

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 772**

51 Int. Cl.:

C22C 1/08 (2006.01)

C22C 32/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2002** **E 02450137 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015** **EP 1266973**

54 Título: **Procedimiento para la producción de un cuerpo moldeado de peso ligero y cuerpo moldeado de espuma metálica**

30 Prioridad:

15.06.2001 AT 9352001

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

15.04.2015

73 Titular/es:

**HÜTTE KLEIN-REICHENBACH GESELLSCHAFT
M.B.H. (100.0%)
KLEINREICHENBACH 25
3900 SCHWARZENAU, AT**

72 Inventor/es:

**DOBESBERGER, FRANZ;
FLANKL, HERBERT;
LEITLMEIER, DIETMAR;
BIRGMANN, ALOIS y
SCHULZ, PETER**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 533 772 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la producción de un cuerpo moldeado de peso ligero y cuerpo moldeado de espuma metálica

La invención se refiere a un cuerpo moldeado de peso ligero de espuma metálica compuesto por una matriz metálica, en la que están incluidas partículas y que encierra un gran número de huecos esencialmente esféricos y/o esencialmente elipsoidales.

Los cuerpos moldeados de espuma metálica tienen por naturaleza una densidad reducida y, conforme a su estructura, presentan propiedades mecánicas de material particulares. Por ejemplo, a los cuerpos de este tipo, en caso de aplicación de tensiones de compresión bi o tridimensionales, se les pueden conferir grandes deformaciones con grados de compactación de hasta el 70% y más. Estos materiales de trabajo con propiedades especiales pueden utilizarse ventajosamente en el campo tecnológico, por ejemplo, como absorbedores de energía en la tecnología automovilística y similares.

En caso de usar cuerpos moldeados de este tipo para funciones seleccionadas con determinados parámetros, es importante garantizar en cada caso características de propiedades iguales y reproducibles de los materiales de trabajo.

Por el documento EP- 483 184 B se ha dado a conocer un procedimiento para producir una espuma metálica reforzada con partículas, según el cual se introduce gas formador de células en una masa fundida de metal con agentes de refuerzo finamente distribuidos, se forma un material compuesto metálico espumado y de la superficie del material fundido se retira la espuma acumulada y se deja que solidifique. Sin embargo, esta espuma metálica presenta burbujas con un tamaño no controlado o una distribución de tamaños no controlada, de lo que resulta un perfil de propiedades sumamente impreciso del cuerpo de espuma o moldeado y se derivan incertidumbres desde el punto de vista técnico de la funcionalidad.

De T. Miyoshi, *et al.*, "Aluminium Foam, "ALPORAS": The Production Process, Properties and Applications", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 521, 1998, págs. 133-137 se desprende un procedimiento para la producción de un cuerpo moldeado de espuma metálica, en el que se llena un molde de colada con aluminio fundido y se suministra TiH_2 al molde de colada y se mezcla en la masa fundida. Mediante la descomposición térmica del polvo de TiH_2 se libera hidrógeno, que forma burbujas en la masa fundida para la configuración de la espuma metálica. De este modo puede producirse un cuerpo moldeado con una distribución bimodal de los tamaños de célula en la espuma metálica.

Según los documentos EP 545 957 B1 y US 5 221 234, otro cuerpo metálico de peso ligero presenta un gran número de poros cerrados y aislados, en general esféricos, con tamaños en el intervalo de desde 10 hasta 500 μm . Aunque poros tan pequeños con grandes diferencias de diámetro pueden conferir a un cuerpo metálico formado con aluminio un peso específico menor en comparación con el material macizo, en la mayoría de los casos no pueden alcanzarse una densidad inferior a 1,0 g/cm^3 y un grado de compactación superior al 60% del material de trabajo en condiciones definidas.

Para la producción de diferentes formas de cuerpos ligeros formados a partir de espuma metálica ya se han propuesto varios dispositivos y procedimientos que se realizan de manera secuencial (US 5 281 251, DE 43 26 982 C1) y/o de manera continua (US 5 334 236, EP 544 291 A1, DE 43 26 982 C1, WO 91/03578), con los que pueden producirse objetos en principio absolutamente funcionales, aunque las propiedades mecánicas de los mismos no pueden ajustarse con la exactitud que se requiere a menudo.

El objetivo de la invención es crear un cuerpo moldeado de tipo genérico, cuya constitución presente un comportamiento de deformación en su mayor parte preciso en función de la tensión de compresión aplicada, en particular pluridimensional.

Este objetivo de la invención, en particular en cuanto a un comportamiento de material de trabajo deseado en caso de carga mecánica, se soluciona porque la espuma metálica del cuerpo moldeado, al observarla desde el punto de vista espacial, presenta una distribución monomodal de las extensiones longitudinales máximas de los huecos en el intervalo de entre 1,0 y 30,0 mm.

Las ventajas de un cuerpo moldeado de peso ligero así configurado de espuma metálica se basan esencialmente en que, tal como ya se ha expuesto de manera básica anteriormente, mediante una monomodalidad se consiguen condiciones favorables en cuanto a la formación de nodos de las paredes de las burbujas de gas. En el caso de una distribución bimodal, poli o multimodal del tamaño de los huecos, en los nodos de pared hay en la mayoría de los casos engrosamientos con dado el caso poros pequeños y/o muy pequeños, así como discontinuidades de soldadura, lo que por un lado aumenta el peso específico del cuerpo de espuma y aumenta el consumo de metal para la formación del mismo, y por otro lado puede alterar la distribución de las componentes de fuerza, con lo que

no puede determinarse de manera unívoca una flexión de las superficies de pared en caso de carga.

Las ventajas según la invención del efecto de los mecanismos de acción sobre la distribución de componentes de las fuerzas de compresión pueden intensificarse si las paredes de delimitación que encierran al menos parcialmente los huecos presentan zonas de superficie plana.

5 Si, tal como puede estar previsto adicionalmente de manera favorable, al observar desde el punto de vista espacial la espuma metálica, la relación de las extensiones longitudinales máximas de dos huecos en cada caso diferentes es de media en al menos 20 pares inferior a 45, pueden conseguirse zonas de carga en su mayor parte estrechas, en las que comienza un colapso de los huecos de la espuma.

10 A este respecto, la exactitud de la transición de un cambio de forma elástico a una deformación plástica del material de trabajo en función de la tensión de compresión puede aumentarse adicionalmente si, al observar desde el punto de vista espacial la espuma metálica, la relación de las extensiones longitudinales máximas de dos huecos en cada caso diferentes es de media en al menos 20 pares inferior a 30, preferiblemente inferior a 15 y en particular inferior a 5. Estos valores se refieren a huecos creados ignorando las sopladuras de solidificación en el cuerpo moldeado.

15 Igualmente importante para una producción de espuma metálica y para el comportamiento del cuerpo moldeado en caso de carga mecánica es la composición y la constitución del metal líquido y la de o las de las paredes de delimitación de los huecos.

20 Si las partículas para la armadura están incluidas distribuidas de manera uniforme en la matriz metálica, se obtiene un refuerzo elevado e isotrópico del metal de base en cuanto a la carga mecánica. A este respecto, también es favorable que huecos adyacentes entre sí estén separados completamente unos de otros mediante la matriz metálica. Grietas individuales, que pueden generarse por tensiones mecánicas durante el enfriamiento, no son activas en caso de cargas de compactación.

Según la invención pueden crearse *per se* cuerpos moldeados particularmente ligeros si la matriz metálica está compuesta por un metal ligero, preferiblemente por aluminio o una aleación de aluminio.

25 Cuando adicionalmente las partículas incluidas en la matriz metálica presentan un tamaño de desde 1 hasta 50 μm , preferiblemente de 3 a 20 μm , puede conseguirse una relación peso/propiedades particularmente ventajosa.

Como armadura o refuerzo del metal de base para una espumación y un endurecimiento del mismo o para una constitución de paredes de separación de burbujas reforzadas frente a la flexión, inclusiones de partículas no metálicas, preferiblemente partículas de SiC y/o partículas de Al_2O_3 y/o aquéllas de fases intermetálicas han demostrado ser inesperadamente favorables.

30 A este respecto, ha resultado ser especialmente ventajoso que el porcentaje en volumen de las partículas incluidas en la matriz metálica ascienda a entre el 10% en volumen y el 30% en volumen, preferiblemente entre el 15% en volumen y el 30% en volumen.

35 La relación de peso/propiedades favorable de un cuerpo moldeado de peso ligero del tipo según la invención puede aumentarse cuando la densidad de la espuma metálica asciende a menos de $1,05 \text{ g/cm}^3$, preferiblemente menos de $0,7 \text{ g/cm}^3$, en particular menos de $0,3 \text{ g/cm}^3$.

40 Un cuerpo moldeado de peso ligero según la invención se produce con un procedimiento en el que, a partir de una masa fundida de metal que presenta partículas, se produce mediante la introducción de gas o mezclas de gases en la misma una espuma metálica y ésta se introduce al menos parcialmente en una coquilla y se deja que su fase líquida se solidifique en la misma y se produce una espuma metálica poco viscosa con una distribución monomodal de la dimensión de los huecos y una extensión longitudinal proporcionalmente máxima de los mismos en el intervalo de entre 1,0 y 30,0 mm, se introduce en un molde de colada o coquilla y se compacta en el mismo esencialmente con presión desde todos los lados, confiriéndose a las paredes de delimitación de masa fundida de metal que contienen partículas que encierran los huecos, zonas de superficie al menos parcialmente plana y evacuándose el calor de solidificación de la masa fundida. De este modo se configura la estructura interna del cuerpo de tal manera
45 que el material de trabajo tiene valores característicos mecánicos esencialmente exactos.

La distribución monomodal de la dimensión de los huecos en la espuma metálica conlleva una condición previa para un comportamiento del material de trabajo en caso de determinados estados de tensión. A este respecto, el diámetro proporcionalmente máximo de los huecos es importante para la magnitud del límite de elasticidad del material de trabajo y la carga superficial específica que puede soportarse en caso de una sollicitación por tensión de compresión de la pieza.
50

Para crear en las paredes de delimitación zonas de superficie al menos parcialmente plana es necesaria una carga

de compresión esencialmente por todos los lados, dado el caso reducida, de la espuma poco viscosa, de lo que pueden resultar varias ventajas. Sin embargo, es particularmente importante que de esta manera las paredes de delimitación y sus zonas de nodo se ajusten o se formen de manera favorable en el material de espuma para una carga de flexión o de soporte mecánica. De este modo puede conseguirse que, en caso de superarse un límite de

5

Tanto para una distribución monomodal de la dimensión de los huecos, que puede producirse dentro de unos límites estrechos, como para un ajuste exacto del diámetro proporcionalmente máximo de los huecos en el material de espuma, ha demostrado ser particularmente ventajoso que, para la configuración de la distribución monomodal de la

10

dimensión de los huecos, se introduzca el gas mediante al menos un tubo de alimentación que sobresale adentrándose en la masa fundida con una superficie frontal reducida.

Desde el punto de vista de la técnica de fabricación, pero también con respecto a la calidad del producto, puede ser favorable que la compactación de la espuma metálica poco viscosa se realice en una coquilla con medidas internas que se corresponden con las dimensiones deseadas del cuerpo moldeado.

15

La invención se explicará más detalladamente mediante imágenes y diagramas elaborados durante una prueba del material.

Muestran

la figura 1, imágenes en corte de cuerpos moldeados de peso ligero según la invención

20

la figura 2, una representación gráfica de la relación entre la densidad y la tensión de compactación de cuerpos moldeados

la figura 3, una representación gráfica del grado de compactación en función de la tensión de compactación de cuerpos moldeados

la figura 4, imágenes en corte A, B, C de formas de nodos en la pared de espuma

la figura 5, imágenes en vista en planta A, B, C de cuerpos de espuma con diferente densidad en volumen

25

la figura 6, una representación gráfica de la densidad local media de un cuerpo de espuma según la invención y uno de comparación.

En la figura 1, imagen A e imagen B, se representa en cada caso una configuración de huecos en un cuerpo moldeado de Al según la invención mediante una imagen en corte. Con una distribución monomodal de la dimensión se establecieron en el cuerpo de la imagen A las mayores extensiones longitudinales de huecos en el intervalo de entre 20 y 12 mm, ascendiendo la extensión proporcionalmente máxima a 17,2 mm. Aunque sólo se realizó una compactación de la espuma metálica poco viscosa de aproximadamente el 3,2%, se forman zonas de superficie claramente plana en las paredes de delimitación que encierran los huecos.

30

De la figura 2 puede deducirse la dependencia de la tensión de compactación de un cuerpo moldeado con respecto a la densidad del mismo. Durante los trabajos de desarrollo se estableció que una distribución monomodal de la mayor extensión longitudinal de los huecos así como una igualdad creciente de los mismos tiene un efecto restrictivo sobre la banda de dispersión de la dependencia. En otras palabras: si existe una distribución monomodal de los huecos en el cuerpo de espuma y los huecos presentan un determinado tamaño dentro de unos límites estrechos, entonces, en caso de una sollicitación por tensión de compresión del mismo, el comienzo de la deformación o del colapso es una característica física exacta. De este modo puede calcularse ventajosamente el comportamiento del componente de espuma de manera exacta o, para determinadas funciones, puede establecerse la configuración y la constitución de la pieza de espuma.

35

40

En la figura 3 se representa de manera comparativa la tensión en función de la deformación por compactación con resultados de ensayo de tres cuerpos moldeados. La constitución de los cuerpos moldeados ligeros 1 y 2 con una densidad aparente de $0,091 \text{ gcm}^{-3}$ y $0,114 \text{ gcm}^{-3}$ era según la invención, el cuerpo de comparación 3 presentaba una distribución bimodal de la dimensión de los huecos con concentraciones de material de trabajo en los nodos de las paredes de espuma. En las curvas de compactación de los cuerpos 1 y 2, hasta un grado de compactación de aproximadamente el 70% puede establecerse un endurecimiento extremadamente reducido de los mismos. El cuerpo de comparación 3, hasta un grado de compactación de aproximadamente el 45%, muestra un endurecimiento claro del material de trabajo, que a partir de este valor aumenta aún adicionalmente. Esto indica un efecto de la distribución bimodal de las dimensiones de hueco.

45

50

La figura 4 muestra formas de nodo en la pared de espuma de cuerpos ligeros mediante imágenes en corte.

En la imagen A se reproduce una configuración de nodo de canto afilado de la pared entre tres huecos. Los nodos de este tipo tienden a la formación prematura de grietas y roturas en la zona de unión.

- 5 A partir de la imagen B puede observarse un nodo de pared engrosado. Esta forma de nodo conduce a un peso específico aumentado y a una configuración desfavorable de las componentes de fuerza en caso de una carga de compactación del cuerpo.

La imagen C muestra un nodo con partes de pared, estando configurados tanto el grosor de las paredes como la masa de nodo de manera favorable en cuanto a una alta deformación por compactación con escaso endurecimiento del cuerpo en caso de altos grados de compactación.

- 10 En la figura 5 se reproducen cuerpos de espuma metálica formados según la invención sin compactación en una vista en planta, introduciéndose el gas en cada caso con diferentes parámetros de desprendimiento para las burbujas mediante tubos de alimentación que sobresalen adentrándose en la masa fundida. Puede observarse una distribución monomodal de las respectivas dimensiones de las burbujas de gas. A este respecto, el cuerpo según la imagen A presenta un peso específico de $0,1 \text{ gcm}^{-3}$, aquéllos según la imagen B y la imagen C presentan un peso
- 15 específico de $0,2 \text{ gcm}^{-3}$ y $0,4 \text{ gcm}^{-3}$.

Pueden usarse conjuntos de datos de tomografía computarizada para calcular valores de la densidad local (mapeo de densidad). Un proceso de promediado para calcular la densidad local permite establecer la distribución de material entre los volúmenes de promediado. Diagramas de los valores de densidad calculados de ensayos pueden dar información acerca de la homogeneidad de un cuerpo moldeado de peso ligero.

- 20 En la figura 6, la frecuencia relativa de la densidad local media en un cuerpo moldeado según la invención, determinada según un procedimiento de tomografía computarizada, se designa con 1 y puede deducirse en un cuerpo comparativo 2. La densidad local media del cuerpo 1 presenta a aproximadamente $0,22 \text{ gcm}^{-3}$ un máximo de frecuencia estrecho, lo que demuestra una distribución monomodal de la dimensión de los huecos y un intervalo estrecho de la extensión longitudinal proporcionalmente máxima de los mismos. Por el contrario, el cuerpo de
- 25 comparación multimodal se caracteriza por una evolución ancha, que presenta una clara disminución, de los valores de densidad local media.

REIVINDICACIONES

1. Cuerpo moldeado de peso ligero de espuma metálica, compuesto por una matriz metálica en la que están incluidas partículas y que encierra un gran número de huecos esencialmente esféricos y/o esencialmente elipsoidales, caracterizado porque la espuma metálica del cuerpo moldeado, al observarla desde el punto de vista espacial, presenta una distribución monomodal de las extensiones longitudinales proporcionalmente máximas de los huecos en el intervalo de entre 1,0 y 30,0 mm.
2. Cuerpo moldeado según la reivindicación 1, caracterizado porque las paredes de delimitación que encierran al menos parcialmente los huecos presentan zonas de superficie plana.
3. Cuerpo moldeado según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque, al observar desde el punto de vista espacial la espuma metálica, la relación de las extensiones longitudinales máximas de dos huecos en cada caso diferentes es de media en al menos 20 pares inferior a 45.
4. Cuerpo moldeado según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque, al observar desde el punto de vista espacial la espuma metálica, la relación de las extensiones longitudinales máximas de dos huecos en cada caso diferentes es de media en al menos 20 pares inferior a 30, preferiblemente inferior a 15 y en particular inferior a 5.
5. Cuerpo moldeado según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque las partículas están incluidas en la matriz metálica distribuidas de manera uniforme.
6. Cuerpo moldeado según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque huecos adyacentes entre sí están separados completamente unos de otros mediante la matriz metálica.
7. Cuerpo moldeado según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la matriz metálica está compuesta por un metal ligero, preferiblemente por aluminio o una aleación de aluminio.
8. Cuerpo moldeado según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque las partículas incluidas en la matriz metálica presentan un tamaño de desde 1 hasta 50 μm , preferiblemente de 3 a 20 μm .
9. Cuerpo moldeado según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque en la matriz metálica están incluidas partículas no metálicas, preferiblemente partículas de SiC y/o partículas de Al_2O_3 y/o aquellas de fases intermetálicas.
10. Cuerpo moldeado según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque el porcentaje en volumen de las partículas incluidas en la matriz metálica asciende a entre el 10% en volumen y el 50% en volumen, preferiblemente entre el 15% en volumen y el 30% en volumen.
11. Cuerpo moldeado según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque la densidad de la espuma metálica asciende a menos de 1,05 g/cm^3 , preferiblemente menos de 0,7 g/cm^3 , en particular menos de 0,3 g/cm^3 .

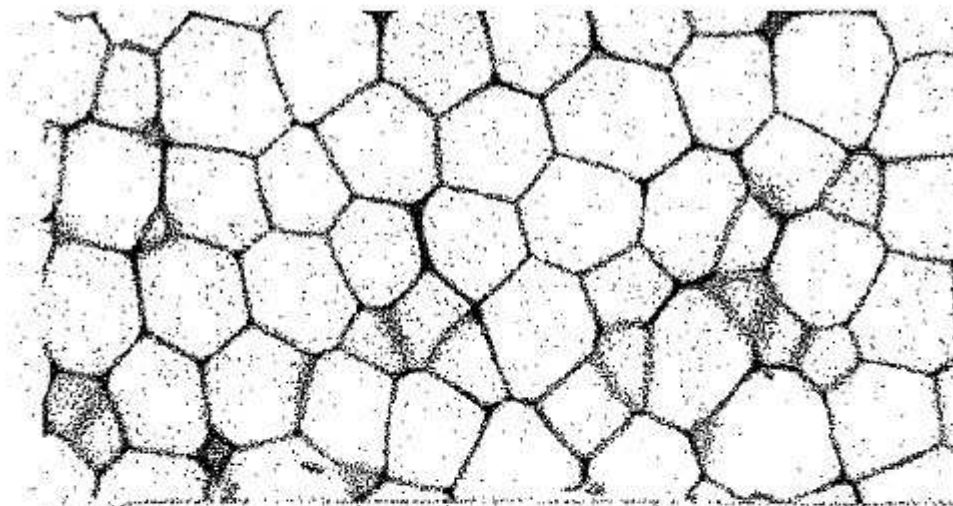
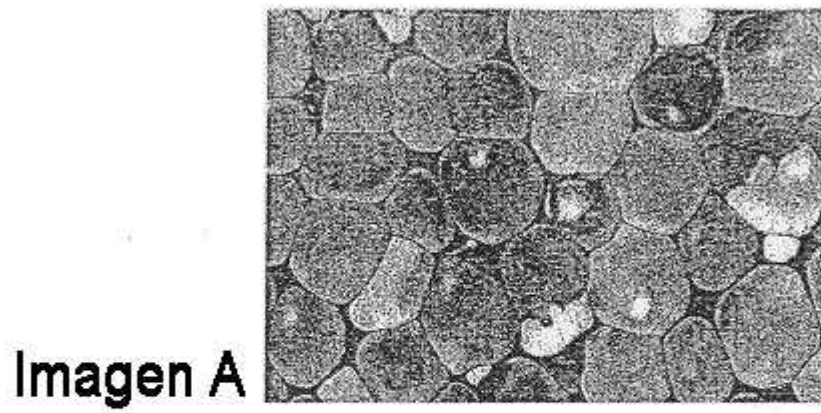


Fig. 1

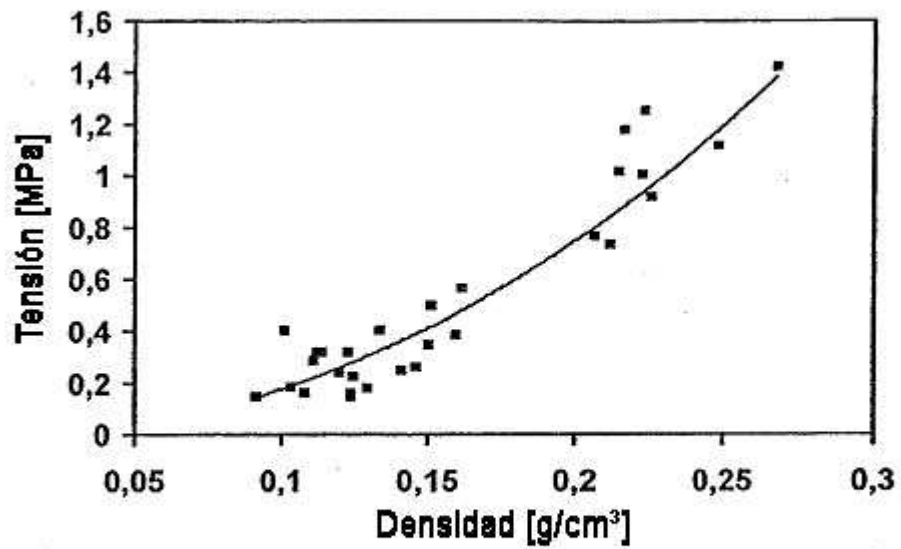


Fig. 2

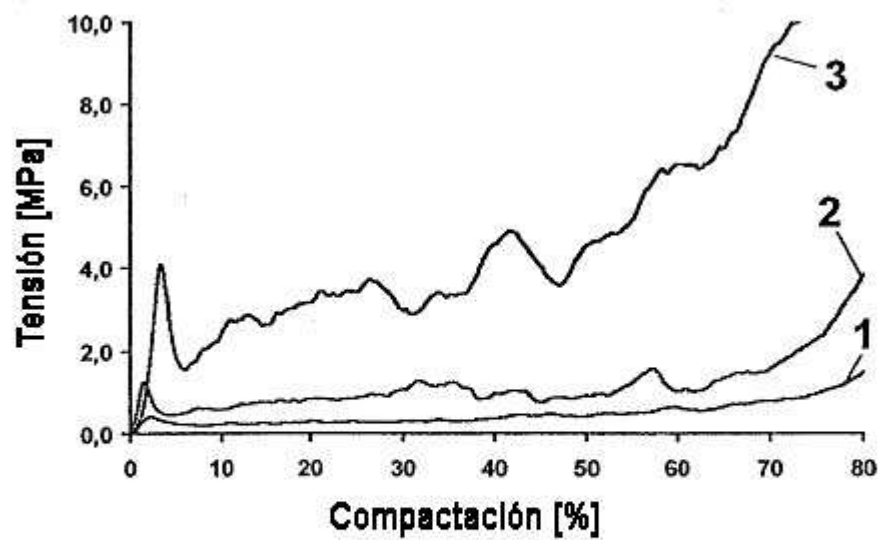


Fig. 3

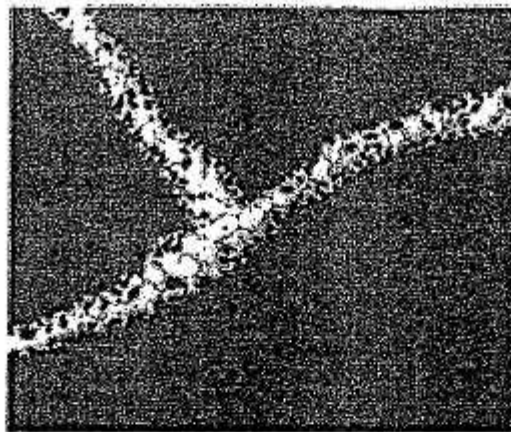


Imagen A

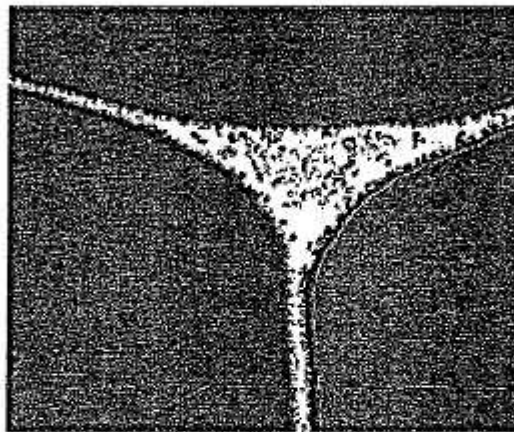


Imagen B

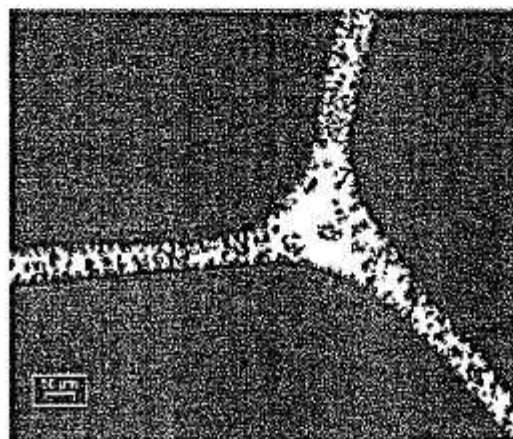


Imagen C

Fig. 4



Imagen A

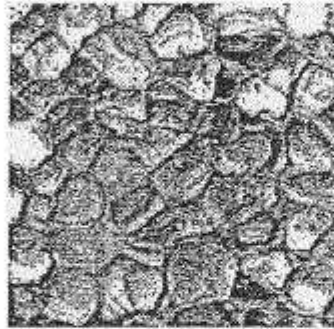


Imagen B

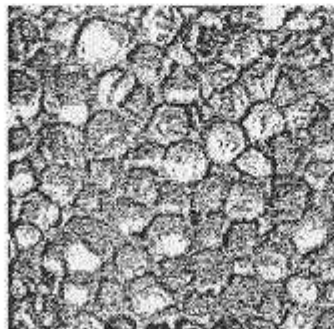


Imagen C

Fig. 5

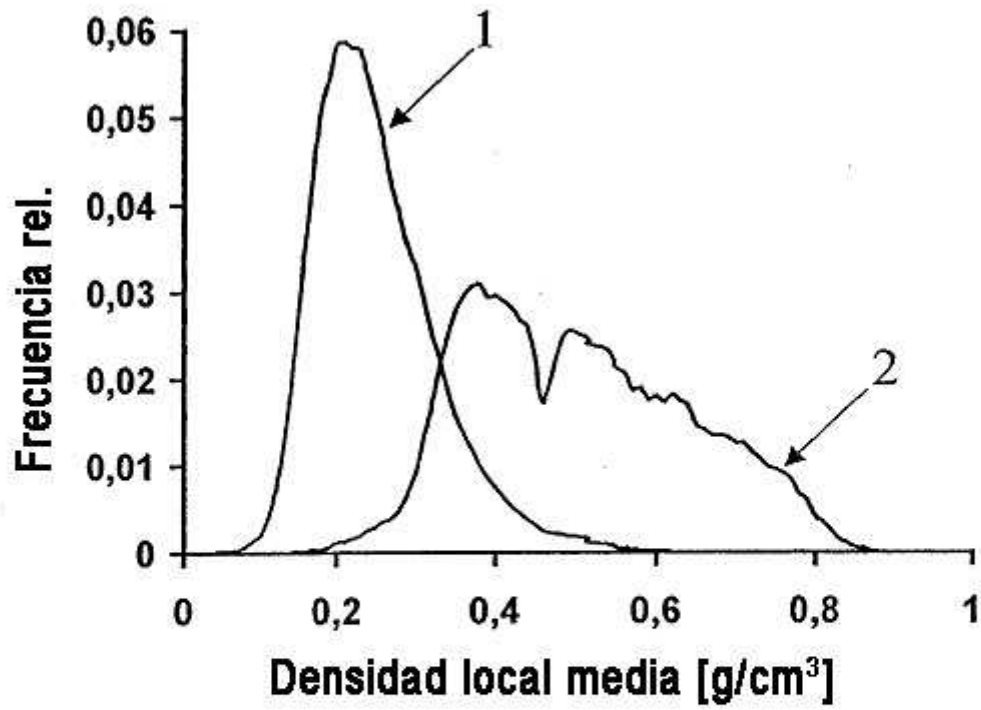


Fig. 6