

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 782**

51 Int. Cl.:  
**C22C 33/02** (2006.01)  
**C22C 29/06** (2006.01)  
**C22C 1/05** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09782201 .9**  
96 Fecha de presentación: **26.08.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2334836**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.06.2011**

54 Título: **Material compuesto jerarquizado**

30 Prioridad:  
**19.09.2008 BE 200800521**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**26.06.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**26.06.2012**

73 Titular/es:  
**Magotteaux International SA**  
**Rue Adolphe Dumont**  
**4051 Vaux-sous-Chevremont, BE**

72 Inventor/es:  
**VESCERA, Francesco**

74 Agente/Representante:  
**Curell Aguilá, Mireia**

ES 2 383 782 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

Material compuesto jerarquizado.

**Objeto de la invención**

5 La presente invención se refiere a un material compuesto jerarquizado que presenta una resistencia mejorada en la exigencia combinada desgaste/impacto. El compuesto contiene una matriz metálica de hierro fundido o acero, reforzada mediante una estructura particular de carburo de titanio.

**Descripción**

10 Los compuestos jerarquizados son una familia muy conocida en la ciencia de los materiales. En las piezas de desgaste compuestas fabricadas en fundición, los elementos de refuerzo deben tener un espesor suficiente para resistir a exigencias importantes y simultáneas en términos de desgaste e impacto.

Las piezas de desgaste compuestas, reforzadas con carburo de titanio son muy conocidas por el experto en la materia y, su realización, mediante diferentes vías de acceso, se describe en el artículo recapitulativo « *A review on the various synthesis routes of TiC reinforced ferrous based composites* » publicado en Journal of Material Science 37 (2002), páginas 3881-3892.

15 Las piezas de desgaste compuestas reforzadas con carburo de titanio creado *in situ* son una de las posibilidades que menciona este artículo, en el punto 2.4. Sin embargo, en este caso, las piezas de desgaste se realizan utilizando polvos, exclusivamente, en el marco de una reacción de síntesis autopropagada a alta temperatura (SHS), en la que el titanio reacciona de manera exotérmica con el carbono, para formar carburo de titanio, en una matriz a base de una ferroaleación, que también se introduce en forma de polvo. Este tipo de síntesis permite obtener  
20 carburo de titanio globular micrométrico, disperso de manera homogénea en una matriz de una ferroaleación (Fig. 12A (c)). El artículo describe muy bien la dificultad para manejar ese tipo de reacción de síntesis.

El documento EP 1 450 973 (Poncin) describe un refuerzo de pieza de desgaste que se realiza colocando, en el molde destinado a recibir el metal de colada, un inserto constituido por una mezcla de polvos que reaccionan entre sí, gracias al calor que aporta el metal durante la colada a alta temperatura (> 1400°C). La reacción entre los polvos se desencadena por el calor del metal de colada. Los polvos del inserto reactivo, tras desencadenarse la reacción de tipo SHS, crearán un aglutinante poroso (conglomerado) de partículas duras de cerámicas formadas *in situ*; este aglutinante poroso, una vez formado y a temperatura muy elevada, se infiltrará inmediatamente por el metal de colada. La reacción entre los polvos es exotérmica y autopropagada, lo que permite una síntesis del carburo en el molde a alta temperatura y aumenta considerablemente la mojabilidad del aglutinante poroso respecto del metal de infiltración. Esta tecnología, aunque mucho más económica que la pulvimetalurgia, sigue siendo bastante onerosa.

El documento WO 02/053316 (Lintunen) describe especialmente una pieza compuesta obtenida mediante reacción SHS entre el titanio y el carbono en presencia de aglutinantes, lo que permite llenar los poros del esqueleto constituido por el carburo de titanio. Las piezas se realizan a partir de polvos comprimidos en un molde. La masa caliente que se obtiene después de la reacción SHS permanece plástica y se comprime en su forma definitiva. Sin embargo, la reacción no se activa por el calor de cualquier metal de colada externo y, además, tampoco hay fenómeno de infiltración de un metal de colada externo. El documento EP 0 852 978 A1 y el documento US 5,256,368 describen una técnica análoga ligada a la utilización de una presión o una reacción bajo presión para lograr una pieza reforzada.

El documento GB 2 257 985 (Davies) describe un método para realizar una aleación reforzada de carburo de titanio mediante pulvimetalurgia. Este se presenta en forma de partículas microscópicas globulares de menos de 10 µm dispersas en la matriz metálica porosa. Las condiciones de reacción se eligen para propagar un frente de reacción SHS en la pieza a fabricar. La reacción se activa con un quemador y no hay infiltración de metal de colada externo.

El documento US 6,099,664 (Davies) describe una pieza compuesta que contiene boruro de titanio y, eventualmente, carburo de titanio. La mezcla de polvos, que contiene ferrotitanio eutéctico, se calienta en quemador para formar reacciones exotérmicas de boro y titanio. Aquí, se propaga un frente de reacción a través de la pieza.

El documento US 6,451,249 B1 describe una pieza compuesta reforzada que contiene un esqueleto de cerámica con, eventualmente, carburos ligados entre sí mediante una matriz metálica que funciona como aglutinante y que contiene una termita capaz de reaccionar según una reacción SHS para producir el calor de fusión necesario para aglomerar los granos de cerámica.

50 Los documentos WO 93/03192 y US 4,909,842 también describen un método para realizar una aleación que contiene partículas de carburo de titanio finamente dispersas en una matriz metálica. Nuevamente se trata de una técnica de pulvimetalurgia y no de una técnica de infiltración por una colada en fundición.

El documento US 2005/045252 describe un compuesto jerarquizado con una estructura jerarquizada periódica y tridimensional de fases metálicas duras y dúctiles dispuestas en bandas.

También hay otras técnicas conocidas por el experto en la materia como, por ejemplo, el añadido de partículas duras al metal líquido, en el horno de fusión, o incluso técnicas de recarga o refuerzos mediante insertos. Sin embargo, todas estas técnicas presentan diversos inconvenientes que no permiten realizar, de manera económica, un compuesto jerarquizado reforzado con carburo de titanio prácticamente sin límite de espesor y con una buena resistencia al impacto y al descascarillado.

### Objetivos de la invención

La presente invención se propone solucionar los inconvenientes del estado de la técnica y describe un material compuesto jerarquizado con una resistencia mejorada al desgaste, manteniendo una buena resistencia al impacto. Esta propiedad se obtiene mediante una estructura de refuerzo particular que toma la forma de una macro-microestructura con zonas milimétricas discretas concentradas en partículas globulares micrométricas de carburo de titanio.

La presente invención también propone un material compuesto jerarquizado que contiene una estructura particular de carburo de titanio que se obtiene mediante un procedimiento particular.

La presente invención propone, además, un procedimiento para obtener un material compuesto jerarquizado que contiene una estructura particular de carburo de titanio.

### Resumen de la invención

La presente invención describe un material compuesto jerarquizado que contiene una aleación ferrosa reforzada con carburos de titanio, según una geometría definida en la que, la parte reforzada contiene una macro-microestructura alternada de zonas milimétricas concentradas en partículas globulares micrométricas de carburo de titanio separadas por zonas milimétricas esencialmente exentas de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio. Dichas zonas concentradas en partículas globulares micrométricas de carburo de titanio forman una microestructura en la que los intersticios micrométricos entre dichas partículas globulares también están ocupados por dicha aleación ferrosa.

Según modos particulares de la invención, el material compuesto jerarquizado contiene, al menos, una o una combinación adecuada de las siguientes características:

- las zonas milimétricas concentradas tienen una concentración de carburos de titanio superior al 36.9% en volumen;
- la parte reforzada tiene un tenor global de carburo de titanio comprendido entre el 16.6 y el 50.5% en volumen;
- las partículas micrométricas globulares de carburo de titanio tienen un tamaño inferior a 50  $\mu\text{m}$ ;
- la mayor parte de las partículas micrométricas globulares de carburo de titanio tiene un tamaño inferior a 20  $\mu\text{m}$ ;
- las zonas concentradas en partículas globulares de carburo de titanio contienen del 36.9 al 72.2% en volumen de carburo de titanio;
- las zonas milimétricas concentradas de carburo de titanio tienen una dimensión que varía de 1 a 12 mm;
- las zonas milimétricas concentradas de carburo de titanio tienen una dimensión que varía de 1 a 6 mm;
- las zonas concentradas de carburo de titanio tienen una dimensión que varía de 1.4 a 4 mm;
- el compuesto es una pieza de desgaste.

La presente invención también describe un procedimiento de fabricación del material compuesto jerarquizado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 que incluyen las siguientes etapas:

- puesta a disposición de un molde que contiene la huella del material compuesto jerarquizado con una geometría de refuerzo predefinida;
- introducción, en la parte de la huella destinada a formar la parte reforzada, de una mezcla de polvos compactos que contienen carbono y titanio en forma de granos milimétricos precursores del carburo de titanio;
- colada de una ferroaleación en el molde, el calor de dicha colada desencadena una reacción exotérmica de síntesis autopropagada de carburo de titanio a alta temperatura (SHS) en los mencionados granos precursores;
- formación, en la parte reforzada del material compuesto jerarquizado, de una macro-microestructura alternada de zonas milimétricas concentradas en partículas globulares micrométricas de carburo de titanio en el emplazamiento de dichos granos precursores. Dichas zonas están separadas entre sí por zonas milimétricas

esencialmente exentas de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio. Dichas partículas globulares también están separadas por intersticios micrométricos en las zonas milimétricas concentradas de carburo de titanio;

- 5 – infiltración de los intersticios milimétricos y micrométricos por dicha ferroaleación de colada a alta temperatura, consecutiva a la formación de partículas microscópicas globulares de carburo de titanio.

Según modos particulares de la invención, el procedimiento contiene, al menos, una o una combinación adecuada de las siguientes características:

- la mezcla de polvos compactos de titanio y carbono contiene un polvo de una ferroaleación;
- dicho carbono es grafito.

- 10 La presente invención también describe un material compuesto jerarquizado obtenido según el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13.

Finalmente, la presente invención también describe una herramienta o una máquina que contiene un material compuesto jerarquizado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 o según la reivindicación 14.

### Breve descripción de las figuras

- 15 La figura 1 muestra un esquema de la macro-microestructura de refuerzo en la matriz de acero o hierro fundido que constituyen el compuesto. La fase clara representa la matriz metálica, y la fase oscura, las zonas concentradas de carburo de titanio globular. La foto está tomada con poco aumento en microscopio óptico, en una superficie pulida no atacada.

- 20 La figura 2 representa el límite de una zona concentrada de carburo de titanio globular hacia una zona globalmente exenta de carburo de titanio globular con mayor aumento. También se observa la continuidad de la matriz metálica sobre la pieza en su conjunto. El espacio entre las partículas micrométricas de carburo de titanio (intersticios micrométricos o poros) también está infiltrado por el metal de colada (acero o hierro fundido). La foto está tomada con poco aumento en microscopio óptico, en una superficie pulida no atacada.

La figura 3a-3h representa el procedimiento de fabricación del compuesto jerarquizado según la invención.

- 25 – la etapa 3a muestra el dispositivo de mezcla de los polvos de titanio y carbono;
- la etapa 3b muestra la compactación de los polvos entre dos rodillos, seguida de una trituración y un tamizado con reciclado de las partículas demasiado finas;
- la figura 3c muestra un molde de arena en el que se colocó una barrera para contener los granos de polvo compacto en el lugar del refuerzo del compuesto jerarquizado;
- 30 – la figura 3d muestra una ampliación de la zona de refuerzo en la que se encuentran los granos compactos que contienen los reactivos precursores del TiC;
- la etapa 3e muestra la colada de la ferroaleación en el molde;
- la figura 3f muestra el compuesto jerarquizado que resulta de la colada;
- 35 – la figura 3g muestra una ampliación de las zonas con alta concentración de partículas micrométricas (glóbulos) de TiC - este esquema representa las mismas zonas que la figura 4;
- la figura 3h muestra una ampliación en la misma zona de alta concentración de glóbulos de TiC – cada uno de los glóbulos micrométricos está rodeado por el metal de colada.

- 40 La figura 4 representa una vista con binocular de una superficie pulida, no atacada, de la macro-microestructura según la invención con zonas milimétricas (en gris claro) concentradas de carburo de titanio globular micrométrico (glóbulos de TiC). Los colores están invertidos: la parte oscura representa la matriz metálica (acero o hierro fundido) que llena el espacio entre estas zonas concentradas de carburo de titanio globular micrométrico así como los espacios entre los propios glóbulos (ver Fig. 5 & 6).

- 45 Las figuras 5 y 6 representan vistas tomadas con microscopio electrónico SEM, de carburos de titanio globulares micrométricos sobre superficies pulidas y no atacadas con aumentos diferentes. Se observa que, en este caso particular, la mayoría de los glóbulos de carburo de titanio tiene un tamaño inferior a 10 µm.

Las figuras 7 y 8 representan vistas de carburos de titanio globulares micrométricos, a diferentes aumentos pero, esta vez, en superficies de ruptura tomadas con microscopio electrónico SEM. Se observa que los glóbulos de carburo de titanio están perfectamente incorporados a la matriz metálica. Esto demuestra que el metal de colada infiltra (impregna) completamente los poros durante la colada una vez iniciada la reacción química entre el titanio y el

carbono.

5 Las figuras 9 y 10 son espectros de análisis del Ti, así como del Fe, en una pieza reforzada según la invención. Se trata de un « mapping » de distribución del Ti y del Fe mediante análisis EDX, tomada con microscopio electrónico a partir de la superficie de ruptura que muestra la figura 7. Las manchas claras de la figura 9 muestran el Ti y las manchas claras de la figura 10 muestran el Fe (es decir, los poros que llenó el metal de colada).

La figura 11 muestra, con mucho aumento, una superficie de ruptura tomada con microscopio electrónico SEM con un carburo de titanio angular que se forma por precipitación, en una zona totalmente exenta de glóbulos de carburo de titanio.

10 La figura 12 muestra, con mucho aumento, una superficie de ruptura tomada con microscopio electrónico SEM con una burbuja de gas. Seguimos intentando limitar al máximo este tipo de defecto.

La figura 13 muestra una disposición de yunques en un triturador de eje vertical que se utilizó para efectuar pruebas comparativas entre piezas de desgaste que contienen zonas reforzadas con insertos voluminosos y piezas que contienen zonas reforzadas con la macro-microestructura de la presente invención.

15 La figura 14 muestra un esquema de principio que ilustra la macro-microestructura según la presente invención, parcialmente ilustrada en la figura 3.

### Leyenda

1. zonas milimétricas concentradas de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (glóbulos)
2. intersticios milimétricos rellenos por la aleación de colada generalmente exentos de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio
- 20 3. intersticios micrométricos entre los glóbulos de TiC infiltrados también por la aleación de colada
4. carburo de titanio globular micrométrico en las zonas concentradas de carburo de titanio
5. carburo de titanio anguloso precipitado en los intersticios generalmente exentos de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio
6. fallas de gas
- 25 7. yunque
8. mezclador de polvos de Ti y C
9. tolva
10. rodillo
11. triturador
- 30 12. grilla de salida
13. tamiz
14. reciclado de las partículas demasiado finas hacia la tolva
15. molde de arena
16. barrera que contiene los granos compactos de mezcla Ti/C
- 35 17. cuchara de colada
18. compuesto jerarquizado

### Descripción detallada de la invención

40 En la ciencia de los materiales, llamamos reacción SHS o « self-propagating high temperature synthesis », a la reacción de síntesis a temperatura elevada autopropagada en la que se alcanzan temperaturas de reacción generalmente superiores a 1500°C, incluso 2000°C. Por ejemplo, la reacción entre polvo de titanio y polvo de carbono para obtener el carburo de titanio TiC es altamente exotérmica. Sólo se necesita un poco de energía para iniciar la reacción localmente. Luego, la reacción se propagará espontáneamente a la totalidad de la mezcla de los reactivos gracias a las altas temperaturas alcanzadas. Desencadenada la reacción, un frente de reacción se propaga espontáneamente (autopropaga) y permite obtener carburo de titanio a partir del titanio y el carbono. El

45 carburo de titanio así obtenido se llama « obtenido *in situ* » porque no proviene de la ferroaleación colada.

Las mezclas de polvos de reactivo contienen polvo de carbono y polvo de titanio. Se comprimen en placas y luego se trituran para obtener granos cuyo tamaño varía entre 1 y 12 mm, de preferencia de 1 a 6 mm y, de manera particularmente preferente, entre 1.4 y 4 mm. Estos granos no están compactados al 100%. Generalmente, se los comprime entre el 55 y el 95% de la densidad teórica. Estos granos son fáciles de usar y manipular (ver Fig. 3a-h).

- 5 Los granos milimétricos de polvos de carbono y titanio mezclados, obtenidos según los esquemas de la figura 3a-h, constituyen los precursores del carburo de titanio por crear y permiten llenar fácilmente partes de moldes de formas diversas o irregulares. Estos granos pueden mantenerse en su lugar, en el molde 15, con ayuda de una barrera 16, por ejemplo. La puesta en forma o el ensamblaje de estos granos también puede hacerse con ayuda de una cola.

10 El compuesto jerarquizado según la presente invención y, en particular, la macro-microestructura de refuerzo, que también podemos llamar estructura alternada de zonas concentradas de partículas micrométricas globulares de carburo de titanio separadas por zonas que están prácticamente exentas del mismo, se obtiene mediante la reacción de los granos que contienen una mezcla de polvos de carbono y titanio, en el molde 15. Esta reacción se inicia por el calor de la colada del hierro fundido o del acero utilizados para vaciar toda la pieza y, en consecuencia, la parte no reforzada y la parte reforzada (ver Fig. 3e). La colada desencadena una reacción exotérmica de síntesis autopropagada a alta temperatura de la mezcla de polvos de carbono y titanio compactados en forma de granos (self-propagating high-temperature synthesis - SHS) y previamente colocados en el molde 15. La reacción tiene entonces la particularidad de no dejar de propagarse desde que se inicia.

15 Esta síntesis a alta temperatura (SHS) permite que se infiltren fácilmente todos los intersticios milimétricos y micrométricos con hierro o acero de colada (Fig. 3g & 3h). Al aumentar la mojabilidad, la infiltración puede realizarse en un refuerzo de cualquier espesor. Después de la reacción SHS y la infiltración de un metal de colada externo, permite crear, de manera ventajosa, zonas de alta concentración de partículas globulares de carburo de titanio micrométrico (que también podríamos llamar clusters de nódulos). Estas zonas tienen un tamaño del orden del milímetro o de algunos milímetros y alternan con zonas sustancialmente exentas de carburo de titanio globular. Las zonas de baja concentración de carburo representan, en realidad, los espacios o intersticios milimétricos 2 entre los granos infiltrados por el metal de colada. A esta superestructura, la llamamos macro-microestructura de refuerzo.

20 Una vez que estos granos precursores de TiC reaccionaron mediante una reacción SHS, las zonas en las que se encontraban muestran una dispersión concentrada de partículas globulares micrométricas 4 de TiC (glóbulos) cuyos intersticios micrométricos 3 también han sido infiltrados por el metal de colada que, en este caso, es hierro fundido o acero. Es importante destacar que los intersticios milimétricos y micrométricos están infiltrados por la misma matriz metálica que la que constituye la parte no reforzada del compuesto jerarquizado, lo que permite una libertad total de elección del metal de colada. En el compuesto obtenido finalmente, las zonas de alta concentración de carburo de titanio están compuestas por partículas globulares micrométricas de TiC en porcentaje importante (entre el 35 y el 75% en volumen, aproximadamente) y de la ferroaleación de infiltración.

25 Partículas globulares micrométricas, son las partículas globalmente esferoidales cuyo tamaño va de un  $\mu\text{m}$  a unas decenas de  $\mu\text{m}$ , como máximo. También se las llama glóbulos de TiC. La gran mayoría de estas partículas tiene un tamaño inferior a 50  $\mu\text{m}$ , a 20  $\mu\text{m}$  e incluso a 10  $\mu\text{m}$ . Esta forma globular es característica del método de obtención del carburo de titanio mediante síntesis autopropagada SHS (ver Fig. 6).

30 La estructura reforzada según la presente invención puede distinguirse con microscopio óptico o electrónico. A la vista, o con poco aumento, se puede distinguir la macro-microestructura de refuerzo. Con mucho aumento, en las zonas de alta concentración de carburo de titanio, se distingue el carburo de titanio de forma globular 4 con un porcentaje volúmico, en estas zonas, de entre un 35 y un 75%, aproximadamente, dependiendo del nivel de compactación de los granos al principio de estas zonas (ver cuadros). Estos TiC globulares son de tamaño micrométrico (ver Fig. 6).

35 En los intersticios entre las zonas de alta concentración de carburo de titanio, también se verifica, en algunos casos, un bajo porcentaje de TiC (< 5% vol) de forma angulosa 5 formado por precipitación (ver Fig. 11). Estos provienen de una disolución en el metal líquido de una pequeña parte de carburo globular, formada durante la reacción SHS. El tamaño de este carburo anguloso también es micrométrico. No se espera la formación de este carburo de TiC anguloso, pero es una consecuencia del procedimiento de fabricación.

En la pieza de desgaste según la invención, la proporción volúmica de refuerzo en TiC depende de tres factores:

- 50
- la porosidad micrométrica presente en los granos de mezcla de polvos de titanio y carbono,
  - los intersticios milimétricos presentes entre los granos de Ti + C,
  - la porosidad que proviene de la contracción volumétrica durante la formación del TiC, a partir de Ti + C.

#### Mezcla para fabricar los granos (versión Ti + C)

55 El carburo de titanio se obtendrá mediante la reacción entre el polvo de carbono y el polvo de titanio. Estos dos polvos se mezclan de manera homogénea. El carburo de titanio puede obtenerse mezclando de 0.50 a 0.98 moles

de carbono con 1 mol de titanio. Es preferible la composición estequiométrica  $\text{Ti} + 0.98 \text{C} \rightarrow \text{TiC}_{0.98}$ .

#### Obtención de los granos (versión Ti + C)

El procedimiento de obtención de los granos se refleja en la Fig. 3a-3h. Los granos de reactivos carbono/titanio se obtienen compactándolos entre rodillos 10 para obtener bandas que luego se trituran en un triturador 11. La mezcla de los polvos se realiza en un mezclador 8 compuesto por una cuba provista de palas, para favorecer la homogeneidad. Luego, la mezcla pasa a un aparato de granulación mediante una tolva 9. Esta máquina tiene dos rodillos 10 a través de los cuales pasa el material. Se aplica una presión sobre estos rodillos 10, lo que permite comprimir el material. A la salida, se obtiene una banda de materia comprimida que luego se tritura para obtener los granos. Luego, estos granos se tamizan a la granulometría deseada en un tamiz 13. Un parámetro importante es la presión aplicada sobre los rodillos; a mayor presión, mayor banda, por lo tanto, los granos se comprimirán. De este modo, se puede variar la densidad de las bandas y, en consecuencia, de los granos, entre el 55 y el 95% de la densidad teórica, que es de  $3.75 \text{ g/cm}^3$  para la mezcla estequiométrica de titanio y carbono. La densidad aparente (teniendo en cuenta la porosidad) se ubica entonces entre  $2.06$  y  $3.56 \text{ g/cm}^3$ .

El grado de compactación de las bandas depende de la presión aplicada (en Pa) sobre los rodillos (diámetro 200 mm, ancho 30 mm). Con un nivel bajo de compactación, del orden de  $10^6$  Pa, se obtiene una densidad sobre las bandas del orden del 55% de la densidad teórica. Después de pasar a través de los rodillos 10 para comprimir este material, la densidad aparente de los granos es de  $3.75 \times 0.55$ , es decir,  $2.06 \text{ g/cm}^3$ .

Con un nivel alto de compactación, del orden de  $25 \cdot 10^6$  Pa, se obtiene una densidad sobre las bandas del orden del 90% de la densidad teórica, es decir, una densidad aparente de  $3.38 \text{ g/cm}^3$ . En la práctica, se puede llegar hasta el 95% de la densidad teórica.

En consecuencia, los granos obtenidos a partir de la materia prima Ti + C son porosos. Esta porosidad varía un 5% en los granos muy comprimidos, y un 45% en los granos poco comprimidos.

Además del nivel de compactación, también es posible ajustar la distribución granulométrica de los granos, así como su forma, durante la operación de trituración de las bandas y de tamizado de los granos de Ti+C. Las fracciones granulométricas no deseadas se reciclan a voluntad (ver Fig. 3b). Los granos obtenidos miden entre 1 y 12 mm, de preferencia entre 1 y 6 mm y, de modo particularmente preferente, entre 1.4 y 4 mm.

#### Realización de la zona de refuerzo en el compuesto jerarquizado según la invención

Los granos se realizan de acuerdo a lo expuesto anteriormente. Para obtener una estructura tridimensional o superestructura/macro-microestructura con estos granos, que admita la denominación compuesto jerarquizado, se los coloca en las zonas del molde donde se desea reforzar la pieza. Esto se realiza aglomerando los granos con una cola, encerrándolos en un recipiente, o por cualquier otro medio (barrera 16).

La densidad a granel del apilamiento de los granos de Ti + C se determina según la norma ISO 697 y depende del nivel de compactación de las bandas, de la distribución granulométrica de los granos y del modo de triturar las bandas, que influye sobre la forma de los granos.

La densidad a granel de estos granos de Ti + C es, generalmente, del orden de  $0.9 \text{ g/cm}^3$  a  $2.5 \text{ g/cm}^3$  en función del nivel de compactación de estos granos y de la densidad del apilamiento.

Antes de la reacción, tenemos entonces un apilamiento de granos porosos constituidos por una mezcla de polvo de titanio y polvo de carbono.

Durante la reacción  $\text{Ti} + \text{C} \rightarrow \text{TiC}$ , se produce una contracción volumétrica del orden del 24% cuando se pasan reactivos al producto (contracción que deriva de la diferencia de densidad entre los reactivos y los productos). Así, la densidad teórica de la mezcla Ti + C es de  $3.75 \text{ g/cm}^3$  y la densidad teórica del TiC es de  $4.93 \text{ g/cm}^3$ . En el producto final, después de la reacción de obtención del TiC, el metal de colada infiltrará:

- la porosidad microscópica presente en los espacios con alta concentración de carburo de titanio, dependiendo del nivel de compactación inicial de estos granos;
- los espacios milimétricos entre las zonas de alta concentración de carburo de titanio, dependiendo del apilamiento inicial de los granos (densidad a granel);
- la porosidad derivada de la contracción volumétrica durante la reacción entre Ti + C para obtener el TiC.

#### **Ejemplos**

En los siguientes ejemplos, se utilizaron las siguientes materias primas:

- titanio, H.C. STARCK, Amperit 155.066, menos de 200 mesh,

- carbono grafito GK Kropfmuhl, UF4, > 99.5 %, menos de 15 µm,
  - Fe, en forma de Acero HSS M2, menos de 25 µm,
  - proporciones:
    - Ti + C 100 g Ti – 24.5 g C
- 5            - Ti + C + Fe 100 g Ti – 24.5 g C – 35.2 g Fe

Mezcla 15 minutos en mezclador Lindor, con argón.

El granulado se realizó con un granulador Sahut-Conreur.

En las mezclas Ti+C+Fe y Ti+C, la compacidad de los granos se obtuvo de la siguiente manera:

Presión rodillos (10 <sup>3</sup> Pa)	Compacidad media (% de la densidad teórica)
10	55
25	68
50	75
100	81
150	85
200	88
250	95

10

El refuerzo se realizó colocando granos en un contenedor metálico de 100x30x150 mm, que luego se colocó en un molde, en el lugar de la pieza que se desea reforzar. Luego, se vierte el acero o el hierro fundido en este molde.

**Ejemplo 1**

15            En este ejemplo, el objetivo es realizar una pieza cuyas zonas reforzadas contengan un porcentaje en volumen global de TiC de un 42 % aproximadamente. Para ello, realizamos una banda mediante compactación al 85 % de la densidad teórica de una mezcla de C y Ti. Después de la trituration, se tamizan los granos para obtener un tamaño de granos de entre 1.4 y 4 mm. Se obtiene una densidad a granel del orden de 2,1 g/cm<sup>3</sup> (35 % de espacio entre los granos + 15 % de porosidad en los granos).

20            Se colocan los granos en el molde en el lugar de la parte que se desea reforzar que contiene un 65% en volumen de granos porosos. Luego, se vierte una fundición de cromo (3% C, 25% Cr) a unos 1500°C en un molde de arena sin precalentar. La reacción entre el Ti y el C se inicia por el calor de la fundición. Esta colada se realiza sin atmósfera de protección. Después de la reacción, se obtiene, en la parte reforzada, un 65% en volumen de zonas con alta concentración de alrededor del 65% de carburo de titanio globular, es decir, un 42% en volumen global de TiC en la parte reforzada de la pieza de desgaste.

25            **Ejemplo 2**

30            En este ejemplo, el objetivo es realizar una pieza cuyas zonas reforzadas contengan un porcentaje en volumen global de TiC de un 30 % aproximadamente. Para ello, realizamos una banda mediante compactación al 70 % de la densidad teórica de una mezcla de C y Ti. Después de la trituration, se tamizan los granos para obtener un tamaño de granos de entre 1.4 y 4 mm. Se obtiene una densidad a granel del orden de 1,4 g/cm<sup>3</sup> (45% de espacio entre los granos + 30% de porosidad en los granos). Se colocan los granos en la parte que se desea reforzar, que contiene un 55 % en volumen de granos porosos. Después de la reacción, se obtiene, en la parte reforzada, un 55% en volumen de zonas con alta concentración de alrededor del 53% de carburo de titanio globular, es decir, un 30% en volumen global de TiC en la parte reforzada de la pieza de desgaste.

**Ejemplo 3**

35            En este ejemplo, el objetivo es realizar una pieza cuyas zonas reforzadas contengan un porcentaje en volumen global de TiC de un 20% aproximadamente. Para ello, realizamos una banda mediante compactación al 60% de la densidad teórica de una mezcla de C y Ti. Después de la trituration, se tamizan los granos para obtener un tamaño

de granos de entre 1 y 6 mm. Se obtiene una densidad a granel del orden de 1,0 g/cm<sup>3</sup> (55% de espacio entre los granos + 40% de porosidad en los granos). Se colocan los granos en la parte que se desea reforzar, que contiene un 45% en volumen de granos porosos. Después de la reacción, se obtiene, en la parte reforzada, un 45% en volumen de zonas concentradas con alrededor del 45% de carburo de titanio globular, es decir, un 20% en volumen global de TiC en la parte reforzada de la pieza de desgaste.

**Ejemplo 4**

En este ejemplo, se quiso atenuar la intensidad de la reacción entre el carbono y el titanio agregando una ferroaleación en polvo. Como en el ejemplo 2, el objetivo es realizar una pieza de desgaste cuyas zonas reforzadas contengan un porcentaje en volumen global de TiC de alrededor del 30%. Para ello, realizamos una banda mediante compactación al 85% de la densidad teórica de una mezcla en peso del 15% de C, 63% de Ti y 22% de Fe. Después de la trituration, se tamizan los granos para obtener un tamaño de granos de entre 1.4 y 4 mm. Se obtiene una densidad a granel del orden de 2 g/cm<sup>3</sup> (45% de espacio entre los granos + 15% de porosidad en los granos). Se colocan los granos en la parte por reforzar que contiene un 55% en volumen de granos porosos. Después de la reacción, se obtiene, en la parte reforzada, un 55% en volumen de zonas con una alta concentración de alrededor del 55% de carburo de titanio globular, es decir, un 30% en volumen global de carburo de titanio en la macro-microestructura reforzada de la pieza de repuesto.

Los siguientes cuadros muestran las numerosas combinaciones posibles.

Cuadro 1 (Ti + 0.98 C)

Porcentaje global de TiC obtenido en la macro-microestructura reforzada después de la reacción Ti + 0.98 C en la parte reforzada de la pieza de desgaste

Compactación de granos (% de la densidad teórica que es de 3,75 g/cm <sup>3</sup> )		55	60	65	70	75	80	85	90	95
Llenado de la parte reforzada de la pieza (% vol.)	70	29.3	31.9	34.6	37.2	39.9	42.6	45.2	47.9	50.5
	65	27.2	29.6	32.1	34.6	37.1	39.5	42.0	44.5	46.9
	55	23.0	25.1	27.2	29.3	31.4	33.4	35.5	37.6	39.7
	45	18.8	20.5	22.2	23.9	25.7	27.4	29.1	30.8	32.5

Este cuadro muestra que, con un nivel de compactación de entre el 55 y el 95% en bandas y granos, se pueden practicar niveles de llenado de granos, en la parte reforzada, que van del 45 al 70% en volumen (relación entre el volumen total de los granos y el volumen de su confinamiento). De este modo, para obtener una concentración global de TiC de alrededor del 29% vol. en la parte reforzada (en negrita, en el cuadro), se pueden realizar diferentes combinaciones como, por ejemplo, 60% de compactación y 65% de llenado, o 70% de compactación y 55% de llenado, o incluso 85% de compactación y 45% de llenado. Para obtener niveles de llenado de hasta el 70% en volumen de granos en la parte reforzada, se debe aplicar una vibración que apisona los granos. En este caso, ya no se aplica la norma ISO 697 para medir el nivel de llenado y se mide la cantidad de material en un volumen dado.

Cuadro 2

Relación entre el nivel de compactación, la densidad teórica y el porcentaje de TiC obtenido después de la reacción en el grano

Compactación de granos	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Densidad en g/cm <sup>3</sup>	2.06	2.25	2.44	2.63	2.81	3.00	3.19	3.38	3.56
TiC obtenido después de la reacción (y contracción) en %vol. en los granos	41.8	45.6	49.4	53.2	57.0	60.8	64.6	68.4	72.2

Aquí, hemos representado la densidad de los granos en función de su nivel de compactación y descontamos el porcentaje volumétrico de TiC obtenido después de la reacción y la contracción, de aproximadamente 24% vol. Por lo

tanto, los granos compactados al 95% de su densidad teórica permiten obtener, después de la reacción, una concentración del 72.2% vol. en TiC.

Cuadro 3

Densidad a granel del apilamiento de los granos

5

Compactación		55	60	65	70	75	80	85	90	95
Llenado de la parte reforzada de la pieza en % vol	70	1.4	1.6	1.7	1.8	2	2.1	2.2	2.4	2.5
	65	1.3*	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3
	55	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0
	45	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6

(\*)Densidad a granel (1.3) = densidad teórica (3.75 g/cm<sup>3</sup>) x 0.65 (llenado) x 0.55 (compactación)

En la práctica, estos cuadros sirven de ábacos para el usuario de esta tecnología, que se fija un porcentaje global de TiC a realizar en la parte reforzada de la pieza y que, en función de este, determina el nivel de llenado y la compactación de los granos que utilizará. Los mismos cuadros se realizaron para una mezcla de polvos Ti + C + Fe.

10

Ti + 0.98 C + Fe

Aquí, el objetivo del inventor fue una mezcla que permitiera obtener un 15% en volumen de hierro después de la reacción. La proporción de mezcla que se utilizó es de:



15 Por polvo de hierro, se entiende: hierro puro o aleación de hierro.

Densidad teórica de la mezcla: 4.25 g/cm<sup>3</sup>

Contracción volumétrica durante la reacción: 21 %

Cuadro 4

20 Porcentaje global de TiC obtenido en la macro-microestructura reforzada después de la reacción Ti + 0.98 C + Fe en la parte reforzada de la pieza de desgaste

Compactación de granos (% de la densidad teórica que es de 4,25 g/cm <sup>3</sup> )		55	60	65	70	75	80	85	90	95
Llenado de la parte reforzada de la pieza (% vol.)	70	25.9	28.2	30.6	32.9	35.5	37.6	40.0	42.3	44.7
	65	24.0	26.2	28.4	30.6	32.7	34.9	37.1	39.3	41.5
	55	20.3	22.2	24.0	25.9	27.7	29.5	31.4	33.2	35.1
	45	16.6	18.1	19.6	21.2	22.7	24.2	25.7	27.2	28.7

25 Nuevamente, para obtener una concentración global de TiC en la parte reforzada de aproximadamente un 26% vol (en negrita, en el cuadro), se pueden realizar diferentes combinaciones como, por ejemplo, 55% de compactación y 70% de llenado, o 60% de compactación y 65% de llenado, o 70% de compactación et 55% de llenado, o incluso 85% de compactación y 45% de llenado.

Cuadro 5

Relación entre el nivel de compactación, la densidad teórica y el porcentaje de TiC, obtenido después de la reacción en el grano teniendo en cuenta la presencia de hierro

Compactación de granos	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Densidad en g/cm <sup>3</sup>	2.34	2.55	2.76	2.98	3.19	3.40	3.61	3.83	4.04
TiC obtenido después de la reacción (y contracción) en %vol. en los granos	36.9	40.3	43.6	47.0	50.4	53.7	57.1	60.4	63.8

**Cuadro 6**

Densidad a granel del apilamiento de los granos (Ti + C + Fe)

5

Compactación		55	60	65	70	75	80	85	90	95
Llenado de la parte reforzada de la pieza en % vol	70	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8
	65	1.5*	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6
	55	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
	45	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8

(\*)Densidad a granel (1,5) = densidad teórica (4.25) x 0.65 (llenado) x 0.55 (compactación)

Prueba comparativa con EP 1450973

10 Se realizaron pruebas comparativas entre piezas de desgaste que contienen zonas reforzadas con insertos bastante voluminosos (150x100x30 mm) y piezas que contienen zonas reforzadas con la macro-microestructura de la presente invención. La máquina de trituración en la que se realizaron estas pruebas está representada en la Fig. 13. En esta máquina, el inventor colocó, alternadamente, un yunque con un inserto según el estado de la técnica, rodeado a ambos lados por un yunque no reforzado, y un yunque con una zona reforzada por una macro-microestructura según la presente invención, enmarcada, a su vez, por dos yunques de referencia no reforzados.

15 Se definió un índice de rendimiento respecto de un yunque no reforzado y respecto de un tipo de roca determinada. Aunque la extrapolación hacia otros tipos de roca no siempre es fácil, hemos intentando un enfoque cuantitativo en cuanto al desgaste observado.

Índice de rendimiento (IR)

	Inserto de 150x100x30 mm (estado de la técnica)		Zona reforzada de 150x100x30 mm (según la invención)			
	Ti+C (1.100g)	Ti+C+Fe (1240g)	Granos* Ti + C			Gránulos* Ti+C+Fe(900g)
			630g	765g	810g	
Compactación	65 %		70 %	80%	85%	85%
IR Prueba 1	2.1				2.5	
IR Prueba 2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.3
IR Prueba 3	2.4		2.4		2.7	
IR Prueba 4	2.1		2.1		2.4	
IR Prueba 5	2.4			2.4		

20

\* Tamaño de los granos 1.4 y 4 mm

El índice de rendimiento es el ratio del desgaste de los yunques de referencia no reforzados respecto del desgaste del yunque reforzado. Un índice de 2 significa entonces que la pieza reforzada se desgasta dos veces menos rápido que las piezas de referencia. Se mide el desgaste en la parte que trabaja (mm gastados), allí donde está el refuerzo.

5 El rendimiento del inserto según el estado de la técnica es similar al de la macro-microestructura de la invención, salvo por el nivel de compactación del 85% de los granos, que muestra un rendimiento ligeramente superior. Sin embargo, si se comparan las cantidades de material utilizadas para equipar la zona de refuerzo, se verifica que, con 765 g de polvo de Ti + C, se obtiene el mismo rendimiento que con 1100 g de polvo Ti + C en forma de inserto. Teniendo en cuenta que esta mezcla costaba aproximadamente 75 Euro/kg en 2008, evaluamos las ventajas que proporciona la invención.

10 Globalmente y, según los casos, se gana entre el 20 y el 40% en masa del refuerzo respecto de un inserto del tipo de los que se describen en EP 1450973.

De este modo, si se considera una relación de 4 entre la densidad de la aleación ferrosa ( $\pm 7.6$ ) y la densidad a granel del refuerzo ( $\pm 1.9$ ), el agregado del 5% de masa de refuerzo corresponde a un refuerzo en la pieza final del 20% en volumen. Una pequeña cantidad de material de refuerzo puede colocarse de manera muy eficaz.

15 Ventajas

La presente invención presenta las siguientes ventajas respecto del estado de la técnica en general:

- utilización de menos material para un mismo nivel de refuerzo;
- mejor resistencia al impacto;
- igual resistencia al desgaste, incluso mejor;
- 20 – más flexibilidad en los parámetros de implementación (más flexibilidad para las aplicaciones);
- menos defectos de fabricación, particularmente
  - menos fallos de gas,
  - menor susceptibilidad al agrietamiento durante la fabricación,
  - mejor conservación del refuerzo en la pieza, que se traduce en un porcentaje menor de desecho;
- 25 – fácil infiltración del refuerzo, mediante la exotermia de la reacción, lo que permite:
  - realizar un refuerzo con un importante espesor,
  - colocar el refuerzo en la superficie,
  - reforzar las paredes delgadas;
- refuerzo localizado, limitado a los lugares deseados;
- 30 – superficie sana del carburo formado, lo que genera una buena unión con el metal de colada;
- no requiere aplicar presión durante la colada;
- no requiere atmósfera de protección especial;
- no requiere tratamiento posterior de compactación.

Mejor resistencia al impacto:

35 En el procedimiento según la invención, los granos milimétricos porosos se insertan en la aleación metálica de infiltración. Estos granos milimétricos están compuestos por partículas microscópicas, de tendencia globular, de TiC, que también se insertan en la aleación metálica de infiltración. Este sistema permite obtener una pieza compuesta con una macroestructura que tiene una microestructura idéntica a una escala aproximadamente mil veces más pequeña.

40 El hecho de que este material tenga pequeñas partículas globulares de carburo de titanio duras y finamente dispersas en una matriz metálica que las envuelve, permite evitar la formación y propagación de las fisuras (ver Fig. 4 y Fig. 6). Así, tenemos un doble sistema que disipa las fisuras.

Las fisuras suelen nacer en los lugares más frágiles, que son, en este caso, la partícula de TiC, o la interfase entre esta partícula y la aleación metálica de infiltración. Si nace una fisura en la interfase, o en la partícula micrométrica

de TiC, la propagación de esta fisura es obstaculizada por la aleación de infiltración que rodea dicha partícula. La tenacidad de la aleación de infiltración es superior a la de la partícula cerámica TiC. La fisura necesita más energía para pasar de una partícula a otra y atravesar los espacios micrométricos que existen entre las partículas.

5 Otra razón que explica la mejor resistencia al impacto y una aplicación más racional de carburo de titanio para realizar un refuerzo adecuado.

Resistencia al desgaste (comportamiento en funcionamiento)

10 Es importante destacar que esta mejor resistencia al impacto no perjudica la resistencia al desgaste. En esta técnica, las partículas duras están especialmente bien integradas a la aleación metálica de infiltración. En las aplicaciones sometidas a impactos violentos, es poco probable que se produzca un fenómeno de descascarillado de la parte reforzada.

Máxima flexibilidad para los parámetros de aplicación

15 Además del nivel de compactación de los granos, se pueden modificar dos parámetros: la fracción granulométrica y la forma de los granos y, en consecuencia, su densidad a granel. En cambio, en una técnica de refuerzo mediante inserto, sólo se puede modificar el nivel de compactación de este último en una franja limitada. En cuanto a la forma que se desea darle al refuerzo, teniendo en cuenta el diseño de la pieza y el lugar que se desea reforzar, la utilización de granos permite más posibilidades y adaptación.

Ventajas a nivel de la fabricación

La utilización como refuerzo de un apilamiento de granos porosos presenta algunas ventajas a nivel de la fabricación:

- 20 – menos desprendimiento gaseoso,
- menor susceptibilidad al agrietamiento,
- mejor localización del refuerzo en la pieza.

25 La reacción entre el Ti y el C es altamente exotérmica. El aumento de temperatura provoca una desgasificación de los reactivos, es decir, de las materias volátiles comprendidas en los reactivos ( $H_2O$  en el carbono,  $H_2$ ,  $N_2$  en el titanio). Cuanto más elevada es la temperatura de reacción, más importante es el desprendimiento. La técnica con granos permite limitar la temperatura y limitar el volumen gaseoso, facilitando la evacuación de los gases y, de este modo, limitar los fallos de gas (ver Fig. 12 con burbuja de gas indeseable).

Poca tendencia al agrietamiento durante la fabricación de la pieza de desgaste según la invención

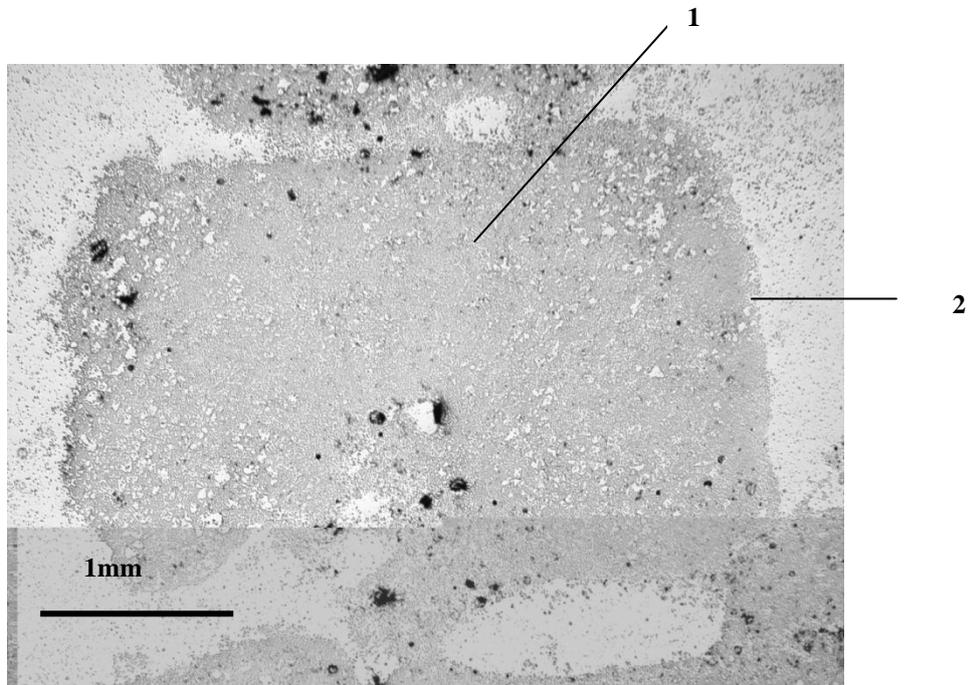
30 El coeficiente de dilatación del refuerzo TiC es más bajo que el de la matriz de aleación ferrosa (coeficiente de dilatación del TiC:  $7.5 \cdot 10^{-6}/K$  y de la ferroaleación: aproximadamente  $12.0 \cdot 10^{-6}/K$ ). Esta diferencia en los coeficientes de dilatación tiene como consecuencia generar tensiones en el material durante la fase de solidificación y durante el tratamiento térmico. Si estas tensiones son demasiado importantes, pueden aparecer grietas en la pieza que la convertirán en desecho. En la presente invención, se utiliza una pequeña proporción de refuerzo TiC (menos del 50% en volumen), lo que genera menos tensiones en la pieza. Además, la presencia de una matriz más dúctil entre las partículas globulares micrométricas de TiC en zonas alternadas de baja y alta concentración, permite asumir mejor las eventuales tensiones locales.

Excelente conservación del refuerzo en la pieza.

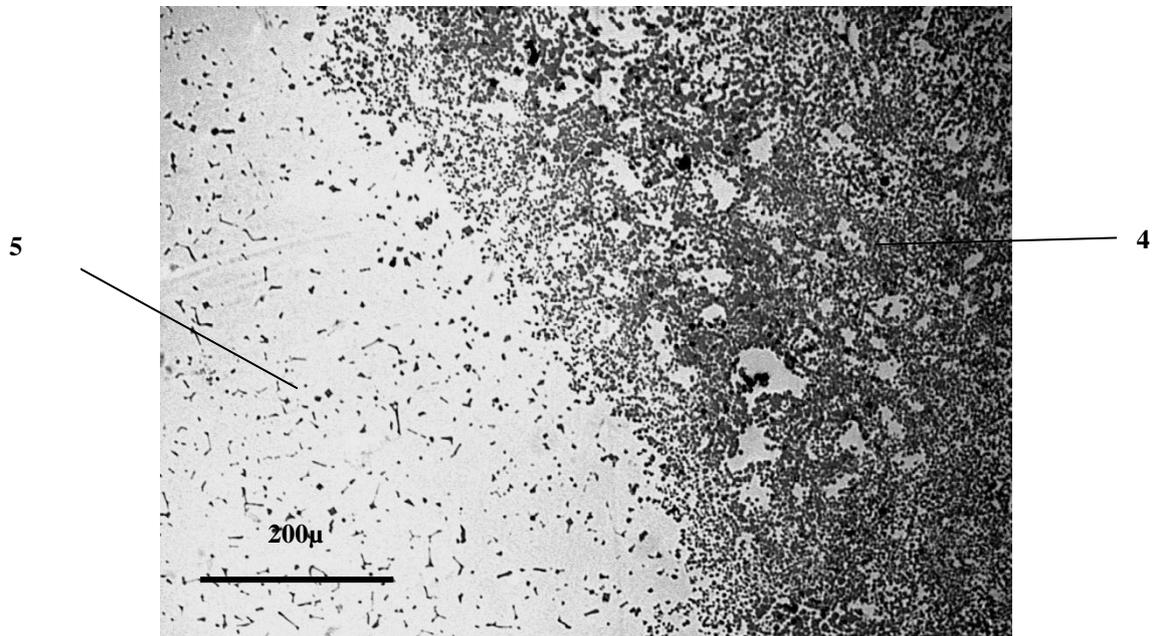
40 En la presente invención, el límite entre la parte reforzada y la parte no reforzada del compuesto jerarquizado no es abrupto, dado que hay una continuidad de la matriz metálica entre la parte reforzada y la parte no reforzada, lo que permite protegerla contra un arranque completo del refuerzo.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Material compuesto jerarquizado que contiene una aleación ferrosa reforzada con carburos de titanio según una geometría definida en la que, la parte reforzada contiene una macro-microestructura alternada de zonas milimétricas (1) concentradas en partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (4) separadas por zonas milimétricas (2) esencialmente exentas de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (4). Dichas zonas concentradas en partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (4) forman una microestructura en la que los intersticios micrométricos (3) entre dichas partículas globulares (4) también están ocupadas por dicha aleación ferrosa.
- 10 2. Material compuesto según la reivindicación 1, en el que dichas zonas milimétricas concentradas tienen una concentración de carburo de titanio (4) superior al 36.9% en volumen.
3. Material compuesto según la reivindicación 1, en el que la parte reforzada tiene un tenor global de carburo de titanio entre el 16.6 y el 50.5% en volumen.
4. Material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que las partículas micrométricas globulares de carburo de titanio (4) tienen un tamaño inferior a 50 µm.
- 15 5. Material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la mayor parte de las partículas micrométricas globulares de carburo de titanio (4) tienen un tamaño inferior a 20 µm.
6. Material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las zonas concentradas en partículas globulares de carburo de titanio (1) contienen del 36.9 al 72.2% en volumen de carburo de titanio.
- 20 7. Material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las zonas milimétricas concentradas en carburo de titanio (1) tienen una dimensión que varía de 1 a 12 mm.
8. Material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las zonas milimétricas concentradas en carburo de titanio (1) tienen una dimensión que varía de 1 a 6 mm.
9. Material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las zonas concentradas en carburo de titanio (1) tienen una dimensión que varía de 1.4 a 4 mm.
- 25 10. Material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el compuesto es una pieza de desgaste.
11. Procedimiento de fabricación mediante colada del material compuesto jerarquizado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que incluye las siguientes etapas:
  - 30 – puesta a disposición de un molde que contiene la huella del material compuesto jerarquizado con una geometría de refuerzo predefinida;
  - introducción, en la parte de la huella destinada a formar la parte reforzada, de una mezcla de polvos compactos que contienen carbono y titanio en forma de granos milimétricos precursores del carburo de titanio;
  - colada de una ferroaleación en el molde, el calor de dicha colada desencadena una reacción exotérmica de síntesis autopropagada de carburo de titanio a alta temperatura (SHS) en los mencionados granos precursores;
  - 35 – formación, en la parte reforzada del material compuesto jerarquizado, de una macro-microestructura alternada de zonas milimétricas concentradas (1) en partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (4) en el emplazamiento de dichos granos precursores. Dichas zonas están separadas entre sí por zonas milimétricas (2) esencialmente exentas de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (4). Dichas partículas globulares (4) también están separadas por intersticios micrométricos (3) en las zonas milimétricas concentradas
  - 40 (1) de carburo de titanio;
  - infiltración de los intersticios milimétricos (2) y micrométricos (3) por dicha ferroaleación de colada a alta temperatura, consecutiva a la formación de partículas microscópicas globulares de carburo de titanio (4).
12. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 11, en el que la mezcla de polvos compactos de titanio y carbono contiene un polvo de una ferroaleación.
- 45 13. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 11, en el que dicho carbono es grafito.
14. Material compuesto jerarquizado obtenido según el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13.
15. Herramienta o máquina que contiene un material compuesto jerarquizado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 o según la reivindicación 14.

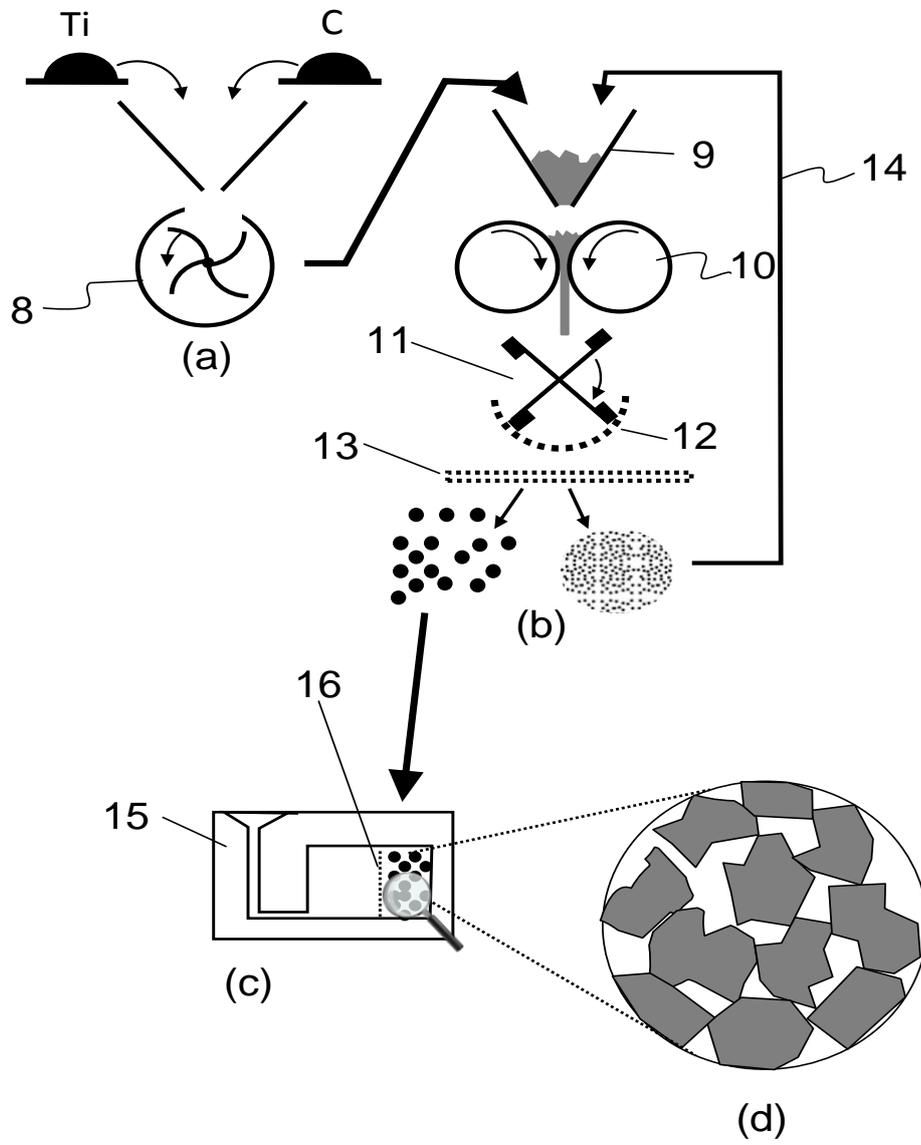


**Fig. 1**

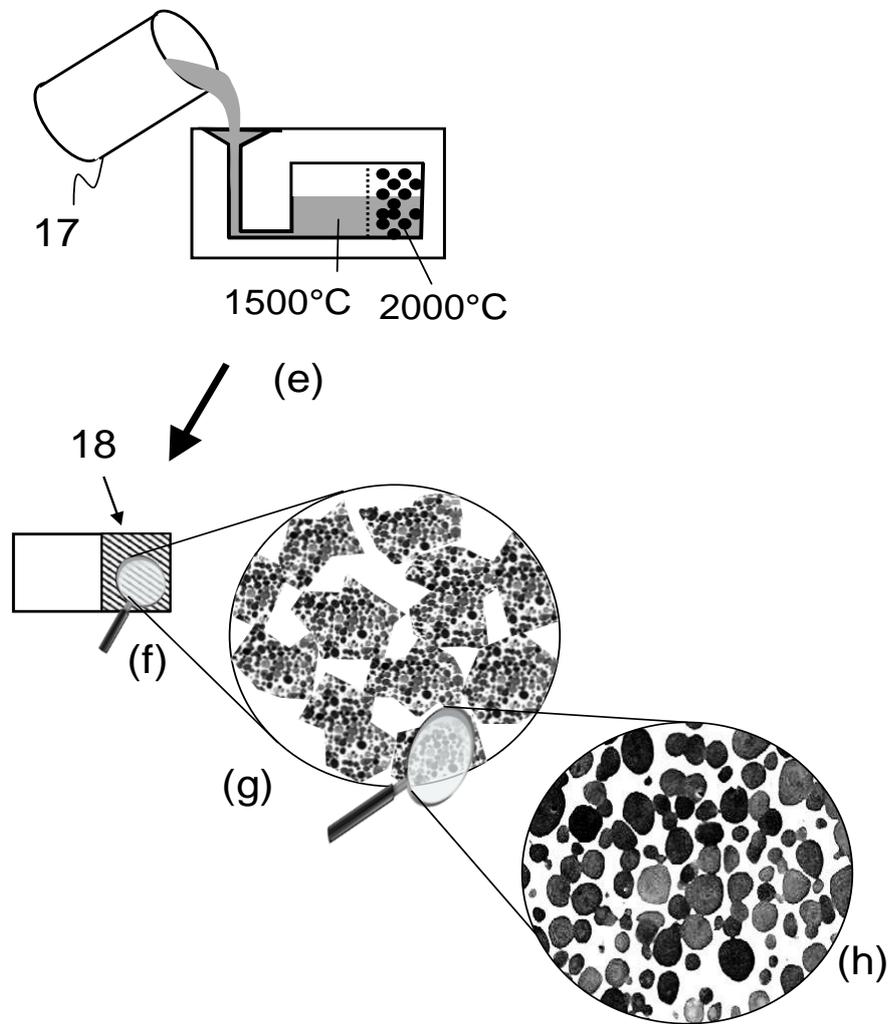


**Fig. 2**

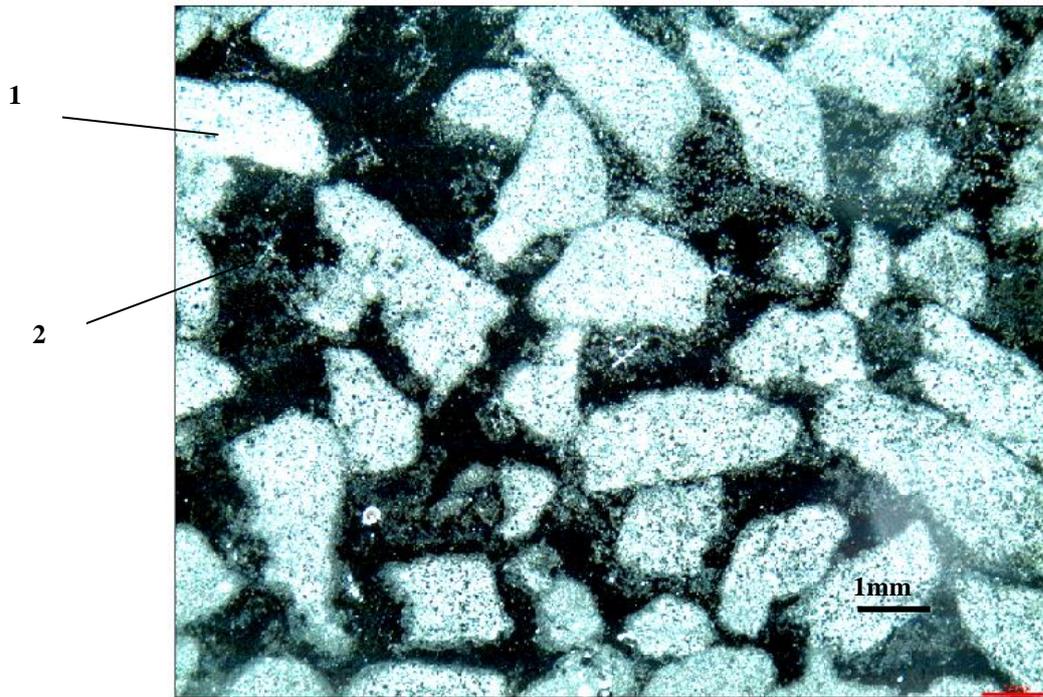
5



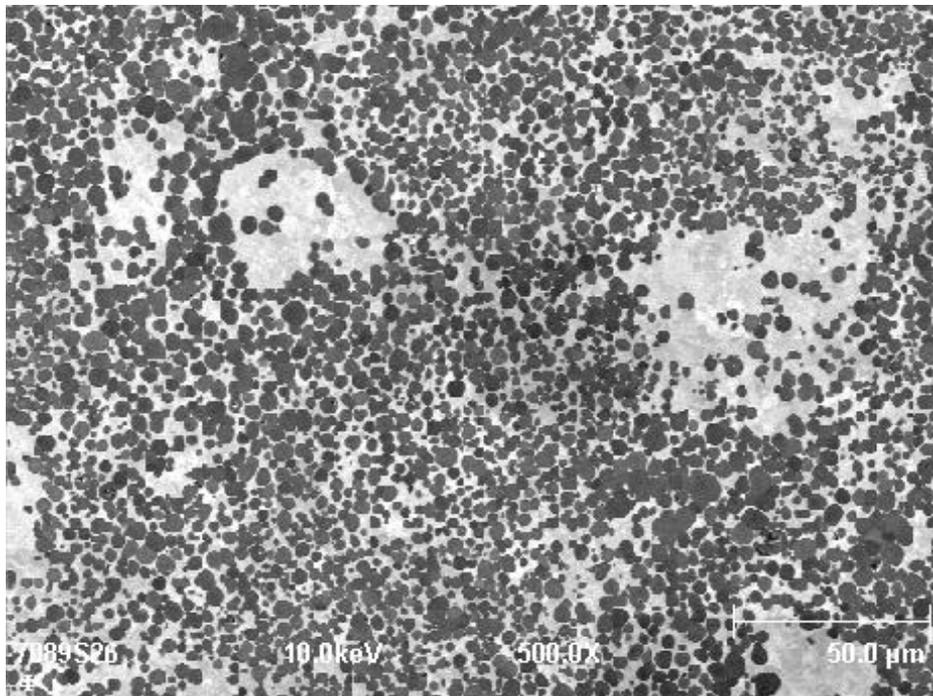
**Fig. 3a-3d**



**Fig. 3e-3h**

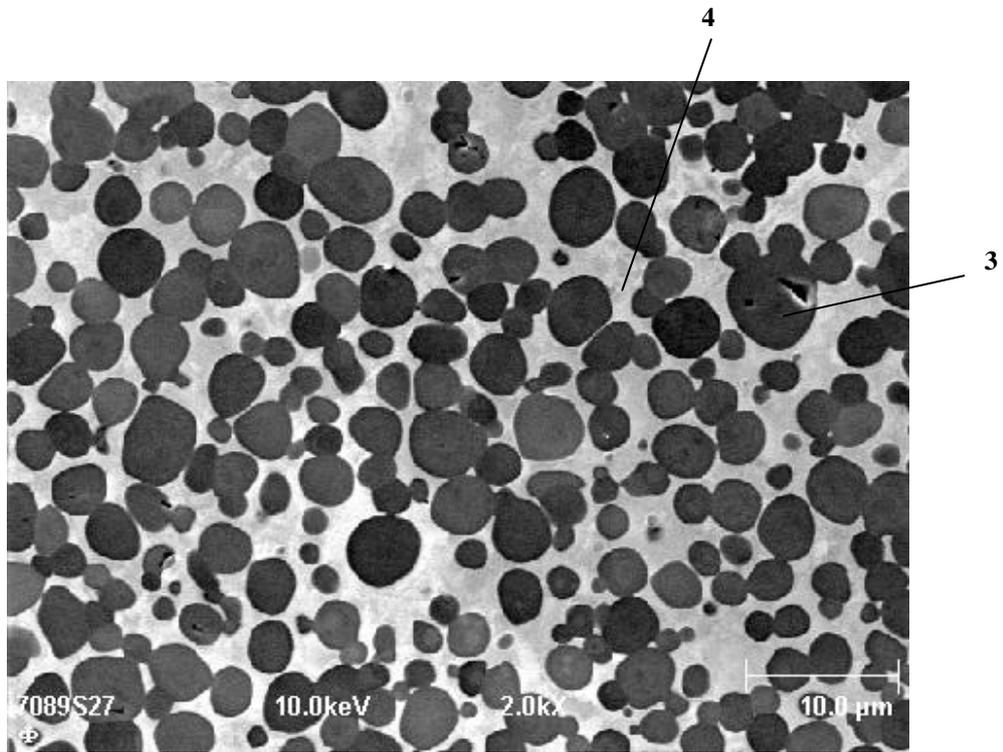


**Fig. 4**



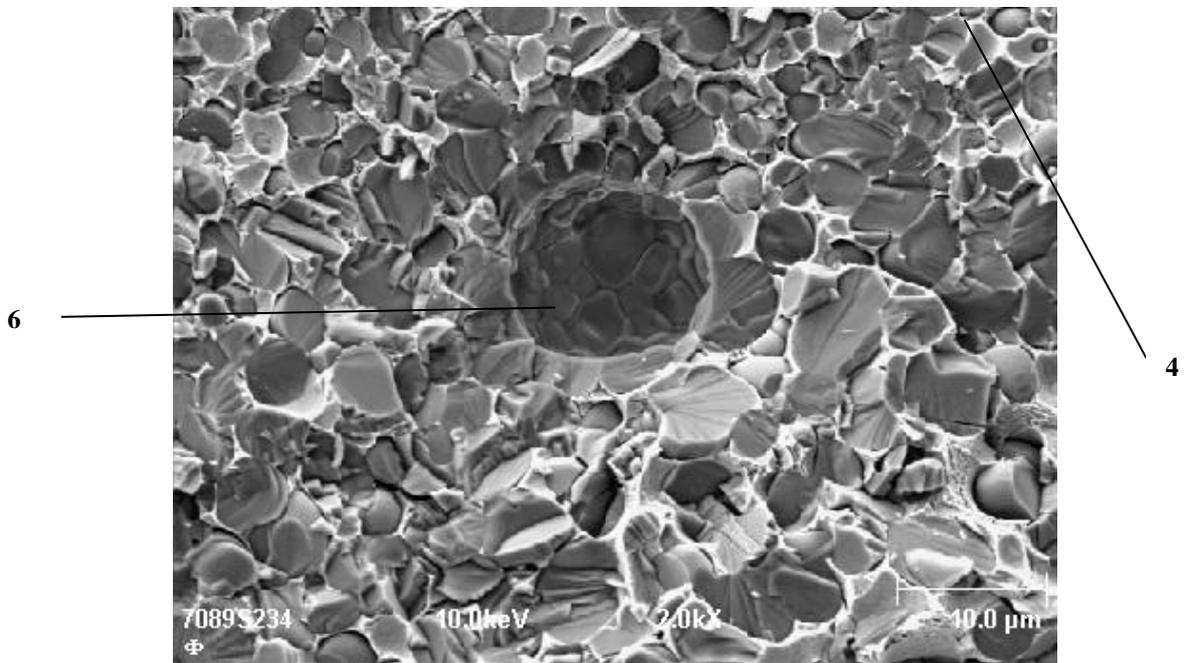
**Fig. 5**

5

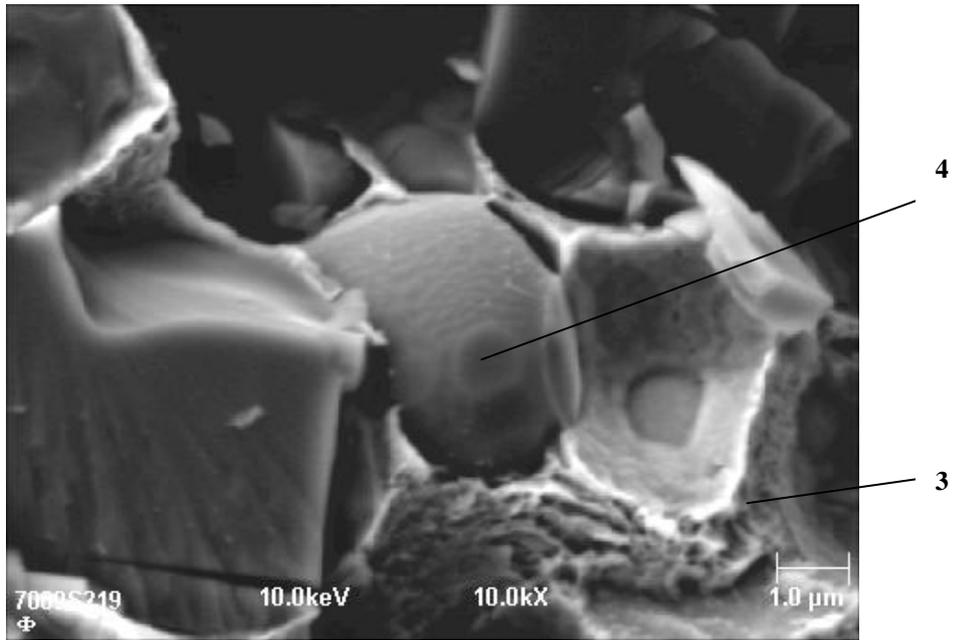


**Fig. 6**

5



**Fig. 7**

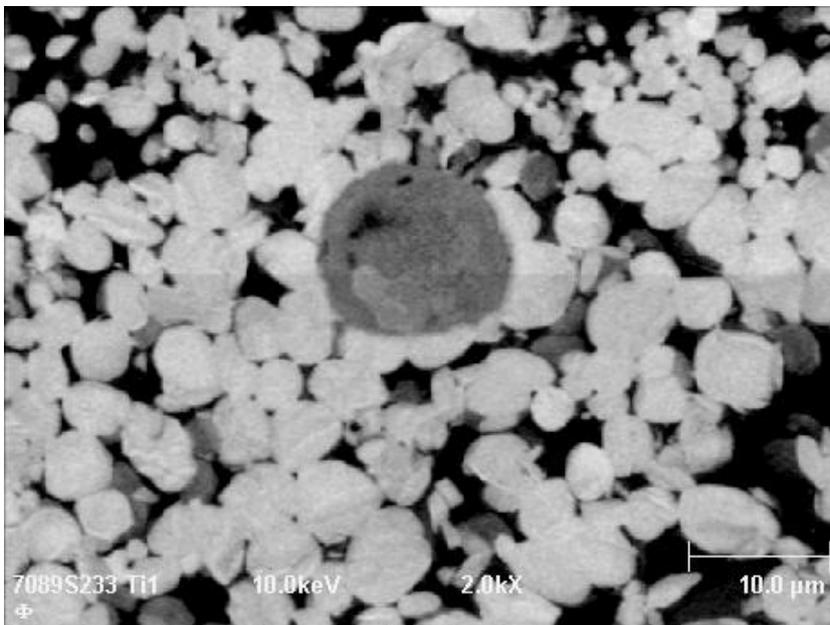


**Fig. 8**

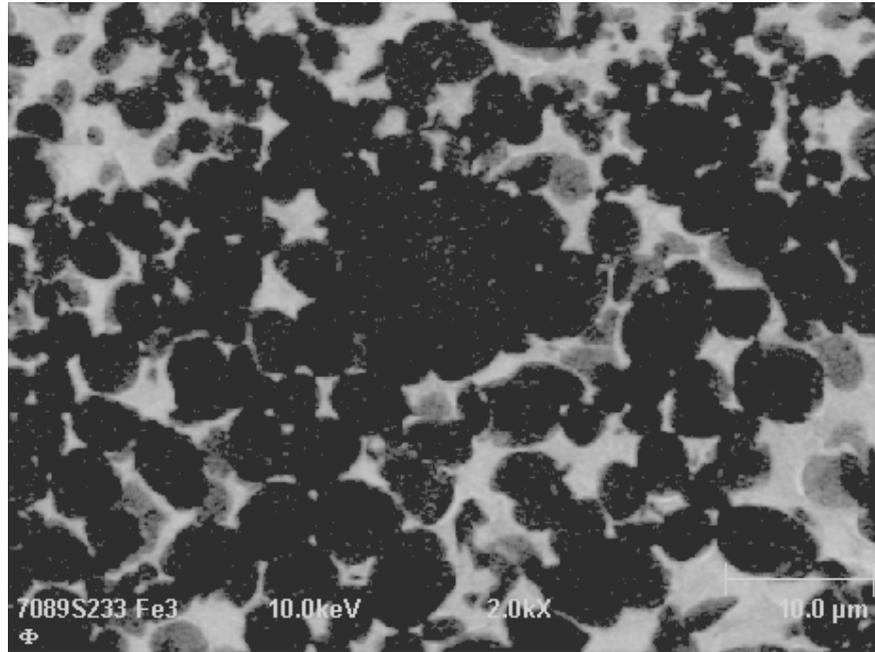
5

10

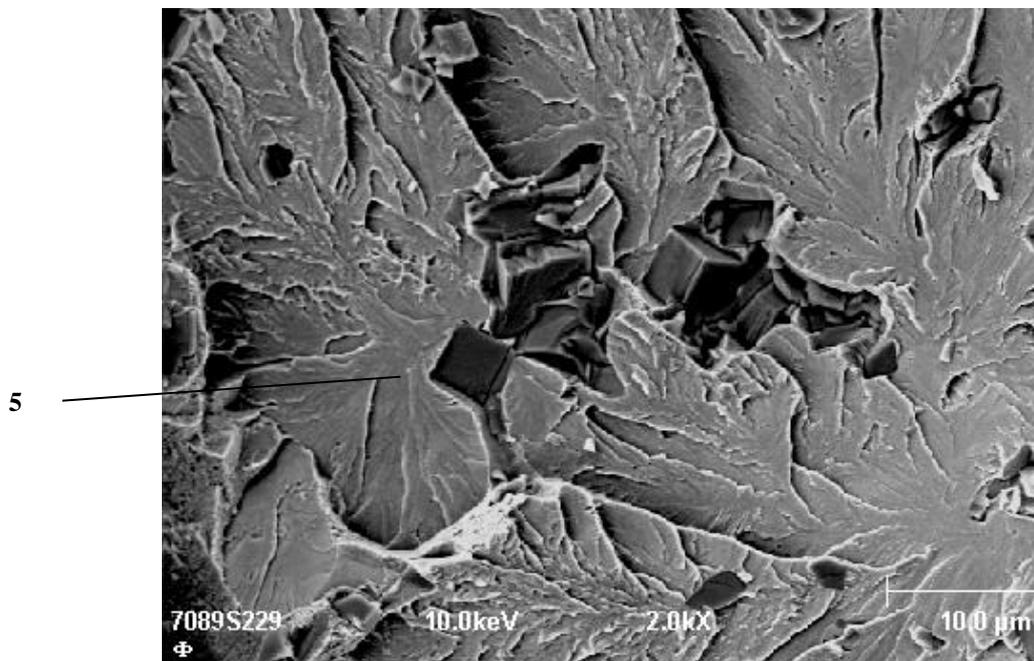
15



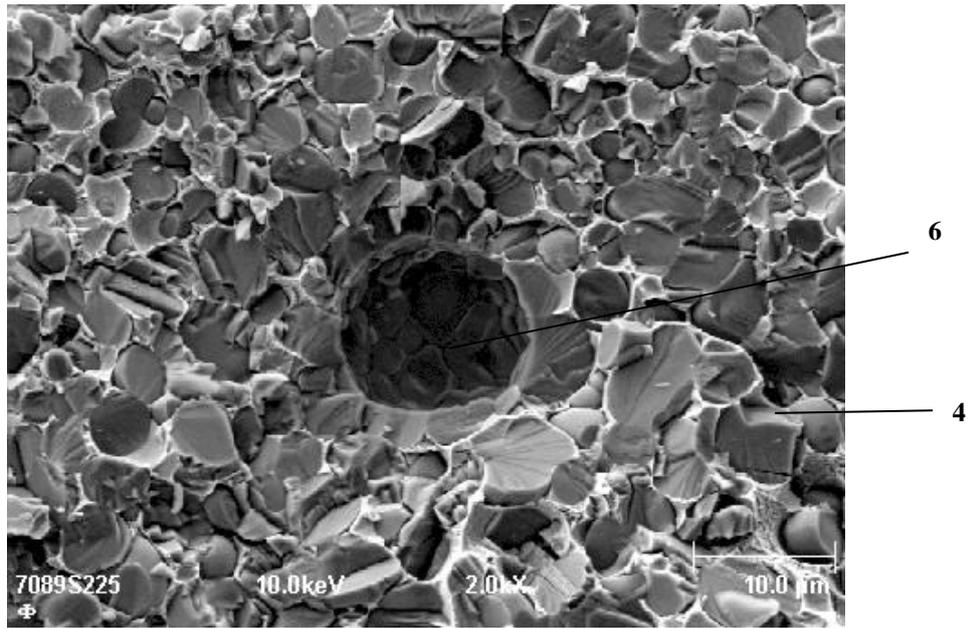
**Fig. 9 (Ti)**



**Fig. 10 (Fe)**



**Fig. 11**



**Fig. 12**



**Fig. 13**

5

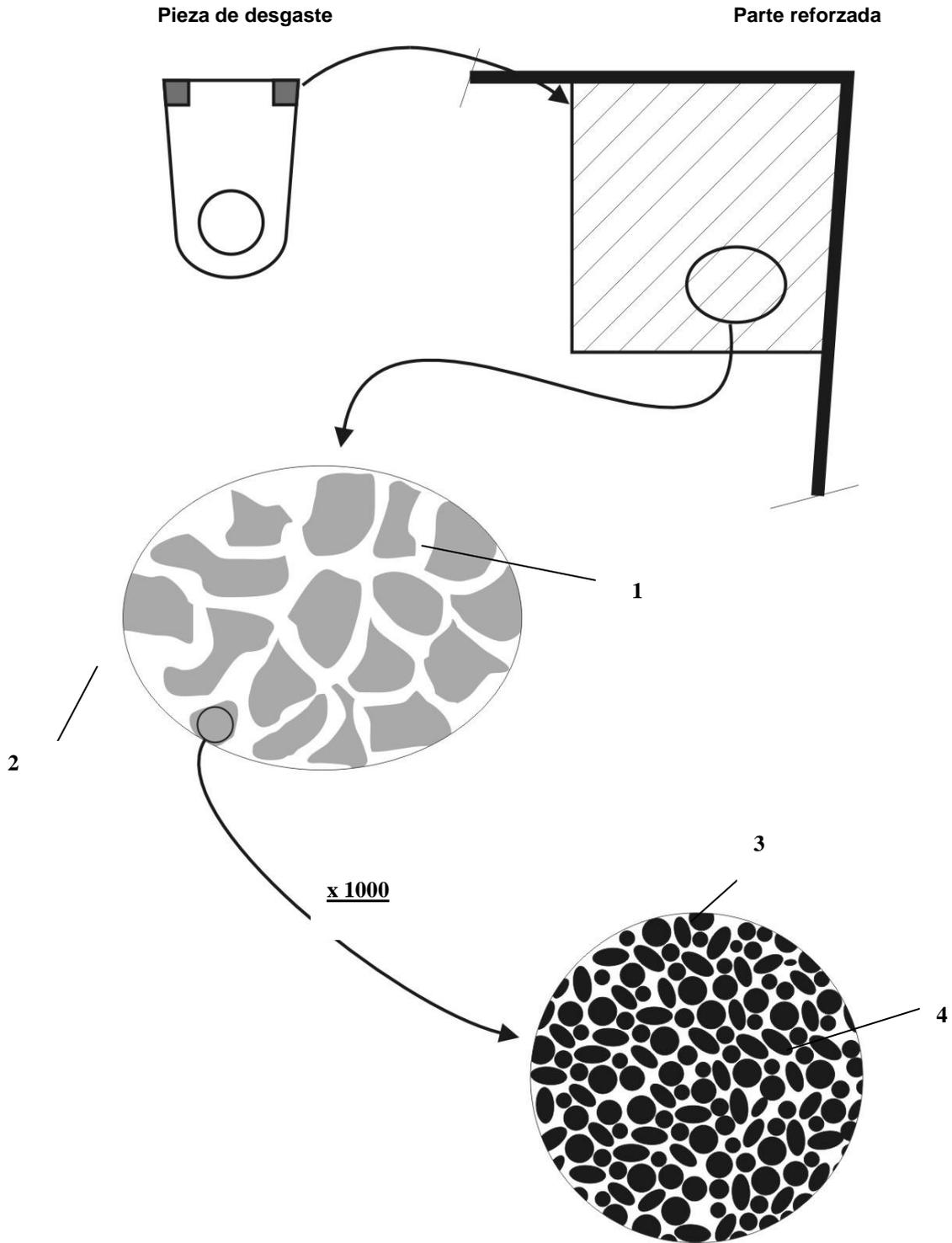


Fig. 14