

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 747 476**

51 Int. Cl.:

C04B 35/587 (2006.01)

C04B 35/591 (2006.01)

C04B 35/593 (2006.01)

B82Y 30/00 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.09.2012 PCT/US2012/057491**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2013 WO13049305**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.09.2012 E 12836818 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2019 EP 2760807**

54 Título: **Cuerpo compuesto de nitruro de silicio**

30 Prioridad:

30.09.2011 US 201161541693 P

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

10.03.2020

73 Titular/es:

**SAINT-GOBAIN CERAMICS & PLASTICS INC.
(100.0%)**

**One New Bond Street
Worcester, Massachusetts 01615-0138, US**

72 Inventor/es:

**REILLY, CHRISTOPHER J.;
PUJARI, VIMAL K.;
CORTELLINI, EDMUND A. y
MCELWEE, DAVID M.**

74 Agente/Representante:

MORENO NOGALES, Ángeles

ES 2 747 476 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

Cuerpo compuesto de nitruro de silicio

5 **ANTECEDENTES**

Campo de la divulgación

10 Lo siguiente está dirigido a artículos compuestos y, en particular, a artículos compuestos que comprenden cuerpos de carburo de silicio unidos por reacción.

Descripción de la técnica relacionada

15 Están disponibles comercialmente diversos materiales compuestos, incluyendo determinados cuerpos compuestos cerámicos que incorporan carburo de silicio. Los materiales cerámicos a base de carburo de silicio se han utilizado en muchas aplicaciones por sus propiedades refractarias y propiedades mecánicas. Entre los tipos de cerámica disponibles a base de carburo de silicio, existen diversos tipos basados en el proceso de formación particular, incluyendo, por ejemplo, carburo de silicio sinterizado, carburo de silicio prensado en caliente y carburo de silicio recristalizado. Cada uno de los diversos tipos de cuerpos de carburo de silicio puede tener características distintas. Por ejemplo, el carburo de silicio sinterizado (tal como Hexoloy®) puede ser un material muy denso, pero generalmente es costoso y complejo de producir. Por otro lado, los materiales de carburo de silicio más rentables, pero relativamente porosos, tales como el carburo de silicio unido a nitruro (conocido por siglas como NBSC y NSIC) han encontrado un uso práctico en aplicaciones refractarias. Dichos componentes refractarios incluyen hornos o accesorios para hornos utilizados en relación con piezas de trabajo de sujeción o soporte durante las operaciones de cocción, así como materiales de revestimiento refractarios.

20 El carburo de silicio unido a nitruro, como se sugiere en los documentos US 2008/282.735 A1, US 5.352.641 A, US 5.643.843 A, JP2007297231 A, JP 2000 247749 A, JP HI 1199326 A, US 2006/138.717 A1 y US 2004/191.535 A1 tiende a ser un material comparativamente poroso. A menudo, estos materiales tienen una porosidad dentro de un intervalo de aproximadamente un 10 a aproximadamente un 15 % en volumen. Estos componentes se fabrican a partir de un cuerpo en verde que contiene carburo de silicio y silicio, y sinterizando el cuerpo en verde en una atmósfera que contiene nitrógeno a temperaturas del orden de 1500 °C. Si bien el carburo de silicio unido a nitruro tiene propiedades deseables a altas temperaturas, desafortunadamente adolece de poca resistencia a la oxidación cuando se usa en condiciones oxidantes, debido en parte a su porosidad intrínseca. Esta característica particular se ha abordado en el pasado volviendo a cocer los componentes de carburo de silicio unidos a nitruro en una atmósfera oxidante para formar una capa delgada de óxido de sílice amorfo o vítreo, que funciona estabilizando y sellando la superficie externa del componente. Otras técnicas se han centrado en formar una capa protectora externa cociendo un formador de vidrio, tal como un recubrimiento que contiene sílice o un precursor de sílice, que está recubierto sobre el componente. Sin embargo, desafortunadamente, dichas rutas de procesamiento tienden a formar capas porosas que tienen propensión a agrietarse y cuartearse durante el uso, lo que hace que la capa protectora externa tenga una eficacia limitada.

45 En vista del estado de la técnica de los materiales basados en carburo de silicio, existe la necesidad en la técnica de materiales compuestos mejorados.

45 **SUMARIO**

El objeto de la presente invención se resuelve mediante las características de la reivindicación independiente 1.

50 De acuerdo con otro aspecto de la divulgación, un artículo compuesto tiene una segunda porción de fase amorfa que comprende carbono.

De acuerdo con un aspecto particular, un artículo compuesto incluye un cuerpo en el que el cuerpo comprende un contenido de carbono en exceso de la cantidad estequiométrica de carbono asociada con el material de carburo.

55 En otro aspecto de la divulgación, un procedimiento para formar un artículo compuesto incluye formar un cuerpo en verde que comprende una primera fase que comprende un material de silicio y una segunda fase que comprende un material de carburo. El procedimiento incluye además tratamiento después de la formación para convertir una porción del material de carburo de la segunda fase en un material de nitruro.

60 Otro aspecto de la presente divulgación incluye un procedimiento para formar un artículo compuesto que incluye formar un cuerpo en verde que comprende una primera fase que comprende un material de silicio, una segunda fase que comprende un material de carburo y una tercera fase que comprende un material de óxido. El procedimiento incluye además sinterizar el cuerpo en verde para formar una primera fase que comprende un material de nitruro y tratamiento después de la sinterización para formar un cuerpo compuesto que tiene un

contenido de nitrógeno en exceso de la cantidad estequiométrica de nitrógeno asociada con el material de nitruro.

5 Aún en otro aspecto de la divulgación, un procedimiento para formar un artículo compuesto incluye formar un cuerpo en verde que comprende una primera fase, una segunda fase que comprende un material de carburo y una tercera fase que comprende un material de óxido. El procedimiento incluye además comprimir el cuerpo en una atmósfera que comprende una presión de nitrógeno de al menos aproximadamente 6 MPa (59 atm) y transformar una porción del material de carburo de la segunda fase en un material de nitruro.

10 De acuerdo con todavía otro aspecto de la divulgación, un procedimiento para formar un artículo compuesto incluye formar un cuerpo en verde que comprende una primera fase, una segunda fase que comprende un material de carburo y una tercera fase que comprende un material de óxido. El procedimiento incluye además comprimir el cuerpo en una atmósfera que comprende una presión de nitrógeno de al menos aproximadamente 6 MPa (59 atm) y transformar una porción del material de carburo de la segunda fase en un material de carbono libre.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20 La presente divulgación se puede entender mejor, y sus numerosas características y ventajas se hacen evidentes para los expertos en la técnica, haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

La FIG. 1 incluye un diagrama de flujo para un procedimiento de formación de un artículo compuesto de acuerdo con un modo de realización.

25 El uso de los mismos símbolos de referencia en diferentes dibujos indica elementos similares o idénticos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

30 Lo siguiente está dirigido a un artículo compuesto que incluye múltiples fases de materiales, que se pueden utilizar en diversas funciones, incluyendo, por ejemplo, aplicaciones de blindaje y, más en particular, sistemas de blindaje corporal y/o blindaje de vehículos destinados a frustrar diversas amenazas basadas en proyectiles.

35 La FIG. 1 incluye un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para formar un artículo compuesto de acuerdo con un modo de realización. Como se ilustra, el proceso se puede iniciar en la etapa 101 formando una mezcla. De acuerdo con un modo de realización, la mezcla puede ser una mezcla seca o una mezcla húmeda. En casos particulares, la mezcla puede ser una mezcla húmeda que incluye un vehículo líquido, que puede ser un material orgánico y, más en particular, un material de base acuosa (p. ej., agua o agua desionizada).

40 La mezcla puede incluir materias primas adecuadas para crear diversas fases en el artículo compuesto finalmente formado. Por ejemplo, se puede añadir a la mezcla una primera materia prima que incluya un material de carburo. El material de carburo puede estar en forma de un polvo que tiene un tamaño de partícula promedio (D50) dentro de un intervalo entre aproximadamente 0,5 micrómetros y aproximadamente 200 micrómetros. En casos particulares, el material de carburo puede ser una mezcla de dos materiales en polvo de materia prima diferentes, en el que el primer polvo puede ser un polvo fino que tiene un tamaño de partícula promedio dentro de un intervalo entre aproximadamente 0,5 micrómetros y aproximadamente 20 micrómetros, y el segundo polvo puede ser un polvo grueso que tiene un tamaño de partícula promedio dentro de un intervalo entre aproximadamente 50 micrómetros y aproximadamente 150 micrómetros.

50 En un caso particular, el material de carburo puede incluir silicio y, más en particular, puede incluir carburo de silicio. De acuerdo con un modo de realización, la primera materia prima puede consistir esencialmente en carburo de silicio.

55 La mezcla se puede formar de modo que la primera materia prima que incluye el material en polvo de carburo forme el contenido mayoritario de los componentes en polvo dentro de la mezcla. Por ejemplo, el material de carburo puede estar presente en cantidades de al menos aproximadamente un 50 % en peso, al menos aproximadamente un 55 % en peso, al menos aproximadamente un 58 % en peso, al menos aproximadamente un 60 % en peso, o incluso al menos aproximadamente un 63 % en peso. Aun así, en determinados casos, el material de polvo de carburo puede estar presente en una cantidad no mayor de aproximadamente un 95 % en peso, tal como no mayor de un 90 % en peso, no mayor de un 88 % en peso, o incluso no mayor de aproximadamente un 85 % en peso. Se apreciará que la materia prima de carburo puede estar presente en cantidades dentro del intervalo entre cualquiera de los porcentajes mínimos y máximos proporcionados anteriormente. Además, se apreciará que la materia prima de carburo puede estar presente en cantidades dentro del intervalo entre cualquiera de los porcentajes mínimos y máximos proporcionados anteriormente.

65 La mezcla puede incluir además una segunda materia prima diferente de la primera materia prima. La segunda materia prima es un material en polvo que comprende silicio. Por ejemplo, en un modo de realización, la materia

prima que incluye silicio puede ser un polvo a base de silicio y, más en particular, puede ser polvo de silicio puro, de modo que sea un 99,9 % de silicio puro.

5 De acuerdo con un modo de realización, el segundo polvo de materia prima puede tener un tamaño de partícula promedio menor que el tamaño de partícula promedio del primer polvo de materia prima. Por ejemplo, el segundo polvo de materia prima puede tener un tamaño de partícula promedio (D50) dentro de un intervalo entre aproximadamente 20 micrómetros y aproximadamente 60 micrómetros.

10 Además, el segundo polvo de materia prima puede estar presente en contenidos minoritarios y, más en particular, en una cantidad menor que la primera materia prima. Por ejemplo, el segundo polvo de materia prima puede estar presente en una cantidad no mayor de aproximadamente un 30 % en peso, tal como no mayor de aproximadamente un 28 % en peso, no mayor de aproximadamente un 25 % en peso, no mayor de aproximadamente un 22 % en peso, o incluso no mayor de un 20 % en peso para el peso total de los componentes en polvo dentro de la mezcla. Aun así, en casos particulares, el segundo polvo de materia prima puede estar presente dentro de la mezcla en una cantidad de al menos un 2 % en peso, tal como al menos aproximadamente un 5 % en peso, al menos aproximadamente un 7 % en peso, al menos aproximadamente un 10 % en peso, o incluso al menos aproximadamente un 12 % en peso para el peso total de los componentes secos dentro de la mezcla. Se apreciará que el segundo polvo de materia prima puede estar presente en una cantidad dentro de un intervalo entre cualquiera de los porcentajes mínimos y máximos indicados anteriormente.

20 La mezcla puede contener además un aditivo de materia prima o tercer polvo de materia prima. El aditivo puede tener la forma de un óxido. En casos particulares, el aditivo puede incluir alúmina. Además, en otros casos, el aditivo puede incluir magnesio. En un caso particular, el aditivo de materia prima puede ser un material de óxido que incluye alúmina y magnesio. Por ejemplo, el aditivo de materia prima puede ser un material que contiene espinela (p. ej., $MgAl_2O_4$), que puede formar una fase vítrea (es decir, amorfa) en el cuerpo finalmente formado.

25 De acuerdo con un modo de realización, la mezcla puede contener una cantidad particular del aditivo de materia prima. Por ejemplo, el polvo de aditivo de materia prima puede estar presente en contenidos minoritarios dentro de la mezcla, y más en particular, en una cantidad menor que la primera materia prima y en una cantidad menor que la segunda materia prima. Por ejemplo, el polvo de aditivo de materia prima puede estar presente en una cantidad no mayor de aproximadamente un 20 % en peso, tal como no mayor de aproximadamente un 15 % en peso, no mayor de aproximadamente un 12 % en peso, no mayor de aproximadamente un 10 % en peso, o incluso no mayor de un 8 % en peso para el peso total de los componentes en polvo dentro de la mezcla. Aun así, en casos particulares, el polvo de aditivo de materia prima puede estar presente dentro de la mezcla en una cantidad de al menos un 4 % en peso, tal como al menos aproximadamente un 5 % en peso, al menos aproximadamente un 6 % en peso para el peso total de los componentes secos dentro de la mezcla. Se apreciará que el polvo de aditivo de materia prima puede estar presente en una cantidad dentro de un intervalo entre cualquiera de los porcentajes mínimos y máximos indicados anteriormente. También se apreciará que la cantidad total de todos los componentes en polvo puede sumar un 100 %.

40 El polvo de material aditivo puede tener un tamaño de partícula promedio que puede ser menor o mayor que el tamaño de partícula promedio del primer polvo de materia prima. Adicionalmente, el polvo de material aditivo puede tener un tamaño de partícula promedio que puede ser menor o mayor que el tamaño de partícula promedio del segundo polvo de materia prima. Además, el polvo de material aditivo puede tener un tamaño de partícula promedio (D50) que está dentro de un intervalo entre aproximadamente 10 micrómetros y aproximadamente 50 micrómetros.

50 Después de formar adecuadamente la mezcla en la etapa 101, el proceso puede continuar en la etapa 102 por conformación de la mezcla en un cuerpo en verde. Se pueden llevar a cabo diversos procesos de conformación que incluyen, por ejemplo, compresión, extrusión, fundición, perforado y una combinación de los mismos. Notablemente, en un caso, la mezcla puede ser una mezcla húmeda que se conforma en un cuerpo en verde por medio de un proceso de moldeo en barbotina. Además, después de conformar adecuadamente la mezcla, el cuerpo en verde se puede secar.

55 Después de conformar adecuadamente el cuerpo en verde en la etapa 102, el proceso puede continuar en la etapa 103 por sinterización del cuerpo en verde. El proceso de sinterización se puede realizar a temperaturas elevadas y puede facilitar la densificación del cuerpo en verde. La sinterización también puede facilitar el crecimiento de grano de determinadas fases. De acuerdo con un modo de realización, el proceso de sinterización se puede realizar a una temperatura de al menos aproximadamente 1200 °C, tal como al menos aproximadamente 1250 °C, al menos aproximadamente 1300 °C, o incluso al menos aproximadamente 1325 °C. Aun así, el proceso de sinterización se puede realizar a una temperatura no mayor de aproximadamente 1600 °C, tal como no mayor de aproximadamente 1500 °C. Se apreciará que el proceso de sinterización se puede realizar a una temperatura dentro de un intervalo entre cualquiera de las temperaturas mínimas y máximas indicadas anteriormente.

- 5 Típicamente, el cuerpo en verde se sinteriza a una temperatura durante un periodo de tiempo de al menos 2 horas y, más en particular, entre aproximadamente 2 y aproximadamente 20 horas, dependiendo del tamaño del cuerpo y el grosor de la pared del cuerpo. Modos de realización particulares se pueden tratar térmicamente en una atmósfera que contiene nitrógeno durante periodos más largos, tales como de al menos 1 a 2 días. La sinterización del cuerpo en la atmósfera nitrogenada puede ser eficaz para facilitar una reacción entre el material de silicio contenido en el cuerpo y la atmósfera de nitrógeno, causando la formación de nitruro de silicio. El nitruro de silicio puede estar presente dentro del cuerpo cocido como una fase secundaria, que se une a la fase primaria de carburo de silicio.
- 10 El proceso de sinterización se puede realizar en una atmósfera particular. Por ejemplo, la sinterización se puede realizar en una atmósfera ambiente. Sin embargo, en casos más particulares, la sinterización se puede realizar en una atmósfera reductora y, aún más en particular, en una atmósfera rica en nitrógeno. Dicho proceso puede facilitar la nitruración de determinados materiales en el cuerpo en verde y facilitar la formación de un cuerpo de carburo de silicio unido a nitruro de silicio. En un caso particular, el proceso de sinterización se puede realizar en una atmósfera que comprende al menos aproximadamente un 60 % de nitrógeno, tal como al menos aproximadamente un 70 % de nitrógeno, o incluso al menos aproximadamente un 90 % de nitrógeno. De hecho, la atmósfera de sinterización puede consistir esencialmente en nitrógeno.
- 15 La sinterización se puede realizar además a una presión particular. Por ejemplo, la presión durante la sinterización puede no ser mayor de aproximadamente 5 MPa, tal como no mayor de aproximadamente 4 MPa, o incluso no mayor de aproximadamente 3,5 MPa. Aun así, la presión utilizada durante la sinterización puede ser al menos aproximadamente 0,01 MPa, o incluso al menos aproximadamente 0,08 MPa.
- 20 Opcionalmente, después de la sinterización, se puede formar el cuerpo, que incluye la retirada de composiciones y porciones particulares del cuerpo del artículo cocido. En particular, la formación puede incluir la retirada de características y composiciones no deseadas de las superficies externas del cuerpo sinterizado, ya que el tratamiento térmico puede dar como resultado un artículo cocido que tiene una superficie externa "con incrustaciones". Se pueden llevar a cabo diversos procedimientos para conformar el artículo cocido que incluyen, por ejemplo, chorro de arena, molienda y otras técnicas abrasivas.
- 25 Después de la formación, se puede realizar otro proceso opcional de oxidación. El cuerpo sinterizado se puede tratar térmicamente en una atmósfera oxidante durante un periodo particular para facilitar la formación de una capa de película de material de óxido sobre la superficie del cuerpo. En general, dichos procesos de oxidación utilizan temperaturas dentro de un intervalo entre aproximadamente 1300 °C y aproximadamente 1600 °C, durante periodos entre aproximadamente 1 hora y aproximadamente 20 horas.
- 30 Después de sinterizar el cuerpo en verde en la etapa 103, el proceso puede continuar en la etapa 104 por tratamiento del cuerpo para formar un artículo compuesto. De acuerdo con un modo de realización, el proceso de tratamiento puede incluir un tratamiento a alta presión. El tratamiento a alta presión puede incluir la encapsulación del cuerpo sinterizado en una atmósfera de alta presión que incluye, por ejemplo, la sinterización a presión de gas (GPS), el prensado isostático en caliente (HIP) o el prensado isostático en caliente encapsulado en vidrio (GEH). De hecho, el tratamiento se puede realizar a una presión que es mayor que la presión utilizada durante la sinterización. Por ejemplo, la presión utilizada durante el tratamiento puede ser de al menos aproximadamente 6 MPa, tal como al menos aproximadamente 10 MPa, al menos aproximadamente 20 MPa, al menos aproximadamente 40 MPa, al menos aproximadamente 50 MPa, al menos aproximadamente 70 MPa, al menos aproximadamente 80 MPa, al menos aproximadamente 90 MPa, o incluso al menos aproximadamente 100 MPa. Aun así, en un modo de realización, el tratamiento a alta presión puede utilizar una presión no mayor de aproximadamente 300 MPa.
- 35 Además del tratamiento de alta presión, el proceso de tratamiento también puede utilizar una atmósfera particular, lo que puede facilitar la transformación de determinadas fases dentro del cuerpo sinterizado. Por ejemplo, el tratamiento se puede realizar en una atmósfera rica en nitrógeno. Más en particular, el tratamiento se puede realizar en una atmósfera que comprende al menos aproximadamente un 60 % de nitrógeno, tal como al menos aproximadamente un 70 % de nitrógeno, al menos aproximadamente un 80 % de nitrógeno, al menos aproximadamente un 90 % de nitrógeno, o incluso una atmósfera que consiste esencialmente en nitrógeno.
- 40 Además, el tratamiento se puede realizar a temperaturas elevadas que pueden facilitar una transformación. De hecho, el tratamiento se puede realizar a temperaturas que son mayores que la temperatura utilizada para la sinterización. Por ejemplo, el proceso de tratamiento se puede realizar a una temperatura de al menos aproximadamente 1200 °C, tal como al menos aproximadamente 1300 °C, al menos aproximadamente 1350 °C, o incluso al menos aproximadamente 1400 °C. Aun así, el procedimiento de tratamiento se puede realizar a una temperatura que no sea mayor de aproximadamente 2400 °C, tal como no mayor de aproximadamente 2300 °C, no mayor de aproximadamente 2200 °C, o incluso no mayor de aproximadamente 2100 °C. Durante el proceso de tratamiento, la temperatura puede mantenerse durante un periodo de al menos aproximadamente 10 minutos, al menos aproximadamente 30 minutos o incluso al menos aproximadamente 50 minutos. En otros casos, la temperatura se puede mantener durante un periodo no mayor de aproximadamente 10 horas.
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

La realización de dicha operación de tratamiento puede facilitar la inclusión de nitrógeno en exceso en el cuerpo desde la atmósfera de nitrógeno a alta temperatura y alta presión. En consecuencia, el cuerpo puede tener un contenido de nitrógeno que supera la cantidad estequiométrica de nitrógeno que típicamente se asociaría con una única fase de nitruro dentro del cuerpo compuesto. En casos más particulares, el proceso de tratamiento se puede realizar a presiones tan altas que el cuerpo se comprime para facilitar la transformación de una porción de un material de carburo en un material de nitruro dentro del cuerpo compuesto. Por ejemplo, el proceso de tratamiento se puede realizar para facilitar una reacción de descomposición del carburo de silicio en nitruro de silicio como se representa por la ecuación química: $3\text{SiC(s)} + 2\text{N}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4(\text{s}) + 3\text{C(s)}$. Además, el proceso de tratamiento puede facilitar una reacción de consumo en el cuerpo, en la que un contenido de sílice en el cuerpo se puede convertir en nitruro de silicio, como se representa por la ecuación química $2\text{SiC(s)} + \text{SiO}_2(\text{s}) + 2\text{N}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4(\text{s}) + 2\text{CO(g)}$.

El artículo compuesto resultante formado a partir del proceso tiene un cuerpo que incluye una primera fase, una segunda fase y una tercera fase, que son distintas entre sí. La primera fase consiste esencialmente en nitruro de silicio.

El nitruro de silicio de la primera fase puede ser una mezcla de fases alfa y beta de nitruro de silicio. Típicamente, sin embargo, el nitruro de silicio de la primera fase comprende un contenido minoritario de fase alfa y un contenido mayoritario de nitruro de silicio de fase beta. En casos más particulares, el nitruro de silicio de la primera fase puede tener un contenido de nitruro de silicio en fase alfa de menos de aproximadamente un 35 %, tal como no mayor de aproximadamente un 30 %, no mayor de aproximadamente un 25 %, o incluso no mayor de aproximadamente un 10 % para la cantidad total de nitruro de silicio.

Adicionalmente, la primera fase puede estar compuesta de granos que tienen un tamaño de grano promedio no mayor de aproximadamente 10 micrómetros, tal como no mayor de aproximadamente 8 micrómetros, no mayor de aproximadamente 5 micrómetros, no mayor de aproximadamente 3 micrómetros, o incluso no mayor de aproximadamente 1 micrómetro. Aun así, la primera fase puede incluir granos que tienen un tamaño de grano promedio de al menos aproximadamente 0,01 micrómetro, tal como al menos 0,05 micrómetros, al menos aproximadamente 0,08 micrómetros o al menos aproximadamente 0,1 micrómetro. Se apreciará que la primera fase puede tener un tamaño de grano promedio dentro de un intervalo entre cualquiera de los valores mínimos y máximos mencionados anteriormente.

Además, la primera fase puede estar compuesta de granos cristalinos que tienen una morfología acicular o similar a una aguja. En particular, los granos cristalinos de la primera fase pueden tener una relación de aspecto medida como longitud:anchura, en la que la longitud es la medida más larga del grano y la anchura es la medida más corta del grano. Los granos cristalinos de la primera fase pueden tener una relación de aspecto dentro de un intervalo entre aproximadamente 1 y 10 y, más en particular, dentro de un intervalo entre 2 y 6.

La primera fase está presente en una cantidad mayor que la segunda fase. Adicionalmente, la primera fase está presente en una cantidad mayor que la tercera fase. El cuerpo se forma para que tenga un contenido de la primera fase que sea al menos de aproximadamente un 50 % en peso, tal como al menos aproximadamente un 55 % en peso, al menos aproximadamente un 60 % en peso, o incluso al menos aproximadamente un 65 % en peso. Aun así, el cuerpo se forma de modo que la primera fase esté presente en una cantidad que no sea mayor de aproximadamente un 90 % en peso, tal como no mayor de aproximadamente un 85 % en peso, no mayor de aproximadamente un 80 % en peso, no mayor de aproximadamente un 80 % en peso, no mayor de aproximadamente un 75 % en peso, o incluso no mayor de aproximadamente un 70 % en peso para el peso total del cuerpo. Se apreciará que la cantidad de la primera fase dentro del cuerpo puede estar dentro de un intervalo entre cualquiera de los valores mínimos y máximos mencionados anteriormente.

El artículo compuesto incluye además una segunda fase que consiste esencialmente en carburo de silicio.

De acuerdo con un modo de realización, la segunda fase puede estar presente como un material cristalino compuesto de cristales o granos, que pueden estar unidos entre sí por el material de la primera fase. La segunda fase puede tener granos que tengan un tamaño de grano promedio no mayor de aproximadamente 500 micrómetros, tal como no mayor de aproximadamente 300 micrómetros, no mayor de aproximadamente 200 micrómetros, o incluso no mayor de aproximadamente 150 micrómetros. Aun así, la segunda fase puede incluir granos que tengan un tamaño de grano promedio que es de al menos aproximadamente 0,1 micrómetros, al menos aproximadamente 0,5 micrómetros, al menos aproximadamente 1 micrómetro, al menos aproximadamente 5 micrómetros, al menos aproximadamente 10 micrómetros, al menos aproximadamente 12 micrómetros, al menos aproximadamente 20 micrómetros, o incluso al menos aproximadamente 50 micrómetros. Se apreciará que la segunda fase puede tener granos que tengan un tamaño de grano promedio dentro de un intervalo entre cualquiera de los valores mínimos y máximos proporcionados anteriormente.

El cuerpo incluye un contenido minoritario de la segunda fase, incluyendo no mayor de un 45 % en peso, tal como no mayor de aproximadamente un 40 % en peso, no mayor de aproximadamente un 35 % en peso, no

mayor de aproximadamente un 30 % en peso, no mayor de aproximadamente un 25 % en peso, no mayor de aproximadamente un 22 % en peso, o incluso no mayor de aproximadamente un 20 % en peso de la segunda fase para todo el peso del cuerpo. Aun así, la segunda fase está presente dentro del cuerpo en una cantidad de al menos un 5 % en peso, al menos aproximadamente un 8 % en peso, al menos aproximadamente un 10 % en peso, o incluso al menos aproximadamente un 12 % en peso para el peso total del cuerpo. Se apreciará que la segunda fase puede estar presente dentro del cuerpo en una cantidad dentro de un intervalo entre cualquiera de los porcentajes mínimos y máximos mencionados anteriormente.

Los granos de la segunda fase pueden incluir una fase alfa de carburo de silicio. Más en particular, la segunda fase puede estar formada por granos aciculares o similares a una aguja que tienen una relación de aspecto de longitud:anchura, en la que la longitud es la medida más larga y la anchura es la medida más corta del grano observado en sección transversal a través de medios adecuados (p. ej., SEM). Los granos de la segunda fase pueden tener una relación de aspecto dentro de un intervalo entre 1 y 20, tal como dentro de un intervalo entre 1 y 15, y más en particular, dentro de un intervalo entre 2 y 10.

De acuerdo con un modo de realización, el artículo compuesto se puede formar para que tenga un cuerpo que tenga una proporción particular entre el contenido de la primera fase y el contenido de la segunda fase. Como se señala en el presente documento, el cuerpo se forma para que tenga un mayor contenido de la primera fase en comparación con el contenido de la segunda fase. Y en casos más particulares, el cuerpo puede tener una proporción del contenido de la primera fase a la segunda fase que es al menos aproximadamente 3:1, tal como al menos aproximadamente 3,2:1, al menos aproximadamente 3,5:1 o incluso 4:1. Aun así, el cuerpo puede utilizar una proporción de primera fase a segunda fase (es decir, % en peso de la segunda fase:% en peso de la primera fase) que no es mayor de aproximadamente 10:1, no mayor de aproximadamente 9:1, no mayor de aproximadamente 8:1 o no mayor de aproximadamente 7:1.

El artículo compuesto incluye además una tercera fase separada y distinta de la primera o segunda fase. La tercera fase incluye una primera porción y una segunda porción, en la que la primera porción y la segunda porción pueden ser distintas entre sí en morfología, composición, posición con el cuerpo y una combinación de las mismas. En un caso más particular, el cuerpo puede contener un mayor contenido de la primera porción que el contenido de la segunda porción.

La primera porción de la tercera fase incluye un material de óxido. La primera porción de la tercera fase incluye un material de fase amorfa.

En determinados modos de realización, la primera porción y/o la segunda porción de la tercera fase se pueden dispersar dentro de la matriz de la primera fase y la segunda fase, y se pueden dispersar uniformemente en todo el volumen del cuerpo. En casos particulares, la primera porción y/o la segunda porción de la tercera fase se pueden localizar entre los granos de la primera fase y la segunda fase, tal como en los límites del grano. Más en particular, la primera porción y/o la segunda porción del material de la tercera fase pueden tener una morfología diferente de la primera fase o la segunda fase. Por ejemplo, la primera porción y/o la segunda porción de la tercera fase pueden incluir un material de fase amorfa (es decir, fase vítrea). De hecho, en determinados casos, la tercera fase puede consistir esencialmente en un material amorfo, de modo que la tercera fase esté esencialmente libre de contenido cristalino.

La tercera fase está presente en una cantidad minoritaria dentro del cuerpo. El cuerpo tiene un contenido de primera fase que es mayor que el contenido de la tercera fase, incluyendo la cantidad total de la primera porción y la segunda porción. Además, el cuerpo se forma de modo que el contenido de la segunda fase sea mayor que la tercera fase, incluyendo la cantidad total de la primera porción y la segunda porción. En casos particulares, el cuerpo se puede formar de modo que el contenido de la tercera fase pueda ser de al menos aproximadamente un 4 % en peso, tal como al menos aproximadamente un 5 % en peso, o al menos aproximadamente un 6 % en peso para el peso total del cuerpo. Sin embargo, en un modo de realización, el artículo compuesto se forma de modo que el cuerpo no tenga más de un 20 % en peso, tal como no más de aproximadamente un 15 % en peso, no más de aproximadamente un 12 % en peso, no más de aproximadamente un 11 % en peso en la tercera fase para el peso total del cuerpo. Se apreciará que la cantidad de la tercera fase dentro del cuerpo puede estar dentro de un intervalo entre cualquiera de los valores mínimos y máximos mencionados anteriormente.

De acuerdo con la invención, el artículo compuesto se forma de modo que la primera porción de la tercera fase contenga un contenido particular de nitrógeno debido a técnicas de proceso particulares de acuerdo con los modos de realización. La primera porción de la tercera fase incluye un contenido de nitrógeno de al menos aproximadamente un 1,6 % en peso, al menos aproximadamente un 1,8 % en peso, al menos aproximadamente un 2,0 % en peso, al menos aproximadamente un 2,2 % en peso, al menos aproximadamente un 2,5 % en peso, o incluso al menos aproximadamente un 2,8 % en peso del peso total del cuerpo. Sin embargo, en otro modo de realización, la primera porción de la tercera fase se puede formar de modo que tenga un contenido de nitrógeno no mayor de un 10 % en peso, no mayor de aproximadamente un 9 % en peso, no mayor de aproximadamente un 8 % en peso, no mayor de aproximadamente un 7 % en peso, no mayor de aproximadamente un 6 % en peso, no mayor de aproximadamente un 5 % en peso, o incluso no mayor de aproximadamente un 4 % en peso

para el peso total del cuerpo. Se apreciará que la primera porción de la primera porción de la tercera fase se puede formar para que tenga un contenido de nitrógeno dentro de un intervalo entre cualquiera de los valores mínimos y máximos mencionados anteriormente.

5 Además, se apreciará que el contenido de nitrógeno anterior dentro de la primera porción de la tercera fase puede ser sustancialmente igual o esencialmente igual al contenido de nitrógeno en exceso dentro del cuerpo debido a una cantidad de nitrógeno no estequiométrica. La cantidad de nitrógeno no estequiométrica, que es una cantidad de nitrógeno en exceso de la cantidad estequiométrica calculada basándose en el nitrógeno que se espera que esté presente en el cuerpo como parte de la primera fase que comprende el material de nitruro. En
10 casos particulares, una porción del nitrógeno en exceso dentro del cuerpo puede estar contenida dentro de la primera porción de la tercera fase. En otros determinados casos, un contenido mayoritario de la cantidad en exceso de nitrógeno puede estar presente dentro de la primera porción de la tercera fase y, aún más en particular, esencialmente todo el nitrógeno en exceso en el cuerpo puede estar presente en la primera porción de la tercera fase.

15 Con más detalle, la cantidad de contenido de nitrógeno en exceso se puede calcular a partir de datos analíticos. Por ejemplo, la muestra se puede examinar, en primer lugar, con difracción de rayos X usando el procedimiento de Reitveld en un difractómetro de polvo de Philips para calcular la cantidad de nitrógeno contenido dentro de la estructura cristalina del material. Además se puede evaluar una muestra del cuerpo usando una máquina TC600 fabricada por LECO siguiendo los procedimientos estándar para medir el contenido de nitrógeno dentro de una muestra. El nitrógeno en exceso es entonces la diferencia entre el contenido de nitrógeno calculado exclusivamente a partir del contenido cristalino y el contenido de nitrógeno medido usando la máquina TC600, que puede medir el contenido de nitrógeno independientemente de la fase (es decir, amorfa o cristalina).

20 Adicionalmente, el cuerpo puede incluir una cantidad de carbono no estequiométrica, que es una cantidad de carbono en exceso de la cantidad estequiométrica calculada basándose en la cantidad de carbono que se espera que esté presente en el cuerpo como parte de la segunda fase que comprende el material de carburo. En casos particulares, una porción del carbono en exceso dentro del cuerpo puede estar contenida dentro de la segunda porción de la tercera fase. En otros determinados casos, un contenido mayoritario del contenido en exceso de carbono puede estar presente dentro de la segunda porción de la tercera fase y, aún más en particular, esencialmente todo el carbono en exceso dentro del cuerpo puede estar presente dentro de la segunda porción de la tercera fase.

35 De acuerdo con otro modo de realización, el artículo compuesto se puede formar de modo que la segunda porción de la tercera fase contenga un contenido particular de carbono debido a técnicas de proceso particulares de acuerdo con los modos de realizaciones. Por ejemplo, la segunda porción de la tercera fase puede incluir un contenido de carbono de al menos un 0,5 % en peso, tal como al menos aproximadamente un 1 % en peso, al menos aproximadamente un 1,5 % en peso, al menos aproximadamente un 2,0 % en peso, al menos aproximadamente un 2,5 % en peso, al menos aproximadamente un 3 % en peso, o incluso al menos aproximadamente un 3,5 % en peso del peso total del cuerpo. Sin embargo, en otro modo de realización, la segunda porción de la tercera fase se puede formar de modo que tenga un contenido de carbono no mayor de un 10 % en peso, no mayor de aproximadamente un 9 % en peso, no mayor de aproximadamente un 8 % en peso, no mayor de aproximadamente un 7 % en peso, no mayor de aproximadamente un 6 % en peso, o incluso no mayor de aproximadamente un 5 % en peso. Se apreciará que la segunda porción de la tercera fase se puede formar para que tenga un contenido de carbono dentro de un intervalo entre cualquiera de los valores mínimos y máximos mencionados anteriormente.

50 En un modo de realización, el contenido de carbono al que se hace referencia anteriormente dentro de la segunda porción de la tercera fase puede ser sustancialmente igual o esencialmente igual al contenido de carbono en exceso dentro del cuerpo debido a una cantidad de carbono no estequiométrica. La cantidad de carbono no estequiométrica, que es una cantidad de carbono en exceso de la cantidad estequiométrica calculada basándose en la cantidad de carbono que se espera que esté presente en el cuerpo como parte de la segunda fase que comprende el material de carburo. En casos particulares, una porción del carbono en exceso dentro del cuerpo puede estar contenida dentro de la segunda porción de la tercera fase. En otros determinados casos, un contenido mayoritario de la cantidad en exceso de carbono puede constituir la segunda porción de la tercera fase y, aún más en particular, esencialmente todo el carbono en exceso dentro del cuerpo puede estar presente dentro de la segunda porción de la tercera fase. La cantidad de contenido de carbono en exceso se puede calcular de la misma manera que el cálculo del nitrógeno en exceso, excepto que se usa un modelo CS600 de la máquina de LECO.

60 En determinados casos, el cuerpo del artículo compuesto se puede formar para que tenga un contenido particular de itrio (Y). Por ejemplo, el cuerpo puede incluir un contenido de itrio de al menos aproximadamente un 0,01 % en peso, tal como al menos un 0,05 % en peso, o incluso al menos un 0,08 % en peso, al menos aproximadamente un 0,1 % en peso, al menos aproximadamente un 0,5 % en peso, o incluso al menos aproximadamente un 1 % en peso para el peso total del cuerpo. Sin embargo, el contenido de itrio puede estar

5 limitado de modo que el cuerpo contenga no más de aproximadamente un 10 % en peso, tal como no más de aproximadamente un 9 % en peso, no más de aproximadamente un 7 % en peso, no más de aproximadamente un 5 % en peso, o incluso no más de aproximadamente un 3 % en peso de itrio para el peso total del cuerpo. La cantidad de itrio dentro del cuerpo puede estar dentro de un intervalo entre cualquiera de los porcentajes mínimos y máximos anteriores.

Adicionalmente, el cuerpo se puede formar para que tenga un contenido particular de otros elementos particulares. Por ejemplo, el cuerpo puede estar esencialmente libre de titanio (Ti), circonio (Zr), hafnio (Hf), tungsteno (W), molibdeno (Mo), tantalio (Ta), niobio (Ni), cromo (Cr).

10 Además, el cuerpo puede estar esencialmente libre de silicio metálico. En otro modo de realización, el cuerpo puede contener un contenido de hierro (Fe), tal como un contenido minoritario de hierro, típicamente no mayor de aproximadamente un 5 % en peso, no mayor de aproximadamente un 3 % en peso, o no mayor de aproximadamente un 1 % en peso para el peso total del cuerpo. En un caso particular, el cuerpo puede contener al menos aproximadamente un 0,05 % en peso de hierro, al menos aproximadamente un 0,1 % en peso de hierro o al menos aproximadamente un 0,5 % en peso de hierro. El contenido de hierro puede estar dentro de un intervalo entre cualquiera de los porcentajes mínimos y máximos mencionados anteriormente.

20 El artículo compuesto de los modos de realización del presente documento se puede formar mediante un proceso particular que incluye una composición particular de modo que tenga determinadas propiedades. Por ejemplo, los artículos compuestos se pueden formar para que tengan un cuerpo que tenga una dureza de al menos 10 GPa, al menos aproximadamente 11 GPa, o incluso al menos aproximadamente 12 GPa, medida por medio de la norma ASTM C1324 en la escala de dureza Vickers. Aun así, en determinados casos, el cuerpo puede tener una dureza no mayor de aproximadamente 19 GPa o no mayor de aproximadamente 18 GPa. Se apreciará que el cuerpo puede tener una dureza dentro de un intervalo entre cualquiera de los valores mínimos y máximos mencionados anteriormente.

30 Además, los artículos compuestos de los modos de realización del presente documento se pueden formar en forma de un cuerpo que tenga una tenacidad a la fractura (K1c) de al menos 4 Mpa m^(1/2), al menos aproximadamente 4,5 MPa m^(1/2), o incluso al menos aproximadamente 5 MPa m^(1/2), medida por medio de una prueba de indentación en la escala K1c de acuerdo con Anstis et al., Jour. Am. Cer. Soc., Vol. 64, pág. 533 (1981). Aun así, en determinados casos, el cuerpo puede tener una dureza no mayor de aproximadamente 7 MPa m^(1/2) o no mayor de aproximadamente 6,8 MPa m^(1/2). Se apreciará que el cuerpo puede tener una tenacidad a la fractura dentro de un intervalo entre cualquiera de los valores mínimos y máximos mencionados anteriormente.

40 Adicionalmente, el cuerpo formado por el artículo compuesto de acuerdo con los procesos del presente documento puede tener una densidad particular. Por ejemplo, la densidad puede ser al menos aproximadamente un 95 %, tal como al menos aproximadamente un 97 %, o incluso al menos aproximadamente un 99 % de la densidad teórica. Más en particular, el valor real de densidad puede estar dentro de un intervalo entre aproximadamente 2,6 g/cm³ y aproximadamente 3,3 g/cm³.

EJEMPLO

45 Se prepara una mezcla de materias primas en polvo de metal de silicio, carburo de silicio y frita de espinela (confirme que es un material fritado). La mezcla seca incluye aproximadamente un 16,3 % en peso de polvo de metal de silicio que tiene un tamaño de partícula D50 de aproximadamente 25 micrómetros, aproximadamente un 74,5 % en peso de polvo de carburo de silicio total, en el que aproximadamente la mitad del polvo de carburo de silicio es un polvo grueso que tiene un tamaño de partícula D50 de aproximadamente 120 micrómetros y la otra mitad del polvo de carburo de silicio es un polvo fino que tiene un tamaño de partícula D50 de aproximadamente 3 micrómetros. El resto de la mezcla (-8,7 % en peso) está compuesto del material de espinela en polvo que tiene un tamaño de partícula D50 de aproximadamente 10 micrómetros.

55 La mezcla se convierte en una suspensión espesa y se moldea en barbotina en un cuerpo en verde que tiene la forma deseada. El cuerpo en verde se sinteriza en una atmósfera de aproximadamente un 100 % de nitrógeno a una presión de aproximadamente 0,1 MPa a una temperatura de 1450 °C durante aproximadamente 10-12 horas. Después de la sinterización, el cuerpo es un cuerpo de carburo de silicio unido con nitrógeno.

60 El cuerpo sinterizado se somete luego a una operación de prensado isostático en caliente a presión de gas (GPH) en una atmósfera rica en nitrógeno, a una presión de aproximadamente 200 MPa, durante un periodo de 1 hora, a una temperatura de aproximadamente 1800 °C.

65 El material compuesto finalmente formado tiene aproximadamente un 56 % en peso de nitruro de silicio, un 35 % en peso de carburo de silicio, un 8 % en peso de una primera porción de una tercera fase compuesta de magnesio, material de óxido de aluminio (100 % de fase amorfa) que tiene aproximadamente un 1,6 % en peso de nitrógeno no estequiométrico y aproximadamente un 3 % en peso de una segunda porción de una tercera

fase amorfa compuesta de carbono en fase amorfa no estequiométrico. El cuerpo se sometió a prueba y demostró una dureza Rockwell de 91 (dureza Vickers de 11 GPa) y una tenacidad a la fractura (K1c) de 4,4 MPa m^{1/2}.

5 Los modos de realización del presente documento están dirigidos a artículos compuestos que incorporan carburo de silicio, nitruro de silicio y un material de óxido, que tienen características particulares de composición y mecánicas que hacen que el artículo sea adecuado para su uso en blindajes. Los modos de realización del presente documento están dirigidos a una combinación de características que incluyen los porcentajes de fases
10 particulares dentro del cuerpo, el tamaño de los granos dentro del cuerpo, la presencia de especies no estequiométricas, la dispersión de las fases, la ausencia de determinados materiales (es decir, elementos y/o compuestos), y otros que representan una desviación del estado de la técnica. Los modos de realización proporcionan una combinación de características, que se pueden combinar de diversas maneras para describir y definir los artículos abrasivos unidos de los modos de realización. La descripción no pretende exponer una jerarquía de características, sino diferentes características que se pueden combinar de una o más maneras para
15 definir la invención.

En lo anterior, la referencia a modos de realización específicos y las conexiones de determinados componentes es ilustrativa. Se apreciará que la referencia a componentes que están acoplados o conectados está destinada a
20 divulgar una conexión directa entre dichos componentes o una conexión indirecta a través de uno o más componentes intermedios, como se apreciará para llevar a cabo los procedimientos que se analizan en el presente documento. Como tal, la materia objeto divulgada anteriormente se debe considerar ilustrativa y no restrictiva, y las reivindicaciones adjuntas pretenden cubrir todas esas modificaciones, potenciaciones y otros modos de realización, que entran dentro del alcance real de la presente invención. Por tanto, en la medida
25 máxima permitida por la ley, el alcance de la presente invención se determinará mediante la interpretación más amplia permitida de las siguientes reivindicaciones y sus equivalentes, y no se restringirá ni limitará por la descripción detallada anterior.

La divulgación se presenta con el entendimiento de que no se usará para limitar el alcance o el significado de las reivindicaciones. Además, en la divulgación anterior, diversas características se pueden agrupar conjuntamente o
30 describir en un solo modo de realización con el propósito de simplificar la divulgación. Esta divulgación no se debe interpretar como un reflejo de un intento de que los modos de realización del presente documento limiten las características proporcionadas en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un artículo compuesto que comprende:

5 un cuerpo que incluye:

una primera fase que consiste esencialmente en nitruro de silicio, siendo la primera fase al menos aproximadamente un 50 % en peso y no mayor de aproximadamente un 90 % en peso para el peso total del cuerpo;

10 una segunda fase que consiste esencialmente en carburo de silicio, siendo la segunda fase al menos un 5 % en peso y no mayor de un 45 % en peso para el peso total del cuerpo;

15 una tercera fase que comprende una primera y una segunda porción, en la que la primera porción de la tercera fase comprende un material de fase amorfa que incluye un material de óxido de aluminio y magnesio; y

en el que:

20 el cuerpo comprende un contenido de nitrógeno en exceso de la cantidad estequiométrica de nitrógeno asociada con el material de nitruro, y la primera porción de la tercera fase comprende un contenido de nitrógeno de al menos aproximadamente un 1,6 % en peso para el peso total del cuerpo; y

25 el cuerpo comprende un mayor contenido de la segunda fase que el contenido de la tercera fase, incluyendo la cantidad total de la primera porción y la segunda porción.

30 2. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que la primera fase comprende un material cristalino que comprende granos, y en el que los granos tienen un tamaño de grano promedio no mayor de 10 micrómetros.

3. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que la segunda fase comprende un material cristalino que comprende granos, y en el que los granos tienen un tamaño de grano promedio no mayor de 500 micrómetros.

35 4. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que la tercera fase comprende al menos una porción del contenido de nitrógeno en exceso de la cantidad estequiométrica.

5. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que la segunda porción de la tercera fase comprende un material amorfo.

40 6. El artículo compuesto de la reivindicación 5, en el que el cuerpo comprende no más de un 20 % en peso de la tercera fase, incluyendo las primera y segunda porciones de fase amorfa.

45 7. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que la primera porción de la fase amorfa de la tercera fase está localizada entre los granos cristalinos de la primera fase y los granos cristalinos de la segunda fase, y en el que la segunda porción de la fase amorfa de la tercera fase está localizada entre los granos cristalinos de la primera fase y los granos cristalinos de la segunda fase.

50 8. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que la primera porción de fase amorfa de la tercera fase comprende un contenido de nitrógeno no mayor de un 10 % en peso del peso total del cuerpo.

9. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que la segunda porción de fase de la tercera fase comprende carbono amorfo.

55 10. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que la segunda porción de fase de la tercera fase comprende un contenido de carbono de al menos un 0,5 % en peso y no mayor de un 10 % en peso del peso total del cuerpo.

11. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que el cuerpo comprende una dureza de al menos 10 GPa.

60 12. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que el cuerpo comprende una tenacidad a la fractura (K1c) de al menos 4 MPam^(1/2).

13. El artículo compuesto de la reivindicación 1, en el que el cuerpo tiene una densidad de al menos aproximadamente un 95 % de la densidad teórica.

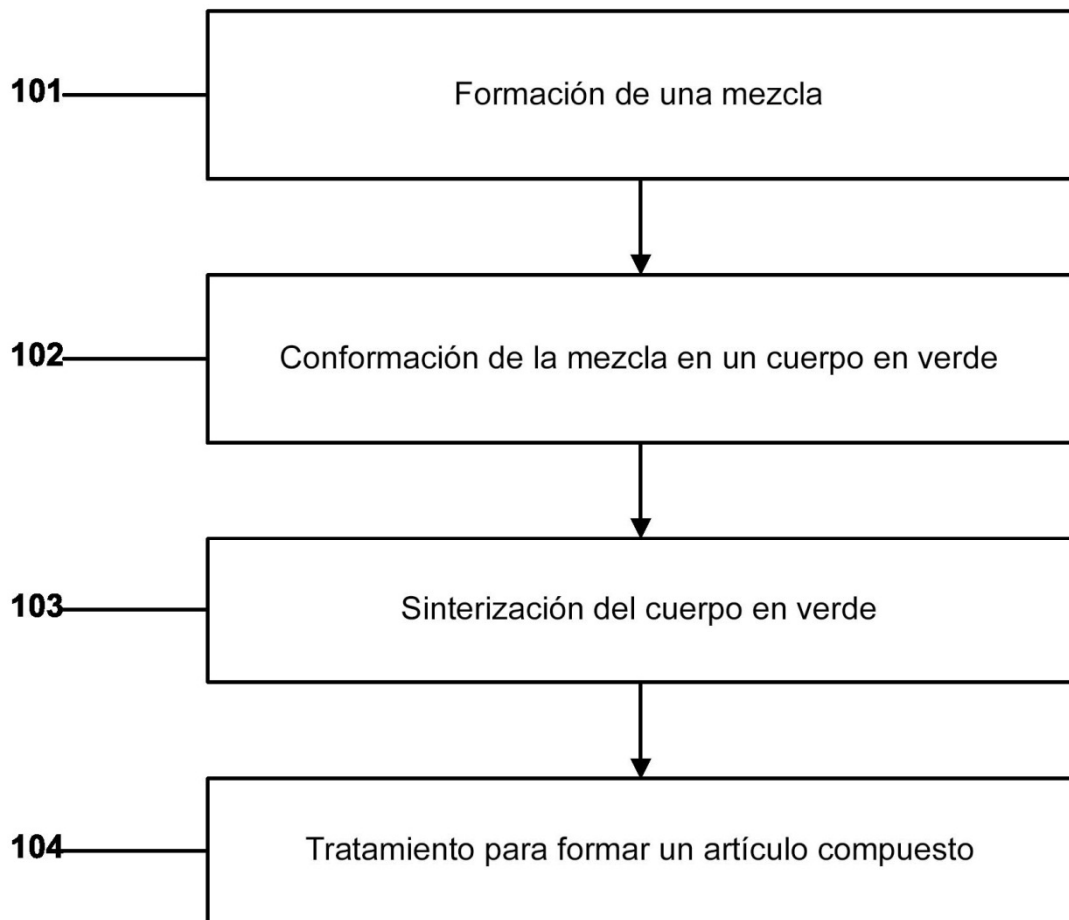


FIG. 1