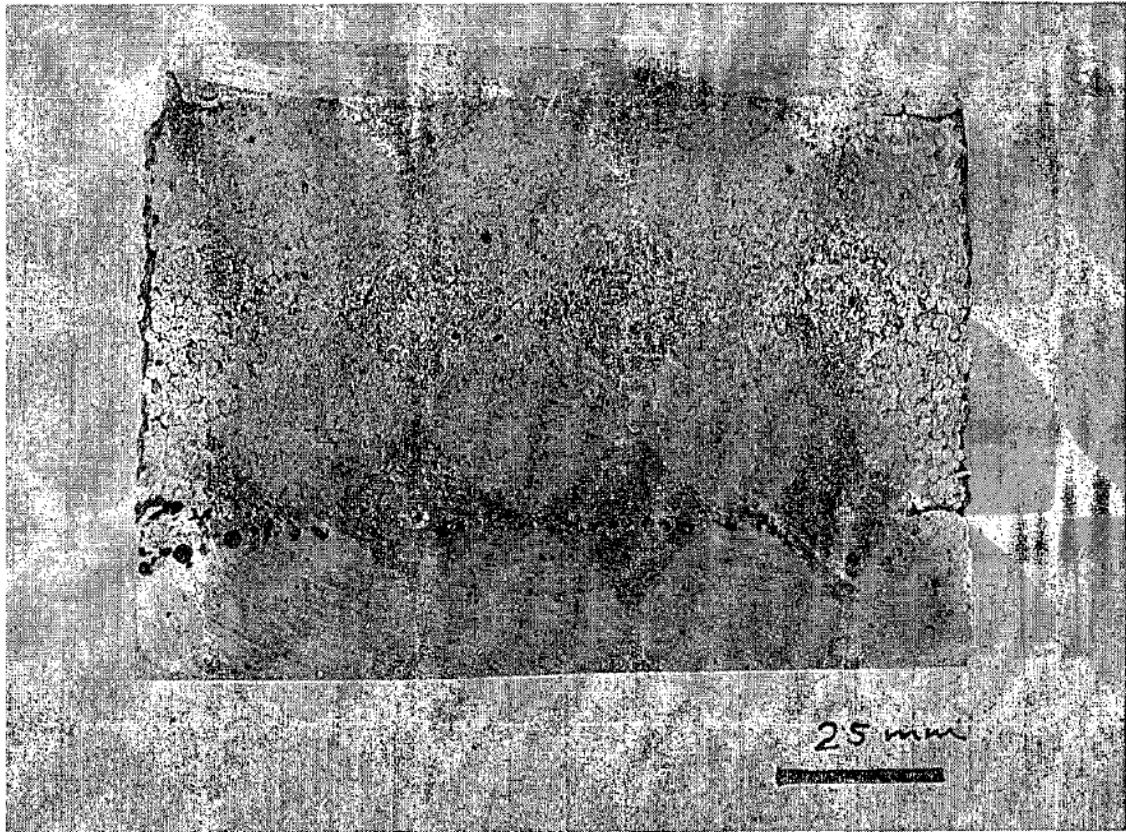


FIG. 10

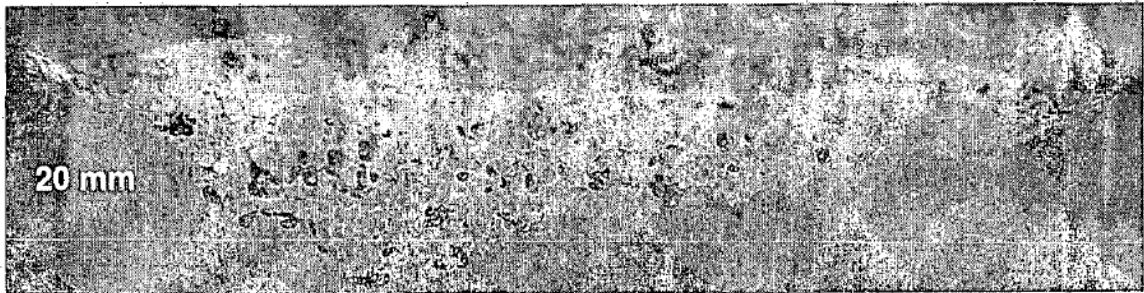


FIG. 11

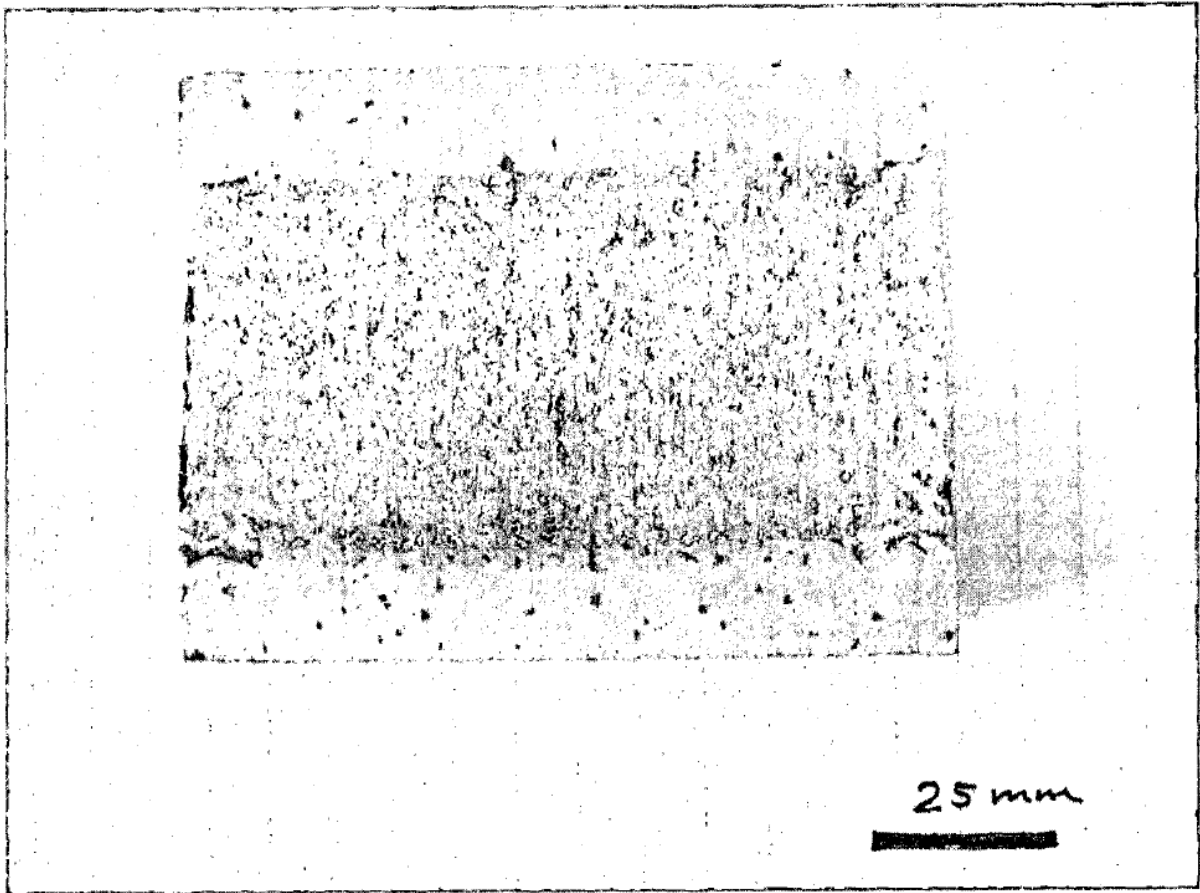


FIG. 12



FIG. 13