

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 408 317**

51 Int. Cl.:

B22F 1/00 (2006.01)

C22C 33/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2006 E 06835863 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2013 EP 1968761**

54 Título: **Composición de polvo metalúrgica**

30 Prioridad:

30.12.2005 SE 0502933
30.12.2005 US 755006 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.06.2013

73 Titular/es:

HOGANAS AB (100.0%)
KUNSGARDSLEDEN 735 STORE VANG
S-262 43 ANGELHOLM, SE

72 Inventor/es:

KNUTSSON, PER;
LARSSON, PER-OLOF y
VIDARSSON, HILMAR

ES 2 408 317 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

Composición de polvo metalúrgica

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a una nueva composición de polvo metálico para la industria de la pulvimetalurgia. Particularmente, la invención se refiere a una composición de polvo a base de hierro que incluye un aglutinante para aglutinar aditivos, tales como elementos de aleación, a las partículas a base de hierro.

Antecedentes de la invención

10 En la industria, se está volviendo cada vez más extendido el uso de productos metálicos fabricados mediante compactación y sinterización de composiciones de polvo a base de hierro. Los requisitos de calidad de estos productos metálicos están elevándose continuamente y, como consecuencia, se desarrollan nuevas composiciones de polvo que tienen propiedades mejoradas. Una de las propiedades más importantes de los productos sinterizados finales es la densidad y las tolerancias dimensionales, que han de ser sistemáticas. A menudo se originan problemas con las variaciones de tamaño en el producto final debido a inhomogeneidades en la mezcla de polvo que va a compactarse. Estos problemas son especialmente pronunciados con mezclas de polvo que incluyen componentes pulverulentos, que difieren en cuanto a tamaño, densidad y forma, un motivo por el que se produce segregación durante el transporte, almacenamiento y manejo de la composición de polvo. Esta segregación implica que la composición está compuesta de manera no uniforme, lo que significa a su vez que las piezas preparadas a partir de la composición de polvo están compuestas de diferente manera y, por consiguiente, tienen propiedades diferentes. Un problema adicional es que partículas finas, particularmente las de menor densidad tales como de grafito, producen la formación de polvo fino durante el manejo de la mezcla de polvo.

15 El pequeño tamaño de partícula de los aditivos también crea problemas con las propiedades de flujo del polvo, es decir la capacidad del polvo para comportarse como fluido, propósito del aglutinante es aglutinar firmemente y de manera eficaz las partículas de pequeño tamaño de los aditivos, tales como componentes de aleación, a la superficie de las partículas metálicas de base y, por consiguiente, reducir los problemas de segregación y formación de polvo fino. El propósito del lubricante es reducir la fricción interna y externa durante la compactación de la composición de polvo y sobre todo reducir la fuerza requerida para expulsar el producto compactado finalmente del molde.

20 Se han desarrollado diversos agentes aglutinantes orgánicos, véanse por ejemplo las patentes estadounidenses n.ºs 4.483.905 (Engstrom), 4.676.831 (Engstrom) 4.834.800 (Semel), 5.298.055 (Semel), 5.290.336 (Luk), 5.368.630 (Luk). La patente estadounidense n.º 5.480.469 (Storstrom) y el documento US5.525.293 proporcionan una breve revisión del uso de agentes aglutinantes en la industria de la pulvimetalurgia.

25 En la publicación de patente WO 2005/061157 publicada recientemente, se da a conocer una combinación de aglutinación/lubricación de cera de polietileno y etilen-bisestearamida. En la composición de polvo usada para la compactación, la cera de polietileno está presente como una capa o un recubrimiento sobre las partículas de hierro o a base de hierro y aglutina las partículas de elemento de aleación y las partículas de etilen-bisestearamida a las partículas de hierro o a base de hierro. Se prefiere que la composición también incluya un ácido graso y un agente de flujo. Se logra una buena combinación de propiedades de DA, flujo, aglutinación y lubricación para la composición pulvimetalúrgica, que contiene una combinación de aglutinación/lubricación que incluye la cera de polietileno y etilen-bisestearamida, cuando el peso molecular medio de la cera de polietileno es de entre 500 y 750.

30 Ahora se ha encontrado que pueden obtenerse composiciones a base de hierro que tienen una densidad aparentemente mejorada y también flujo mejorado, si se usan alcoholes grasos en vez de cera de polietileno. En general, se ha encontrado que los alcoholes grasos en combinación con agentes de flujo proporcionan resultados interesantes con respecto a la densidad aparente y el flujo. La densidad aparente es esencial para el diseño de herramientas. Un polvo con baja densidad aparente necesita mayor altura de llenado, lo que da como resultado herramientas de prensado innecesariamente altas, y esto da como resultado a su vez carreras de compactación y expulsión más largas. Tal como se mencionó previamente, el flujo es importante para la productividad. También se ha encontrado inesperadamente que cuando se compactan las nuevas composiciones metálicas de polvo, que incluyen alcoholes grasos como aglutinante y un agente de flujo, las piezas compactadas en verde obtenidas tienen excelente estabilidad del peso, es decir baja dispersión de peso dentro de un conjunto de piezas compactadas en verde. Esta propiedad es naturalmente de suma importancia para la producción de producto de alto rendimiento.

35 y un agente de flujo. Se logra una buena combinación de propiedades de DA, flujo, aglutinación y lubricación para la composición pulvimetalúrgica, que contiene una combinación de aglutinación/lubricación que incluye la cera de polietileno y etilen-bisestearamida, cuando el peso molecular medio de la cera de polietileno es de entre 500 y 750.

40 Ahora se ha encontrado que pueden obtenerse composiciones a base de hierro que tienen una densidad aparentemente mejorada y también flujo mejorado, si se usan alcoholes grasos en vez de cera de polietileno. En general, se ha encontrado que los alcoholes grasos en combinación con agentes de flujo proporcionan resultados interesantes con respecto a la densidad aparente y el flujo. La densidad aparente es esencial para el diseño de herramientas. Un polvo con baja densidad aparente necesita mayor altura de llenado, lo que da como resultado herramientas de prensado inne-

cesariamente altas, y esto da como resultado a su vez carreras de compactación y expulsión más largas. Tal como se mencionó previamente, el flujo es importante para la productividad. También se ha encontrado inesperadamente que cuando se compactan las nuevas composiciones metálicas de polvo, que incluyen alcoholes grasos como aglutinante y un agente de flujo, las piezas compactadas en verde obtenidas tienen excelente estabilidad del peso, es decir baja dispersión de peso dentro de un conjunto de piezas compactadas en verde. Esta propiedad es naturalmente de suma importancia para la producción de producto de alto rendimiento.

Se han mencionado alcoholes grasos en la bibliografía de patentes en relación con la lubricación en la patente estadounidense n.º 3.539.472. Específicamente, esta patente enseña que pueden incluirse pequeñas cantidades de alcoholes grasos en lubricantes que consisten principalmente en amidas o diamidas. La patente no se refiere a mezclas aglutinadas.

También la solicitud de patente japonesa 04-294 782, número de publicación 06-145701, menciona que pueden usarse alcoholes grasos como lubricantes. Específicamente, se mencionan alcoholes C₃₀, alcoholes C₅₀ y alcoholes C₆₀. El texto de la solicitud también menciona alcoholes grasos superiores como aglutinantes.

elementos tienen un tamaño de partícula menor que aproximadamente 20 µm. la cantidad de los elementos de aleación en las composiciones pulvimetalúrgicas depende del elemento de aleación específico y las propiedades finales deseadas del componente sinterizado. Generalmente, puede ser de hasta el 20% en peso. Otros aditivos pulverulentos que pueden estar presentes son materiales de fase dura, materiales de formación de fase líquida y agentes de potenciación de la mecanizabilidad.

Los alcoholes grasos usados para la aglutinación de los elementos de aleación y/o aditivos opcionales son preferiblemente saturados, de cadena lineal y contienen de 14 a 30 átomos de carbono ya que tienen un punto de fusión ventajoso para la técnica de unión en estado fundido (*melt-bonding*) usada para aglutinar los elementos de aleación y/u otros aditivos opcionales. Los alcoholes grasos se seleccionan preferiblemente del grupo que consiste en alcohol cetílico, alcohol estearílico, alcohol araquidílico, alcohol behenílico y alcohol lignocerílico, y lo más preferiblemente se seleccionan del grupo que consiste en alcohol estearílico, alcohol araquidílico y alcohol behenílico. La cantidad de alcohol graso usado puede ser de entre el 0,05 y el 2, preferiblemente de entre el 0,1 y el 1 y lo más preferiblemente de entre el 0,1 y el 0,8% en peso de la composición metalúrgica. También pueden usarse combinaciones de alcoholes grasos como aglutinante.

Se han obtenido resultados especialmente buenos cuando se usa negro de carbón como agente de flujo. El uso de negro de carbón como agente de flujo se da a conocer en la solicitud de patente sueca 0401778-6 en tramitación junto con la presente que se incorpora al presente documento como referencia. Se ha encontrado que la cantidad de negro de carbón debe ser de entre el 0,001 y el 0,2% en peso, preferiblemente de entre el 0,01 y el 0,1%. Además, se ha encontrado que el tamaño de partícula primario del negro de carbón debe ser preferiblemente inferior a 200 nm, más preferiblemente inferior a 100 nm y lo más preferiblemente inferior a 50 nm. Según una realización preferida, el área superficial específica debe ser de entre 150 y 1000 m²/g tal como se mide mediante el método BET.

Para potenciar la compresibilidad del polvo, y para facilitar la expulsión del componente en verde, puede añadirse un lubricante orgánico o una combinación de diferentes lubricantes orgánicos a la pulvimetalúrgica, las composiciones pulvimetalúrgicas depende del elemento de aleación específico y las propiedades finales deseadas del componente sinterizado. Generalmente, puede ser de hasta el 20% en peso. Otros aditivos pulverulentos que pueden estar presentes son materiales de fase dura, materiales de formación de fase líquida y agentes de potenciación de la mecanizabilidad.

Los alcoholes grasos usados para la aglutinación de los elementos de aleación y/o aditivos opcionales son preferiblemente saturados, de cadena lineal y contienen de 14 a 30 átomos de carbono ya que tienen un punto de fusión ventajoso para la técnica de unión en estado fundido (*melt-bonding*) usada para aglutinar los elementos de aleación y/u otros aditivos opcionales. Los alcoholes grasos se seleccionan preferiblemente del grupo que consiste en alcohol cetílico, alcohol estearílico, alcohol araquidílico, alcohol behenílico y alcohol lignocerílico, y lo más preferiblemente se seleccionan del grupo que consiste en alcohol estearílico, alcohol araquidílico y alcohol behenílico. La cantidad de alcohol graso usado puede ser de entre el 0,05 y el 2, preferiblemente de entre el 0,1 y el 1 y lo más preferiblemente de entre el 0,1 y el 0,8% en peso de la composición metalúrgica. También pueden usarse combinaciones de alcoholes grasos como aglutinante.

Para conferir un flujo satisfactorio a las nuevas composiciones de polvo, se añaden agentes de flujo. Tales agentes se conocen previamente, por ejemplo, a partir de la patente estadounidense n.º 3.357.818 y la patente estadounidense 4.782.954 que da a conocer que pueden usarse metal, óxidos metálicos u óxido de silicio como agente de flujo.

Se han obtenido resultados especialmente buenos cuando se usa negro de carbón como agente de flujo. El uso de negro de carbón como agente de flujo se da a conocer en la solicitud de patente sueca 0401778-6 en tramitación junto con la presente que se incorpora al presente documento como referencia. Se ha encontrado que la cantidad de negro de carbón debe ser de entre el 0,001 y el 0,2% en peso, preferiblemente de entre el 0,01 y el 0,1%. Además, se ha encontrado que el tamaño de partícula primario del negro de carbón debe ser preferiblemente inferior a 200 nm, más preferiblemente inferior a 100 nm y lo más preferiblemente inferior a 50 nm. Según una realización preferida, el área superficial específica debe ser de entre 150 y 1000 m²/g tal como se mide mediante el método BET.

Para potenciar la compresibilidad del polvo, y para facilitar la expulsión del componente en verde, puede añadirse un lubricante orgánico o una combinación de diferentes lubricantes orgánicos a la composición pulvimetalúrgica. El lubricante puede estar presente como polvo particulado libre o aglutinado a la superficie del polvo a base de hierro.

- 5 Aunque el alcohol graso que se usa como aglutinante también tiene propiedades de lubricación, puede ser conveniente usar un lubricante adicional. El tipo de lubricante orgánico sólido de la invención no es crítico, pero debido a las desventajas con los lubricantes orgánicos metálicos (que generan residuos de óxidos metálicos durante la sinterización), el lubricante orgánico preferiblemente no incluye metal. El estearato de zinc es un lubricante usado comúnmente que proporciona buenas propiedades de flujo y alta DA. Sin embargo, además de generar residuos de óxido de zinc durante la sinterización, otro inconveniente es que el material puede generar manchas sobre las superficies de los componentes sinterizados. Por tanto, el lubricante orgánico puede seleccionarse de una amplia variedad de sustancias orgánicas que tienen propiedades de lubricación. Ejemplos de tales sustancias son ácidos grasos, ceras, polímeros, o derivados y mezclas de los mismos. Lubricantes preferidos son amidas primarias, tales como amida esteárica, amida araquídica y amida behénica, amidas secundarias, tales como amida estearilesteárica, y bisamidas, tales como etilen-bisestearamida.
- 10
- 15 Con respecto a las cantidades, se ha encontrado que la cantidad de alcohol graso debe ser de desde el 10 hasta el 90% en peso de los pesos de aglutinante, agente de flujo y lubricante combinados. La cantidad total de aglutinante, agente de flujo y, opcionalmente, lubricante, puede variar desde el 0,1 hasta el 2% en peso de la composición pulvimetalúrgica.

Breve descripción del dibujo

- 20 La figura 1 es un diagrama que presenta la diferencia en la dispersión de peso a diferentes velocidades de producción cuando se usa una composición pulvimetalúrgica según la invención en comparación con composiciones pulvimetalúrgicas convencionales.

La invención se ilustra adicionalmente mediante los siguientes ejemplos no limitativos.

Ejemplo 1

- 25 Se prepararon diferentes mezclas pulvimetalúrgicas a base de hierro, según la tabla 1. Como polvo a base de hierro, se usó el polvo de hierro atomizado con agua ASC100.29 disponible de Höganäs AB, Suecia. Aparte de los aglutinantes, lubricantes y agentes de flujo según la tabla 1, se añadieron el 2% en peso de la mezcla a base de hierro total, de polvo de cobre, de malla 100, disponible de Makin Metal Powder Ltd., y el 0,8%, en peso de la mezcla a base de hierro total, de grafito, UF 4 (disponible de Graphit Kropfmühl AG, Alemania).

- 30 La etilen-bisestearamida (EBS) estaba disponible como Licowax™ de Clariant (Alemania) y el dióxido de silicio estaba disponible como Aerosil de Degussa AG (Alemania). El alcohol behenílico, alcohol estearílico y alcohol cetílico estaban disponibles de Sasol Germany GmbH y el negro de carbón estaba disponible de Degussa AG.

- 35 En la mezcla A-C y H-I, se usó el 0,6%, en peso de la mezcla de polvo a base de hierro total, de un lubricante (denominado “amida primaria C₁₈-C₂₂” a continuación) que consistía esencialmente en una calidad técnica de amidas primarias saturadas de cadena lineal que tenían longitudes de cadena de 18, 20 y 22 átomos de carbono, que contenían por tanto amida esteárica (aproximadamente el 40%), amida araquídica (aproximadamente el 40%) y amida behénica (aproximadamente el 20%). Como lubricante en la mezcla D-F, se usó el 0,6% de etilen-bis-estearamida (EBS) y en la mezcla G, el 0,8 de etilen-bis-estearamida (EBS). En la mezcla A-E y H-J, se usó el 0,2%, en peso de la mezcla de polvo a base de hierro total, de alcohol graso (en H, se usó una mezcla de dos alcoholes grasos), y en la mezcla F, se usó el 0,2%, en peso de la mezcla de polvo a base de hierro total, de una cera de polietileno que tenía un peso molecular de 655 (un aglutinante según el documento WO 2005/061157).
- 40

- 45 Se mezclaron meticulosamente los componentes en la mezcla A-F y H-J, y durante el mezclado se elevó la temperatura hasta ser superior al punto de fusión del aglutinante, para la mezcla A-E y H-J hasta 75°C y para la mezcla F hasta 105°C. Durante el enfriamiento posterior, se unieron las partículas más finas de la mezcla a la superficie de las partículas más grandes del polvo a base de hierro mediante el aglutinante de solidificación. En el caso de que se usase un agente de flujo, se añadió tras la solidificación del aglutinante durante el enfriamiento de la mezcla. Se combinaron los componentes de la mezcla G sin ningún calentamiento ya que esta mezcla no estaba aglutinada.

Tabla 1. Mezclas pulvimetalúrgicas a base de hierro preparadas

Mezcla	Aglutinante	Lubricante	Agente de flujo	
A	Alcohol behenílico	amida primaria C18-C22	-	ejemplo comparativo

C	Alcohol behenílico	amida primaria C18-C22	negro de carbón	ejemplo según la invención
D	Alcohol behenílico	EBS	-	ejemplo comparativo
E	Alcohol behenílico	EBS	negro de carbón	ejemplo según la invención
F	PE 655	EBS	Dióxido de silicio	ejemplo comparativo
G (premezcla)	-	EBS	-	ejemplo comparativo
H	Mezcla de alcohol estearílico y behenílico 25%/75%	amida primaria C18-C22	negro de carbón	ejemplo según la invención
I	Alcohol cetílico	amida primaria C18-C22	negro de carbón	ejemplo según la invención
J	Alcohol cetílico	Estearato de zinc	negro de carbón	ejemplo según la invención

Se midió la velocidad de flujo de Hall según la norma ISO 4490 y se midió la densidad aparente según la norma ISO 3923.

Tabla 2. Velocidad de flujo y densidad aparente de mezclas pulvimetalúrgicas a base de hierro

Mezcla	Flujo de Hall [segundos/50 gramos]	Densidad aparente (DA) [g/cm ³]
A	29,0	3,16
B	23,2	3,22
C	23,8	3,32
D	29,6	3,08
E	27,1	3,20
F	25,5	3,06
G (premezcla)	33,0	3,03
H	24,1	3,27
I	24,2	3,25
J	23,7	3,26

La tabla 2 muestra que además de buenas velocidades de flujo, se obtiene un aumento sustancial de la DA cuando se usan composiciones de polvo a base de hierro según la invención.

5 Para la mezcla C, D, G, H, I y J, también se midieron las propiedades de lubricación, registrando la energía total por área envuelta necesaria para expulsar una muestra compactada del molde así como la fuerza de expulsión máxima por área envuelta. Se conformaron los componentes en forma de anillo que tenían un diámetro externo de 55 mm, un diámetro interno de 45 mm y una altura de 15 mm, y las presiones de compactación aplicadas fueron de 400, 500, 600 y 800 MPa.

Tabla 3. Fuerza de expulsión máxima y energía de expulsión

Mezcla	Fuerza de expulsión máxima [N/mm ²]				Energía de expulsión [J/cm ²]			
	400 Mpa	500 MPa	600 MPa	800 MPa	400 MPa	500 MPa	600 MPa	800 MPa
C	24,3	29,3	31,7	35,2	26,4	32,9	37,0	41,5
D	25,0	29,5	32,3	38,0	30,3	37,9	43,5	49,4
G	22,7	28,3	32,3	36,7	32,3	40,3	46,6	52,2
H	22,4	28,9	31,8	35,0	26,0	33,2	36,5	41,1
I	17,7	21,5	24,5	28,0	28,2	34,1	37,8	38,9
J	20,6	25,7	30,1	36,0	34,8	43,4	48,0	51,6

10

La tabla 3 muestra que cuando se usa una composición que contiene alcohol cetílico (16 C) o alcohol behenílico (22 C), o una mezcla de alcohol estearílico (18 C) y alcohol behenílico, y la mezcla de amidas (amidas grasas primarias) como combinación de lubricación/aglutinación para la producción de un componente compactado, se reduce sustancialmente la energía total necesaria para expulsar el componente.

15

Ejemplo 2

También se registró la estabilidad del peso, es decir la dispersión en el peso entre los componentes durante una serie de producción, cuando se produjeron los componentes a partir de la mezcla C, F y G. Se compactaron componentes en forma de anillo que tenían un diámetro externo de 25 mm, un diámetro interno de 19 mm y una altura de 15 mm en una serie de producción continua a una presión de compactación de 600 MPa, y a tres velocidades de compactación diferentes (10, 15 y 20 carreras por minuto). Se produjeron 250 componentes a partir de cada mezcla, y a cada velocidad de producción. (Para la mezcla G, no pudieron lograrse velocidades de producción mayores 10 carreras/min debido al llenado incompleto de la herramienta).

25 La figura 1 muestra la estabilidad del peso obtenida a cada velocidad de compactación para la mezcla C, F y G expresada como la desviación estándar para los pesos de los componentes. Tal como puede observarse a partir de la figura 1, se logra una mejora sustancial de la estabilidad del peso cuando se producen componentes a partir de la mezcla según la invención (mezcla C) en comparación con la producción de componentes a partir de una mezcla según el documento WO 2005/061157 (mezcla F) y en comparación con la producción de componentes a partir de una premezcla no aglutinada que contenía el lubricante usado comúnmente etilen-bisestearamida (mezcla G). Esto es especialmente pronunciado a mayores velocidades de compactación.

30

REIVINDICACIONES

1. Composición de polvo metalúrgica para preparar piezas compactadas, que comprende:
 - (a) al menos el 80 por ciento en peso de un polvo de hierro o a base de hierro;
 - (b) hasta el 20 por ciento en peso de al menos un polvo de aleación;
- 5 (c) desde el 0,05 hasta el 2 por ciento en peso de un agente aglutinante que comprende un alcohol graso C₁₄-C₃₀ saturado o insaturado, de cadena lineal o ramificado; y
- (d) desde el 0,001 hasta 0,2 por ciento en peso de negro de carbón.
2. Composición de polvo según la reivindicación 1, en la que el alcohol graso es saturado y de cadena lineal.
3. Composición de polvo según la reivindicación 1, en la que el alcohol graso se selecciona del grupo que consiste en alcohol cetílico, alcohol estearílico, alcohol araquidílico, alcohol behénico y alcohol lignocerílico.
- 10 4. Composición de polvo según la reivindicación 1, en la que el alcohol graso se selecciona del grupo que consiste en alcohol estearílico, alcohol araquidílico y alcohol behénico.
5. Composición de polvo según la reivindicación 1-4, en la que el tamaño de partícula del negro de carbón es inferior a 200 nm.
- 15 6. Composición de polvo según la reivindicación 1-4, en la que el tamaño de partícula del negro de carbón es inferior a 100 nm.
7. Composición de polvo según la reivindicación 1-4, en la que el tamaño de partícula del negro de carbón es inferior a 50 nm.
8. Composición de polvo según la reivindicación 1, que comprende además un lubricante pulverulento, libre de metal, orgánico.
- 20 9. Composición de polvo según la reivindicación 8, en la que el lubricante pulverulento, libre de metal, orgánico se elige del grupo que consiste en amida esteárica, amida araquídica, amida behénica, amida estearilesteárica y etilenbis-estearamida.
10. Composición de polvo según la reivindicación 8, en la que el lubricante pulverulento, libre de metal, orgánico es behenamida.
- 25 11. Método de producción de una composición de polvo metalúrgica para preparar piezas compactadas, que comprende:
 - 30 proporcionar los siguientes componentes: al menos el 80% en peso de un polvo de hierro o a base de hierro, hasta el 20% en peso de al menos un polvo de aleación, desde el 0,05 hasta el 2% en peso de un agente aglutinante que comprende un alcohol graso C₁₄-C₃₀ y desde el 0,001 hasta el 0,2% en peso de negro de carbón;
 - mezclar los componentes anteriores a una temperatura superior al punto de fusión del aglutinante; y
 - enfriar la mezcla.

Fig 1

