

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 142**

51 Int. Cl.:  
**C22C 1/05** (2006.01)  
**E02F 9/28** (2006.01)  
**C22C 29/06** (2006.01)  
**C22C 33/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09782199 .5**  
96 Fecha de presentación: **26.08.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2329052**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.06.2011**

54 Título: **Diente compuesto para el trabajo de suelo o rocas**

30 Prioridad:  
**19.09.2008 BE 200800518**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**18.06.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**18.06.2012**

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

72 Inventor/es:  
**BERTON, Guy**

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

ES 2 383 142 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

Diente compuesto para el trabajo de suelo o rocas.

### 5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un diente compuesto destinado a equipar una máquina para el trabajo del suelo o de las rocas. Se refiere, particularmente, a un diente que contiene una matriz metálica reforzada con partículas de carburo de titanio.

10

### Definición

La expresión "diente" debe interpretarse en sentido amplio. Incluye todo elemento de cualquier dimensión que presente una forma puntiaguda o achatada, destinado especialmente a trabajar el suelo, el fondo de las corrientes de agua o mares, las rocas, en superficie o en las minas.

15

### Estado de la técnica

Se conocen pocos medios para modificar la dureza y la resistencia al impacto de una aleación de fundición en profundidad "en la masa". Los medios conocidos suelen abarcar modificaciones en superficie de poca profundidad (algunos mm). En los dientes realizados en fundición, los elementos de refuerzo deben estar presentes en profundidad con el fin de resistir a exigencias localizadas importantes y simultáneas en términos de tensiones mecánicas, desgaste e impacto, y también porque un diente se usa en gran parte de su longitud.

20

La recarga de dientes con carburos metálicos (Technosphère® - Technogenia) mediante soldeo oxiacetilénico es conocida. Este tipo de recarga permite disponer de una capa de carburo de unos milímetros de espesor en la superficie de un diente. Sin embargo, este tipo de refuerzo no está integrado a la matriz metálica del diente y no garantiza el mismo rendimiento que un diente cuyo refuerzo de carburo está completamente incorporado a la masa de la matriz metálica.

25

El documento EP 1 450 973 B1 describe un refuerzo de piezas de desgaste que se realiza colocando, en el molde destinado a recibir el metal de colada, un inserto constituido por polvos reactivos que reaccionan entre sí, gracias al calor que aporta el metal durante la colada a alta temperatura (> 1400°C). Tras la reacción de tipo SHS, los polvos del inserto reactivo crearán un aglutinante poroso relativamente uniforme (conglomerado) de partículas duras; una vez formado, este aglutinante poroso se infiltrará inmediatamente con el metal de colada a alta temperatura. La reacción de los polvos es exotérmica y autopropagada, lo que permite una síntesis de los carburos a alta temperatura y aumenta considerablemente la mojabilidad del aglutinante poroso por el metal de infiltración.

30

El documento US 5.081.774 describe diferentes maneras de colocar en un diente de forma chata insertos de fundición al cromo, destinados a aumentar su rendimiento. Se sabe que los límites de este tipo de técnica son, por un lado, la macidez del refuerzo que tiende a fragilizar la pieza y, por el otro, la unión (soldadura) insuficiente entre los insertos y el metal de base de la pieza.

40

El documento US 5.337.801 (Materkowski) describe otro método para colocar partículas duras de carburo de tungsteno en la superficie operante de los dientes. En este caso, primero hay que preparar insertos de acero que contengan partículas duras; luego, estos insertos se colocan en el molde para ser incorporados al metal de base colado para realizar la pieza. Este procedimiento es largo y costoso, no excluye una eventual reacción entre el carburo de tungsteno y el metal de los insertos y no siempre garantiza una soldadura perfecta de las partículas duras con el metal de base.

45

50

### Objetivos de la invención

La presente invención se refiere a un diente compuesto para una herramienta de trabajo en suelos o rocas, en particular para herramientas de excavación o dragado, que presenta una resistencia mejorada contra el desgaste sin menoscabar la resistencia a los impactos. Esta propiedad se obtiene mediante una estructura compuesta de refuerzo específicamente diseñada para esta aplicación, material que hace alternar a escala milimétrica zonas densas de finas partículas globulares micrométricas de carburos metálicos con zonas que están prácticamente exentas de estas en la matriz metálica del diente.

55

La presente invención también propone un procedimiento para obtener dicha estructura de refuerzo.

60

### Resumen de la invención

La presente invención se refiere a un diente compuesto para el trabajo de suelos o rocas, dicho diente contiene una ferroaleación reforzada, al menos en parte, con carburo de titanio según una geometría definida, en el que dicha parte reforzada contiene una macro-microestructura alternada de zonas milimétricas concentradas en partículas

65

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 la ferroaleación.

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

- 10 – 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;
- 15 – las partículas micrométricas globulares de carburo de titanio tienen un tamaño inferior a 50 µm;
- la mayor parte de las partículas micrométricas globulares de carburo de titanio tiene un tamaño inferior a 20 µm;
- las zonas concentradas en partículas globulares de carburo de titanio contienen del 36,9 al 72,2% en volumen de carburo de titanio;
- 20 – 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;
- 25 – las zonas concentradas de carburo de titanio tienen una dimensión que varía de 1,4 a 4 mm.

La presente invención también describe un procedimiento de fabricación del diente compuesto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que incluye las siguientes etapas:

- 30 – puesta a disposición de un molde que contiene la huella del diente con una geometría de refuerzo predefinida;
- introducción de una mezcla de polvos compactos que contienen carbono y titanio en forma de granos milimétricos precursores de carburo de titanio, en la parte de la huella del diente destinada a formar la parte reforzada (5);
- 35 – 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 diente compuesto, 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;
- 40 – 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.
- 45

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

- 50 – los polvos compactos de titanio y carbono contienen un polvo de una ferroaleación;
- dicho carbono es grafito.

55 La presente invención también describe un diente compuesto obtenido según el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13.

#### **Breve descripción de las figuras**

60 Las figuras 1a y 1b muestran una vista en tres dimensiones de dientes sin refuerzo según el estado de la técnica.

Las figuras 1c a 1h muestran una vista en tres dimensiones de dientes con un refuerzo según la invención.

65 La figura 2 muestra ejemplos ilustrativos de herramientas sobre las que se montarán los dientes según la invención. Herramientas de excavación y perforación.

La figura 3a-3h representa el procedimiento de fabricación del diente representado en la figura 1b según la invención.

- 5            - 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 trituration y un tamizado con reciclado de las partículas demasiado finas;
- 10           - 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 diente de tipo 1d;
- 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;
- 15           - la etapa 3e muestra la colada de la ferroaleación en el molde;
- la figura 3f muestra el diente de tipo 1b resultante de la colada;
- la figura 3g muestra una ampliación de las zonas con alta concentración de nódulos de TiC - este esquema representa las mismas zonas que la figura 4;
- 20           - 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.

25           La figura 4 representa una vista con binocular de una superficie pulida, no atacada, de un corte de la parte reforzada del diente según la invención con zonas milimétricas (en gris claro) concentradas de carburo de titanio globular micrométrico (glóbulos de TiC). 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 pero también los espacios entre los propios glóbulos. (Ver figuras 5 y 6).

30           Las figuras 5 y 6 representan vistas tomadas con microscopio electrónico SEM, de carburo de titanio globular micrométrico 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  $\mu\text{m}$ .

35           La figura 7 representa una vista de carburo de titanio globular micrométrico sobre una superficie de ruptura tomada 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.

40           **Leyenda**

1. zonas milimétricas concentradas de partículas globulares (nódulos) micrométricas de carburo de titanio (zonas claras)
- 45           2. intersticios milimétricos rellenos por la ferroaleación de fundición generalmente exentos de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (zonas oscuras)
3. intersticios micrométricos entre los nódulos de TiC infiltrados también por la aleación de colada
- 50           4. carburo de titanio globular micrométrico, en las zonas concentradas de carburo de titanio
5. refuerzo de carburo de titanio
6. fallas de gas
- 55           7. (libre)
8. mezclador de polvos de Ti y C
- 60           9. tolva
10. rodillo
11. triturador
- 65           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

17. cuchara de colada

18. diente de tipo 1d

### Descripción detallada de la invención

En la ciencia de los materiales, se llama reacción SHS o "self-propagating high temperature síntesis", a la reacción de síntesis a alta temperatura 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 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 de 1 a 12 mm, de preferencia de 1 a 6 mm y, de manera particularmente preferente, de 1,4 a 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-3h).

Los granos milimétricos de polvos de carbono y titanio mezclados, obtenidos según los esquemas de la figura 3a-3h, 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.

El diente compuesto para el trabajo de suelos o rocas según la invención posee una macro-microestructura de refuerzo que también puede llamarse estructura alternada de zonas concentradas de partículas micrométricas globulares de carburo de titanio separadas por zonas prácticamente exentas de las mismas. Este tipo de estructura se obtiene por la reacción en el molde 15 de los granos que contienen una mezcla de polvos de carbono y titanio. 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.

Esta síntesis a alta temperatura (SHS) permite que se infiltren fácilmente todos los intersticios milimétricos y micrométricos de hierro o acero fundido (Fig. 3g & 3h). Al aumentar la mojabilidad, la infiltración puede realizarse en cualquier espesor o profundidad de refuerzo del diente. Después de la reacción SHS y la infiltración de un metal de colada externo, permite crear, de manera ventajosa, una o varias zonas de refuerzo sobre el diente, con una alta concentración de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (que también podríamos llamar clusters de nódulos). Estas zonas tienen un tamaño del orden del milímetro o de algunos milímetros y alternan con zonas esencialmente exentas de carburo de titanio globular.

Una vez que estos granos reaccionaron con una reacción SHS, las zonas de refuerzo en las que se encontraban estos granos muestran una dispersión concentrada de partículas globulares micrométricas de carburo TiC (glóbulos) cuyos intersticios micrométricos 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 diente; esto permite una libertad total de elección del metal de colada. En el diente obtenido finalmente, las zonas de refuerzo de alta concentración de carburo de titanio están compuestas por partículas globulares micrométricas de TiC en porcentaje importante (entre el 35 y el 70 % en volumen, aproximadamente) y de la ferroaleación de infiltración.

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

Obtención de los granos (versión Ti + C) para el refuerzo del diente

El procedimiento de obtención de los granos se refleja en la figura 3a-3h. Los granos de reactivos carbono/titanio se obtienen compactándolos entre dos 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 la banda y, en consecuencia, se comprimirán los granos. De este modo, se puede modificar 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 diente compuesto 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, se los coloca en las zonas del molde en las que 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.

10 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 variando la presión entre los rodillos de 10 a  $250 \cdot 10^5$  Pa.

15 El refuerzo se realizó colocando los granos en un contenedor metálico, que luego se colocó cuidadosamente en un molde, en el lugar donde el diente puede ser reforzado. Luego, se vierte el acero o el hierro fundido en este molde.

### Ejemplo 1

20 En este ejemplo, el objetivo es realizar un diente cuyas zonas reforzadas contengan un porcentaje en volumen global de TiC de aproximadamente un 42%. Para ello, se realiza una banda mediante compactación al 85% de la densidad teórica de una mezcla de C y Ti. Después de la trituración, 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  $2,1 \text{ g/cm}^3$  (35 % de espacio entre los granos + 15% de porosidad en los granos).

25 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 al cromo (3% C, 25% Cr) a unos  $1500^\circ\text{C}$  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 del diente.

### Ejemplo 2

35 En este ejemplo, el objetivo es realizar un diente cuyas zonas reforzadas contengan un porcentaje en volumen global de TiC de aproximadamente un 30 %. Para ello, se realiza una banda mediante compactación al 70 % de la densidad teórica de una mezcla de C y Ti. Después de la trituración, 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  $1,4 \text{ g/cm}^3$  (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 del diente.

### Ejemplo 3

45 En este ejemplo, el objetivo es realizar un diente cuyas zonas reforzadas contengan un porcentaje en volumen global de TiC de aproximadamente un 20%. Para ello, se realiza una banda mediante compactación al 60% de la densidad teórica de una mezcla de C y Ti. Después de la trituración, 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  $1,0 \text{ g/cm}^3$  (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 del diente.

### Ejemplo 4

55 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 un diente cuyas zonas reforzadas contengan un porcentaje en volumen global de TiC de aproximadamente un 30%. Para ello, se realiza una banda mediante compactación al 85% de la densidad teórica de una mezcla en peso de 15% de C, 63% de Ti y 22% de Fe. Después de la trituración, 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  $2 \text{ g/cm}^3$  (45% de espacio entre los granos + 15% 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 una alta concentración de aproximadamente un 55% de carburo de titanio globular, es decir, un 30% en volumen global de carburo de titanio en la macro-microestructura reforzada del diente.

Los siguientes cuadros muestran las numerosas combinaciones posibles.

Cuadro 1 (Ti + 0,98 C)

5 Porcentaje global de TiC obtenido en la macro-microestructura reforzada después de la reacción Ti + 0,98 C en la parte reforzada del diente

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

10 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

20 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

25 Aquí, representamos la densidad de los granos en función de su nivel de compactación y descontamos el porcentaje volumico 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

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

35 (\*) 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 del diente 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.

Ti + 0,98 C + Fe

45 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:

$$100 \text{ g Ti} + 24,5 \text{ g C} + 35,2 \text{ g Fe}$$

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

## ES 2 383 142 T3

Densidad teórica de la mezcla: 4,25 g/cm<sup>3</sup>  
 Contracción volumétrica durante la reacción: 21 %

### Cuadro 4

- 5 Porcentaje global de TiC obtenido en la macro-microestructura reforzada después de la reacción Ti + 0,98 C + Fe en la parte reforzada del diente

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

- 10 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.

### 15 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

### 20 Cuadro 6

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

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

- 25 (\*) Densidad a granel (1,5) = densidad teórica (4,25) x 0,65 (Llenado) x 0,55 (compactación)

### Ventajas

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

*Mejor resistencia al impacto;*

- 35 Con este procedimiento, los granos milimétricos porosos se insertan en la aleación metálica de infiltración. Estos granos milimétricos están compuestos por partículas microscópicas de TiC, de tendencia globular, que también se insertan en la aleación metálica de infiltración. Este sistema permite obtener un diente con una zona de refuerzo que tiene una macroestructura en la cual hay una microestructura idéntica a una escala aproximadamente mil veces más pequeña.

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

- 45 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 la otra y atravesar los espacios micrométricos que existen entre las partículas.

*Máxima flexibilidad para los parámetros de aplicación*

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 del diente 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:

- menos desprendimiento gaseoso,
- menor susceptibilidad al agrietamiento,
- mejor localización del refuerzo en el diente.

La reacción entre el Ti y el C es altamente exotérmica. El aumento de temperatura provoca una desgasificación de los reactivos, es decir, 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, limitar el volumen gaseoso, y permite una evacuación más fácil de los gases, limitando los fallos de gas. (ver Fig. 7 con burbuja de gas indeseable).

Poca susceptibilidad al agrietamiento durante la fabricación del diente según la invención

El coeficiente de dilatación del refuerzo TiC es más bajo que el de la matriz de ferroaleación (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 manejar mejor las eventuales tensiones locales.

Excelente conservación del refuerzo en el diente.

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

Resultados de pruebas

La ventaja del diente según la presente invención, respecto de los dientes no compuestos implica una mejora de la resistencia al desgaste del orden del 300%. De manera más detallada, y según las circunstancias de la prueba (dragado), se pudo verificar el siguiente rendimiento (expresado en vida útil del diente por un volumen de trabajo dado) en los productos realizados según la invención (refuerzo tipo Fig. 1f que contiene, globalmente, un porcentaje en volumen de TiC del 30% vol - ejemplo 2), comparado con dientes idénticos de acero templado.

- calcáreo duro: 2,5 veces;
- mezcla de arcilla dura, arena y grava compactadas: 2,9 veces;
- mezcla de arena y arcilla dura: 3,2 veces;
- mezcla de esquisto y arena: 3,4 veces;

Globalmente, la vida útil del diente tipo 1f (ver Fig. 1f) con un 30% vol de TiC en la parte reforzada es de 2,5 a 3,4 veces más larga que en un diente idéntico de acero templado.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Diente compuesto para el trabajo de suelos o rocas, dicho diente contiene una ferroaleación reforzada, al menos en parte (5), con carburo de titanio según una geometría definida, en la que dicha parte reforzada (5) 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 la ferroaleación.
- 10 2. Diente según la reivindicación 1, en el que dichas zonas milimétricas concentradas tienen una concentración de partículas globulares micrométricas de carburo de titanio (4) superior al 36,9% en volumen.
- 15 3. Diente según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que la parte reforzada tiene un tenor global de carburo de titanio entre el 16,6 y el 50,5% en volumen.
- 20 4. Diente según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las partículas micrométricas globulares de carburo de titanio (4) tienen un tamaño inferior a 50 µm.
- 25 5. Diente según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la mayor parte de las partículas micrométricas globulares de carburo de titanio (4) tiene un tamaño inferior a 20 µm.
6. Diente 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.
7. Diente según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las zonas concentradas en carburo de titanio (1) tienen una dimensión que varía de 1 a 12 mm.
- 30 8. Diente según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las zonas concentradas en carburo de titanio (1) tienen una dimensión que varía de 1 a 6 mm.
9. Diente 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.
- 35 10. Procedimiento de fabricación mediante colada de un diente compuesto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que incluye las siguientes etapas:
- puesta a disposición de un molde que contiene la huella del diente con una geometría de refuerzo predefinida;

40 – Introducción de una mezcla de polvos compactos que contienen carbono y titanio en forma de granos milimétricos precursores de carburo de titanio en la parte de la huella del diente destinada a formar la parte reforzada (5);

  - 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;

45 – formación, en la parte reforzada (5) del diente, 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 (1) de carburo de titanio;

50 – 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).

55 11. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 10, en el que la mezcla de polvos compactos de titanio y carbono contiene un polvo de una ferroaleación.

60 12. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, en el que dicho carbono es grafito.

13. Diente obtenido según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12.

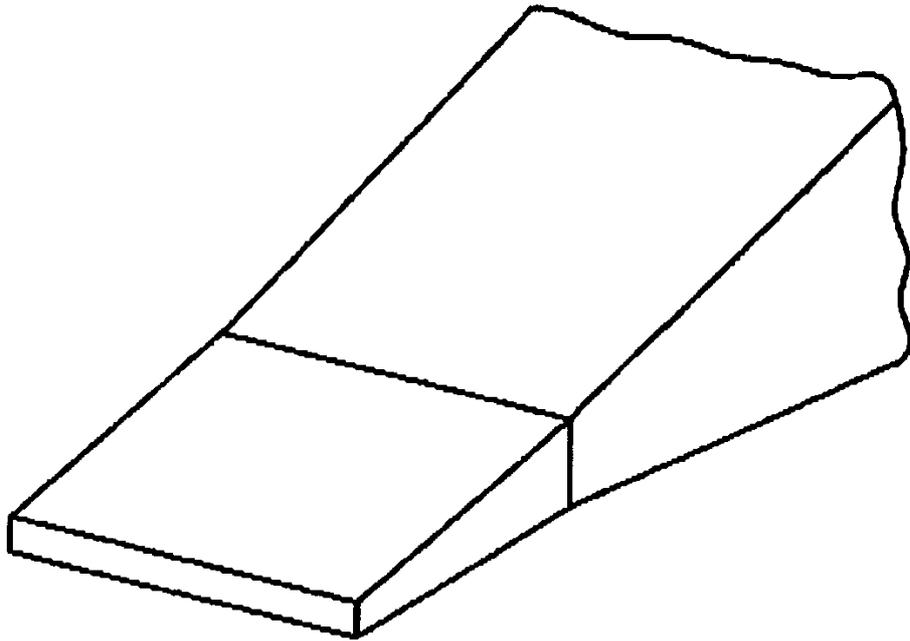


Fig. 1a

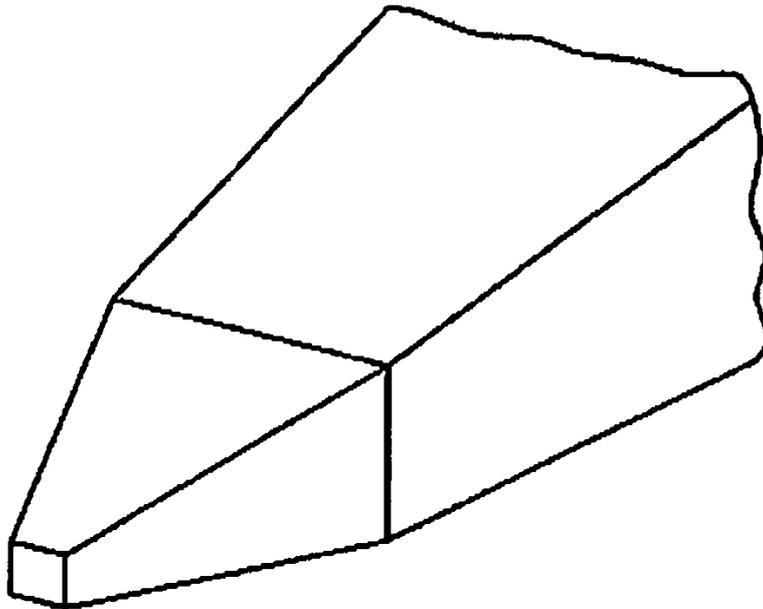


Fig. 1b

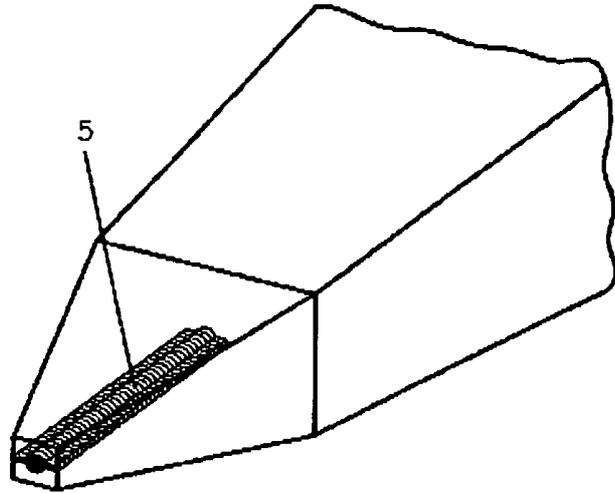


Fig. 1c

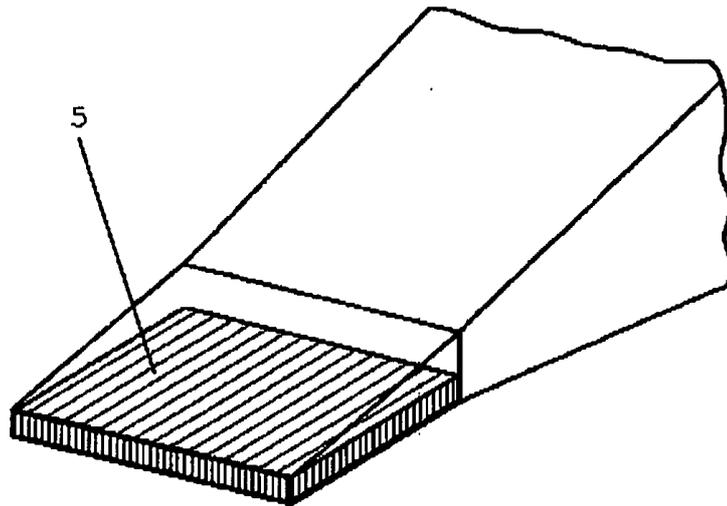


Fig. 1d

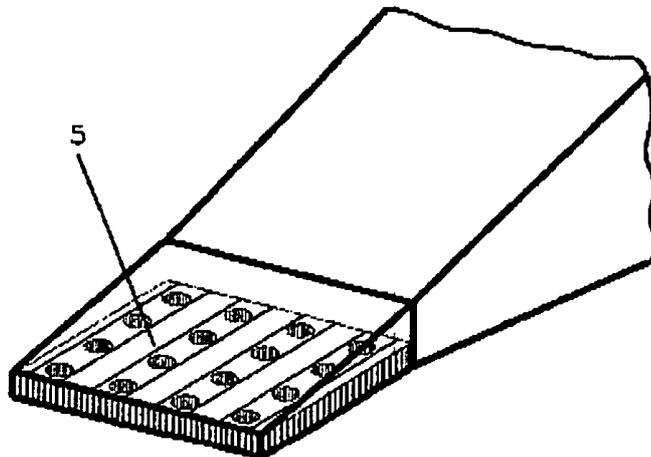


Fig. 1e

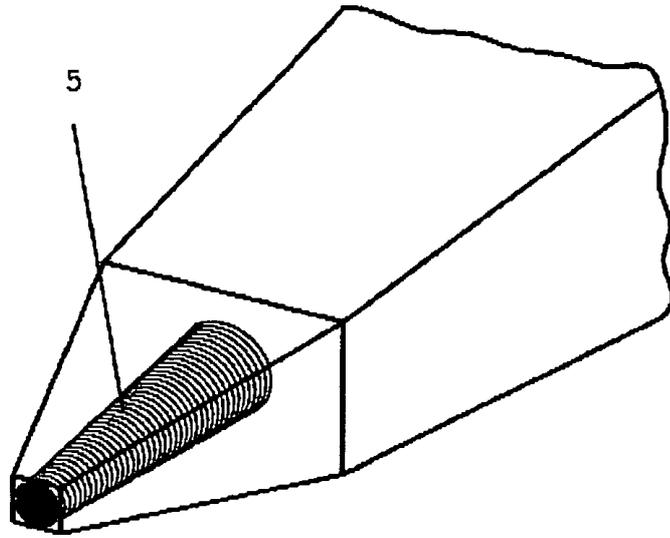


Fig. 1f

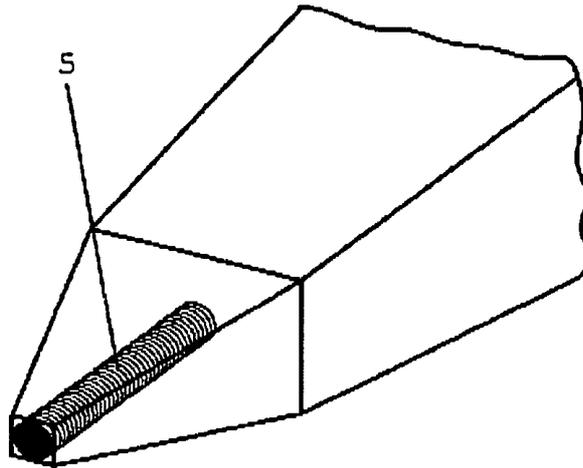


Fig. 1g

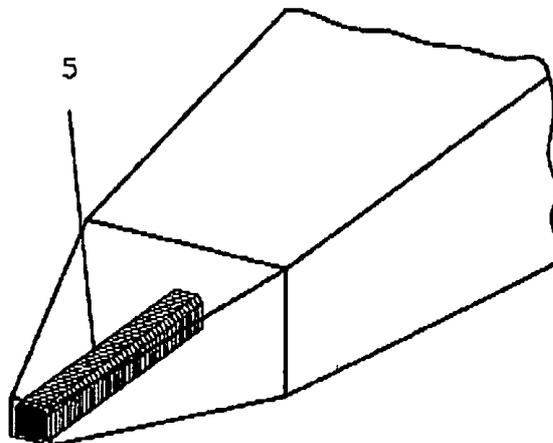
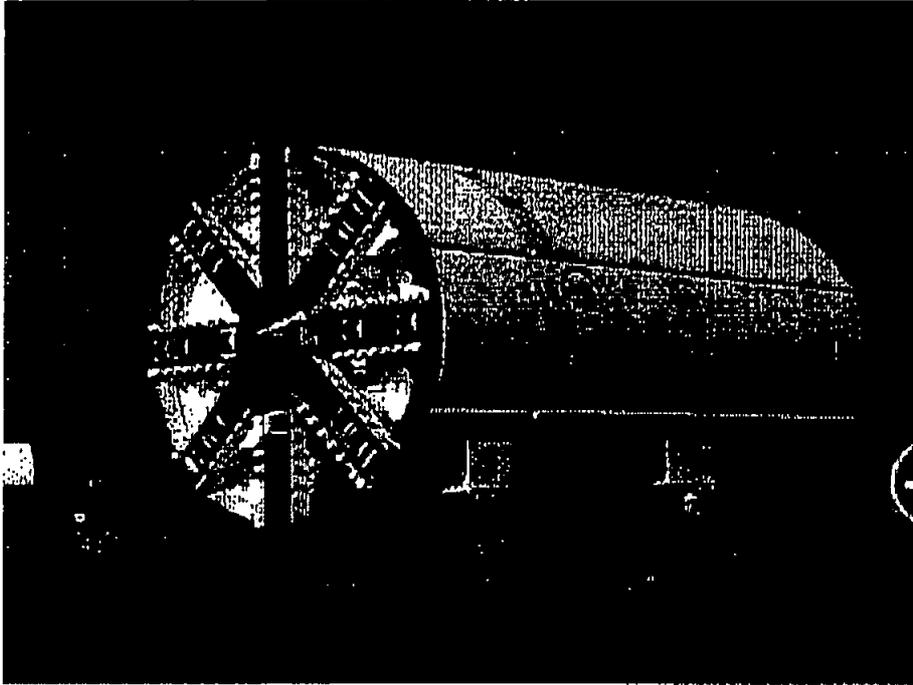
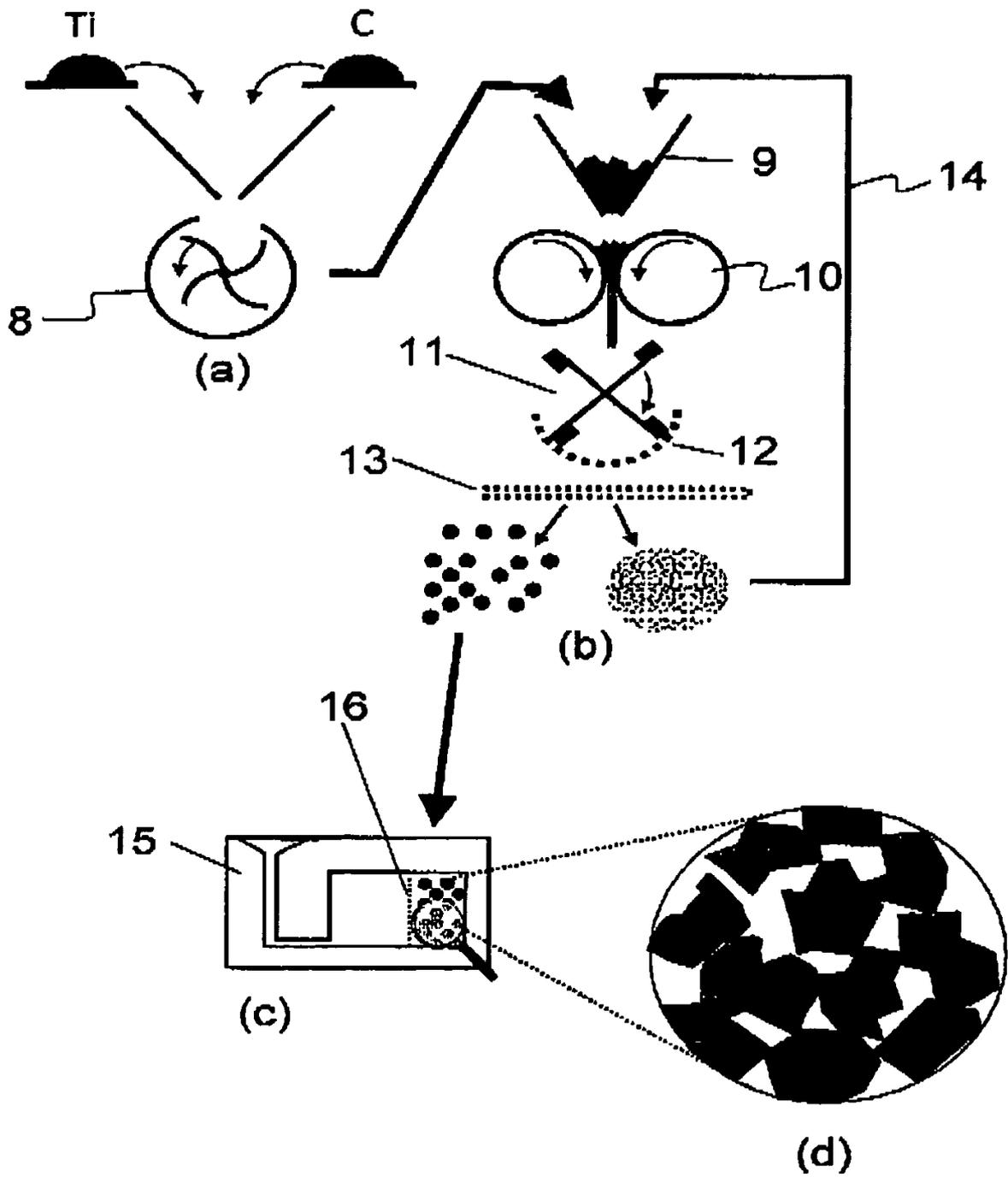


Fig. 1h



**Fig.2**



**Fig. 3a-3d**

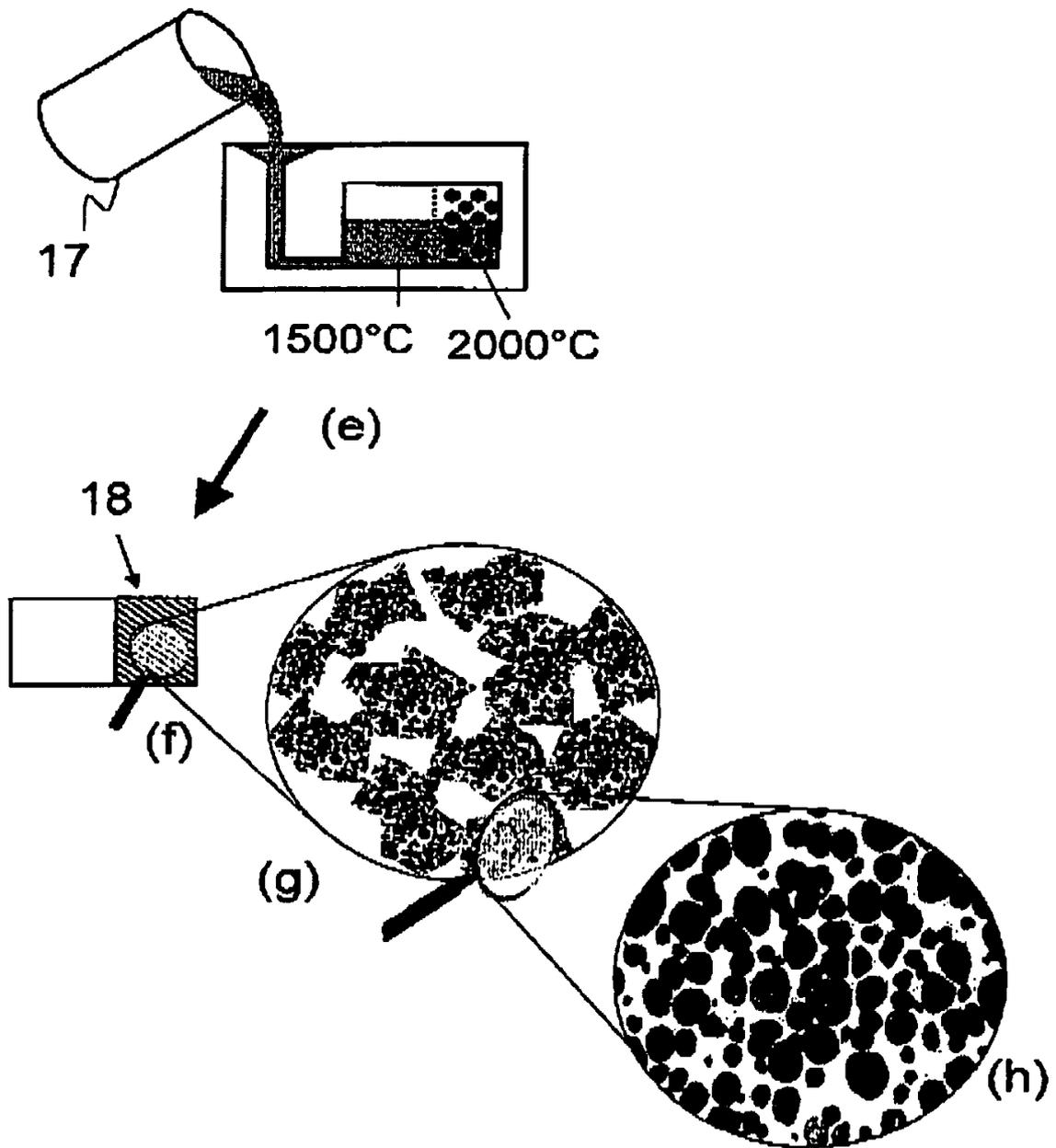


Fig. 3e-3h

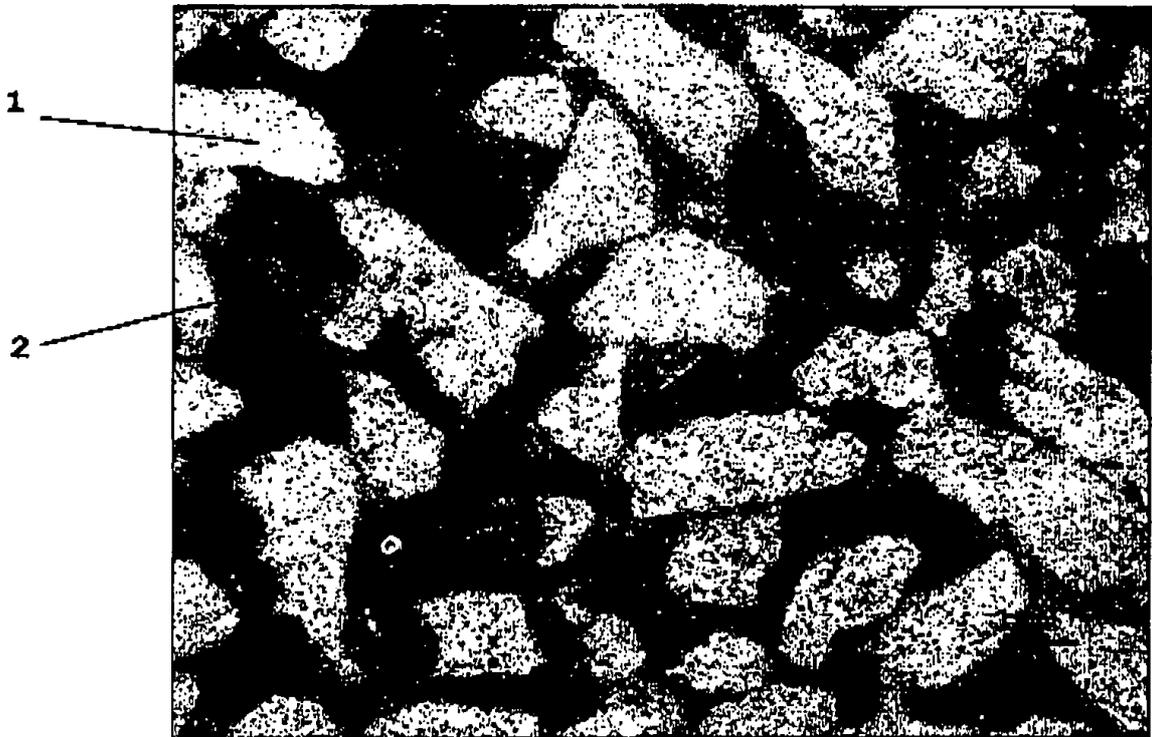


Fig. 4

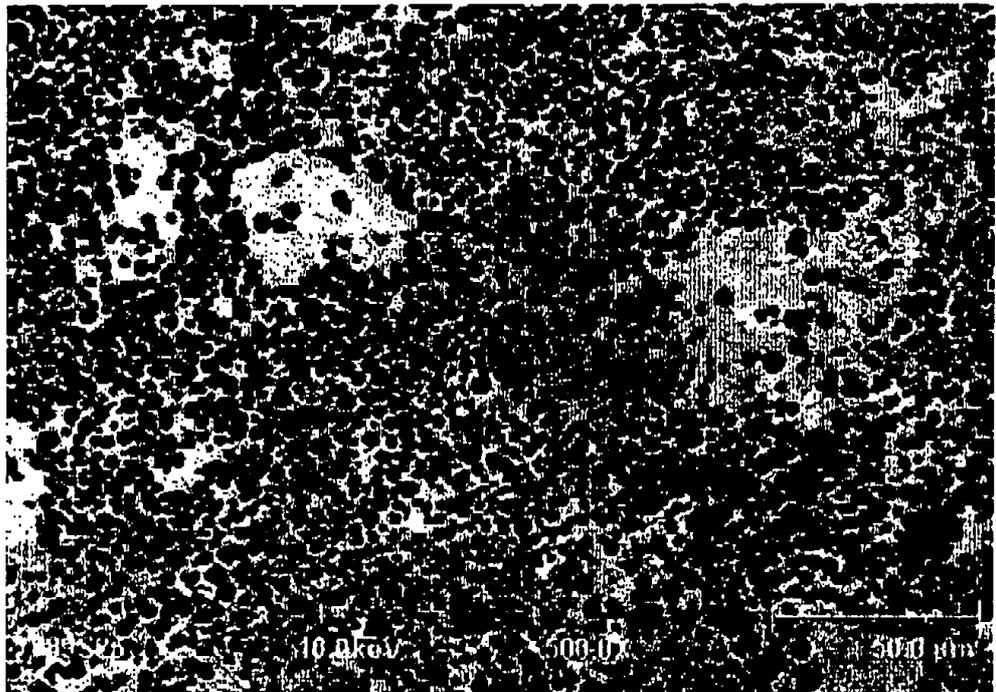
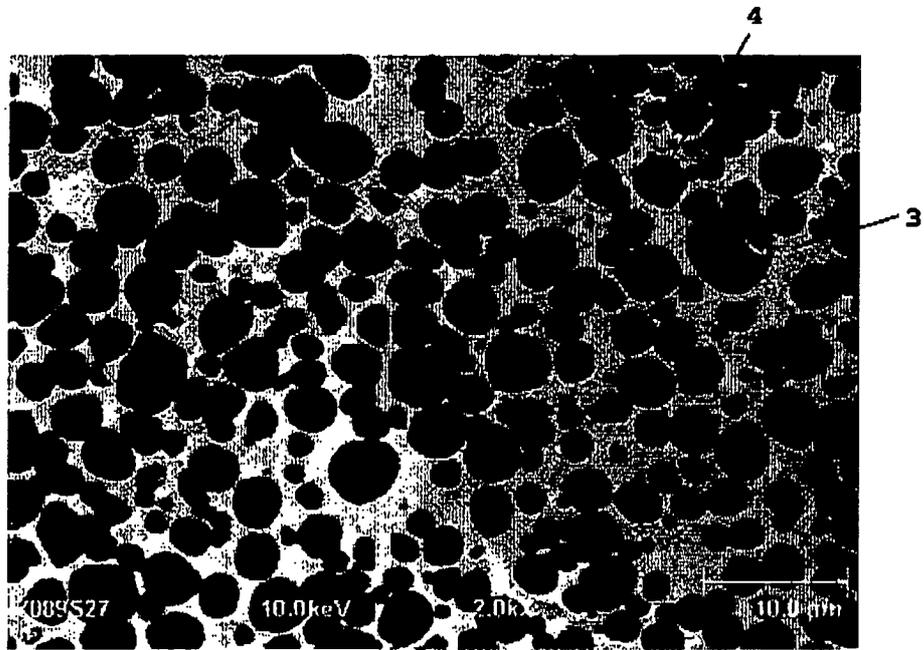
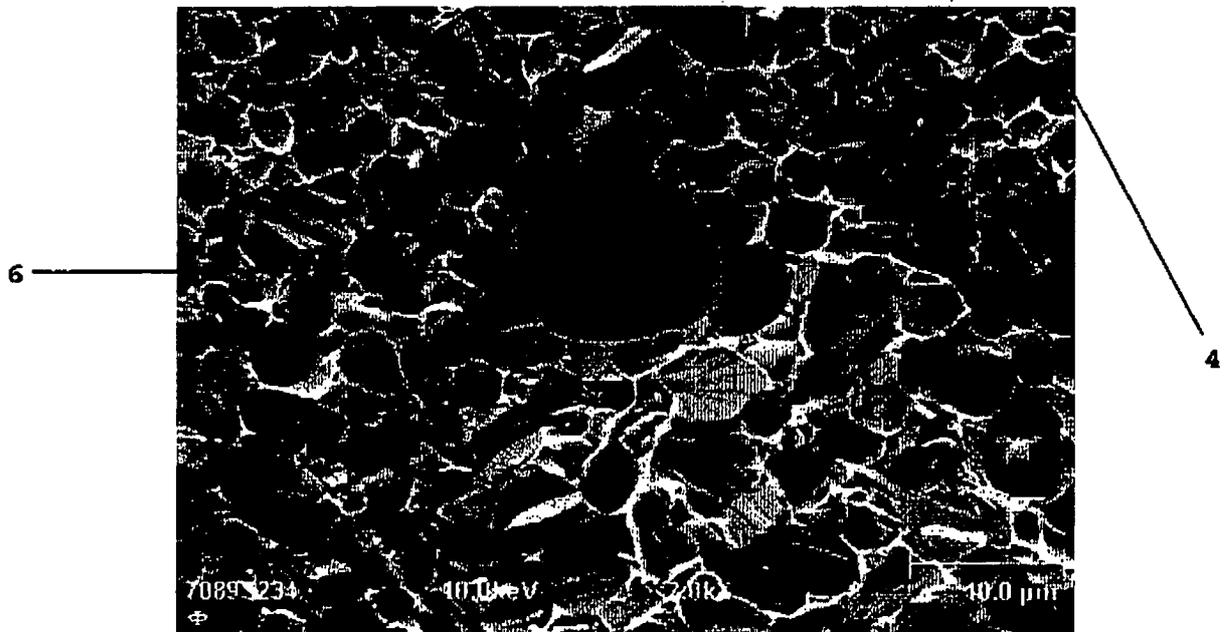


Fig. 5



**Fig. 6**



**Fig. 7**