

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 700 350**

51 Int. Cl.:

B04C 5/00 (2006.01)

B04C 5/085 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.07.2015 PCT/EP2015/066890**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.02.2016 WO16016087**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2015 E 15742224 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 3174636**

54 Título: **Ciclón en cerámica para una unidad de fraccionamiento catalítico fluido**

30 Prioridad:

28.07.2014 FR 1457251

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

15.02.2019

73 Titular/es:

**TOTAL RAFFINAGE CHIMIE (100.0%)
2 Place Jean Millier La Défense 6
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

RABOIN, JEAN-CHRISTOPHE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 700 350 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

Ciclón en cerámica para una unidad de fraccionamiento catalítico fluido

La invención se refiere a un ciclón de una unidad de fraccionamiento catalítico fluido (FCC).

5 En una unidad de fraccionamiento catalítico fluido, los ciclones son utilizados para separar las partículas catalíticas de los gases que circulan dentro de la unidad

La invención se refiere a los problemas de degradación de las paredes metálicas del equipo interno de una unidad de fraccionamiento catalítico. Estos problemas de degradación pueden ser debidos a la erosión provocada por la circulación de partículas catalíticas abrasivas dentro de la unidad de fraccionamiento catalítico o a la corrosión, debido a la presencia de gases corrosivos en determinadas porciones de la unidad de fraccionamiento catalítico.

10 Los ciclones son dispositivos que utilizan una fuerza centrífuga para desarrollar una separación mecánica de las partículas en suspensión en un gas. Los ciclones son dispositivos que comprenden un cuerpo, genéricamente en esencial cilindrocónico, diseñado para provocar una rápida rotación en el gas introducido en el cuerpo, por ejemplo, haciendo que el gas entre tangencialmente en la circunferencia del cuerpo, en las inmediaciones de la pared. Bajo el efecto de la fuerza centrífuga, las partículas sólidas captadas en el vórtice son desplazadas hacia la pared, pierden su velocidad en ese punto mediante fricción y caen dentro de la porción inferior del dispositivo, antes de salir a través del vértice del cono. El gas sigue por la pared hasta que se sitúa en las inmediaciones del vértice y una vez liberado de las partículas se eleva de nuevo hacia la porción superior para salir a través de una abertura dispuesta con este fin. Los ciclones utilizados en la unidad FCC presentan unas paredes de metal, generalmente compuesta de acero inoxidable.

20 En la unidad FCC, el material de alimentación a tratar, y el catalizador son introducidos juntos dentro de un reactor, cuya temperatura puede alcanzar varios cientos de grados centígrados, por ejemplo de 520 a 550° C. Los efluentes gaseosos que salen del reactor y que se forman durante la reacción química son separados de las partículas del catalizador sólido y coquificadas en un dispositivo de desprendimiento situado corriente abajo del reactor. Con este fin, uno o más ciclones son situados dentro del dispositivo de desprendimiento. Por ejemplo, un dispositivo de desprendimiento puede comprender dos etapas ciclónicas, estando las dos etapas montadas en serie y comprendiendo cada una un ciclón o varios ciclones montados en paralelo. Estos ciclones quedan sometidos a la erosión debido a la circulación del catalizador. La erosión esencialmente se aprecia en las paredes internas de los ciclones, pero también se puede observar en las paredes exteriores de los ciclones dependiendo de la configuración del dispositivo de desprendimiento

30 La reacción química producida en el reactor FCC conduce a la formación de depósitos de coque sobre las partículas catalizadoras, lo que requiere una regeneración continua de este catalizador. El catalizador coquizado y separado es entonces transportado como un flujo continuo hacia un regenerador en el que el coque es quemado por inyección de aire. Las temperaturas del regenerador interno utilizado para quemar el coque son del orden de 720 a 760° C. El catalizador caliente así regenerado, que puede ser clasificado como un nuevo catalizador, es entonces reinyectado en la salida del reactor con el material de alimentación renovado.

35 Aunque el catalizador despojado de su coque es continuamente descargado en la porción inferior del regenerador, cantidades considerables de partículas sólidas de dicho catalizador permanecen retenidas en la salida superior de dicho regenerador por el gas de combustión. Estas partículas sólidas del catalizador son recuperadas por medio de un dispositivo pertinente para separar y recuperar estas partículas. Con este fin, al menos una etapa de ciclones está presente en el generador, de modo preferente dos etapas de ciclones primarios y secundarios instalados en serie para separar y recuperar las partículas del catalizador contenidas en el gas de combustión. Dentro del regenerador, estos ciclones experimentan una corrosión masiva y rápida por los gases de combustión. También experimentan una erosión provocada por las partículas sólidas. Por tanto, es necesario protegerlos para prolongar su vida útil.

45 Las paredes metálicas de los ciclones situadas en el regenerador o en el dispositivo desprendedor quedan así cubiertas con un revestimiento destinado a protegerlas principalmente de la erosión, pero también de la corrosión. Dichos revestimientos generalmente están compuestos por un material composite, en general, un hormigón sostenido por una estructura de anclaje, que generalmente es metálica. Estas estructuras de anclaje están soldadas a las paredes metálicas y con ello proporcionan la fijación del material composite. Pueden presentar una forma alveolar que comprenda una pluralidad de celdas hexagonales firmemente unidas entre sí por sus lados. La estructura de anclaje a continuación es soldada a la pared metálica mediante la soldadura de únicamente una porción de las celdas de la pared metálica. Cada celda es a continuación ajustada con el material composite. Esta configuración del revestimiento hace también posible asegurar la absorción de las diferencias de expansión que existen entre la estructura de anclaje metálica y el material composite.

55 Dicho revestimiento hace posible proteger las paredes metálicas de los diversos ciclones de una unidad FCC. Sin embargo, con el tiempo se aprecia una degradación del revestimiento lo que puede provocar que fragmentos del revestimiento caigan dentro de las cámaras o ciclones, lo que puede alterar el funcionamiento de la unidad y exigir su paralización con el fin de sustituir el revestimiento.

Las degradaciones apreciadas pueden tener orígenes diversos, dependiendo de las condiciones operativas de la cámara en cuestión.

5 El dispositivo desprendedor o los ciclones situados dentro del dispositivo desprendedor están en contacto con los gases producidos por el fraccionamiento de la materia prima. Estos gases se introducen entre los intersticios del revestimiento y provocan la formación de coque dentro de estos intersticios y, más concretamente, en la conjunción de dos bandas yuxtapuestas de la estructura de anclaje. Esta formación de coque puede conducir a una separación considerable del revestimiento durante los ciclos de enfriamiento / recalentamiento de la cámara que contiene los ciclones: los espacios libres que existen entre el material compuesto y su estructura de anclaje son, efectivamente, ocupados por el coque de manera que estos espacios libres de retracción ya no pueden desempeñar su misión que consiste en la absorción de las diferencias en expansión entre la estructura de anclaje y el material composite. Esto se traduce en la formación de líneas de compresión, fraccionamientos o incluso una separación del material composite que ocupa las celdas de la estructura de anclaje.

15 En un regenerador o en los ciclones de un regenerador, las paredes metálicas están en contacto con las partículas del catalizador y con un gas que contiene, entre otros, oxígeno y óxidos de carbono, sulfuro y nitrógeno. Este gas penetra a través de los intersticios del revestimiento y provoca fenómenos de corrosión por el azufre del combustible, carburización y oxidación, en particular en las soldaduras que sujetan la estructura de anclaje metálica a las paredes metálicas.

20 Con independencia de los fenómenos de degradación observados, la corrosión, especialmente por el azufre del combustible, la carburización o la oxidación o la formación de coque, el solicitante ha observado que estos fenómenos esencialmente tienen lugar en la estructura de anclaje metálica y / o en su enlace por medio de soldadura con las paredes metálicas y, más concretamente, en las porciones de banda yuxtapuestas en la estructura de anclaje que están firmemente unidas por los medios de sujeción.

25 Para reducir los riesgos de corrosión, se han desarrollado estructuras de anclaje de formas específicas. Sin embargo, estas estructuras no posibilitan la desaparición completa de degradaciones debidas a la corrosión. Además, dichos revestimientos pueden producirse manualmente y son especialmente dilatarios y difíciles de instalar. Las operaciones de mantenimiento, por tanto, son prolongadas y costosas. Estos revestimientos recargan considerablemente las paredes metálicas cubiertas: en efecto, este tipo de revestimiento presenta un grosor de alrededor de 6 centímetros, lo que requiere la producción de paredes metálicas de gran grosor, incrementando aún más el coste global del equipo. Finalmente, la forma de los ciclones debe estar diseñada en función del peso de estos revestimientos y de su procedimiento de sujeción, pero también para reducir los riesgos de erosión. Debido a estas limitaciones, algunas veces no es posible modificar la forma de los ciclones para mejorar su capacidad de separar las partículas de un gas.

Por tanto, existe la necesidad de unos ciclones de una unidad FCC que presenten una mayor resistencia a la erosión y a la corrosión y cuyos costes de mantenimiento sean menores.

35 Existe también la necesidad de unos ciclones que presenten un volumen de trabajo mayor, en un tamaño global constante, es decir en un volumen externo constante.

40 El documento EP 1136132 divulga un ciclón que presenta un canal de descarga tubular adjunto a la cámara del vórtice y al menos las áreas del ciclón que producen las caras interiores de la cámara del vórtice y las del canal de descarga están formadas a partir de un material duro sinterizado producido mediante metalurgia de polvos. Materiales duros apropiados son carburo de titanio, nitruro de titanio, carburo de zirconio. Las caras interiores de la cámara del vórtice y el canal de descarga son endurecidos mediante la difusión de una fase de material duro o revestidos por la separación de fases de material duro.

45 Un objeto de la invención se refiere a un ciclón para la separación mecánica de partículas en suspensión en un gas, en particular destinada para una unidad de fraccionamiento catalítico fluido, comprendiendo dicho ciclón los elementos siguientes:

- una cámara de separación,
- un conducto de entrada que desemboca en la cámara,
- un conducto de salida de gas situado en la porción superior de la cámara y
- un conducto de salida de partículas situado en la porción inferior de la cámara.

50 De acuerdo con la invención, cada elemento del ciclón está compuesto por un material cerámico.

En particular, cada elemento del ciclón, más concretamente las paredes de estos elementos, carece de un revestimiento que comprenda una estructura de anclaje que defina las celdas ocupadas por el material composite del tipo de hormigón o de cemento, del tipo anteriormente descrito.

ES 2 700 350 T3

El ciclón de acuerdo con la invención tiene la ventaja de estar fabricado a partir de un material cerámico, al menos en cuanto a sus elementos principales, a saber el conducto de entrada, la cámara de separación y los conductos de salida de gas y de partículas.

5 Los materiales cerámicos han demostrado ser apropiados para las condiciones de utilización de una unidad FCC. En particular, estos materiales ofrecen una resistencia a la corrosión y térmica satisfactorias.

Los materiales cerámicos presentan una dureza relativamente elevada, mayor que los catalizadores utilizados en la unidad FCC, es decir una veta de al menos 1400 N/mm² como dureza Vickers. De modo preferente, el material cerámico presenta una dureza de más de 2100 N/mm² o incluso mayor de 2500 N/mm².

10 Debido a esta dureza relativamente alta, el ciclón de acuerdo con la invención tiene la ventaja de que no exige la presencia de una capa protectora sobre sus paredes: por tanto, ya no es necesario proteger las paredes con revestimientos del tipo de los descritos anteriormente para las paredes de acero. El resultado de esto es un ahorro de peso considerable del ciclón con respecto a los ciclones habitualmente utilizados. Debido a la ausencia del revestimiento protector a base de hormigón, también se reducen los riesgos de contaminación de los productos de fragmentación por los componentes derivados de la degradación del hormigón.

15 La fabricación y el mantenimiento de acuerdo con la invención resulta también facilitada con respecto a los ciclones de acero cubiertos con un revestimiento tipo de hormigón debido a la ausencia de revestimiento necesario para ser instalado o ser reparado / sustituido. Las operaciones de mantenimiento pueden también espaciarse o ser más cortas, lo que posibilita reducir de manera considerable los costes operativos de la unidad FCC, a sabiendas de que una tercera parte de las causas de averías de una unidad FCC provienen de una degradación del revestimiento de los ciclones

20 Debido a la ausencia de un revestimiento pesado y voluminoso de las paredes de los ciclones de acuerdo con la invención y debido a la gran dureza de estos ciclones, es, por tanto, posible diseñar la forma y las dimensiones de los ciclones para mejorar su capacidad de separación de las partículas. Los ciclones pueden con ello ser de menor tamaño. También es posible aumentar las velocidades dentro de los ciclones, siendo estas velocidades controladas para su datación para limitar la abrasión por las partículas. Esta mejora de la separación de las partículas hace posible reducir las pérdidas de catalizador y, por tanto, reducir el coste operativo de la unidad FCC.

25 Así mismo, dado que el grosor de la pared de los ciclones compuestos por un material cerámico es relativamente más delgado con respecto a la combinación de acero + hormigón, es posible mejorar la capacidad de tratamiento de la unidad FCC en cuestión, en cuanto los ciclones son un factor limitativo de incremento del rendimiento de la unidad FCC.

30 Además, dado que los ciclones de acuerdo con la invención pueden soportar grandes temperaturas, con ello es posible situarlos en un regenerador y hacer funcionar este regenerador en condiciones de riesgo que provoquen puntos calientes por medio de un fenómeno de combustión posterior en un punto no deseado del regenerador, como por ejemplo la entrada o el interior de uno de los ciclones. En otras palabras es posible alimentar el regenerador con cualquier materia prima con el fin de asegurar el equilibrio térmico de la unidad FCC sin riesgo de dañar los ciclones del regenerador.

El material cerámico puede ser seleccionado entre carburo de silicio, SiC, carburo de boro S₄C, nitruro de silicio Si₃N₄, nitruro de aluminio, AlN, nitruro de boro, BN, alúmina Al₂O₃ o mezclas de estos.

35 De modo preferente, el material cerámico es carburo de silicio, SiC, o comprende carburo de silicio, SiC, de modo preferente en una cantidad mayoritaria, por ejemplo en un contenido de un 60% a un 99,9% en peso. El carburo de silicio tiene la ventaja de poseer unas propiedades mecánicas y físicas satisfactorias para un coste de fabricación razonable.

40 Como una variante o, de manera opcional, en combinación, el material cerámico puede comprender una matriz cerámica entre carburo de silicio, SiC, carburo de boro, B₄C, nitruro de silicio, Si₃N₄, nitruro de aluminio, AlN, alúmina Al₂O₃, o mezclas de estos, incorporados en cuya matriz cerámica se sitúen fibras de carbono o fibras cerámicas o una mezcla de estas.

45 El material cerámico, a continuación, es un material composite. Dicho material composite puede ser ventajoso para las porciones del ciclón sometidas a estiramiento o a fuerza de cizalla. En particular, las fibras pueden estar situadas de forma aleatoria (seudoisotrópicamente) o anisotrópicamente. Una distribución anisotrópica de las fibras puede ser ventajosa en zonas particulares, por ejemplo las zonas terminales destinadas a ser ensambladas con otro material o con otra parte del mismo material (ensamblaje metálico o soldadura, cobresoldadura) o en el caso de zonas sometidas a un estiramiento / esfuerzo de cizalla (por ejemplo conos y tambores de ciclones que soporten las patas de los ciclones). Cuando existan estas fibras pueden representar de un 0,01% a un 10% en peso del material composite.

50 Las fibras de carbono pueden ser fibras de carbono con planos de grafito orientados a lo largo de la fibra

Las fibras cerámicas pueden ser seleccionadas entre las fibras de alúmina cristalina, fibras de mullita ($3Al_2O_3$, $2SiO_2$), fibras de carburo de silicio cristalino o amorfo, fibras de Zirconia, fibras de sílice - alúmina o mezclas de estas.

5 De modo preferente, el material cerámico composite comprende una matriz de carburo de silicio, SiC, que comprende fibras del tipo anteriormente mencionado. De modo preferente, las fibras son fibras de carburo de silicio.

De modo ventajoso y no limitativo, los dispositivos de acuerdo con la invención están preferentemente compuestos por materiales CMC (CMC = Composite de Matriz Cerámica), en la presente memoria identificados como dispositivos CMC. En otras palabras, el material composite en la presente memoria, anteriormente mencionado puede ser un CMC.

10 Un procedimiento de preparación de estos dispositivos de CMC, se lleva a cabo, de modo preferente, como sigue:

1) Conformar un material cerámico fibroso en último término sobre un material de soporte que podría ser retirado sin esfuerzo excesivo para obtener una forma fibrosa que pueda ser asimilada al esqueleto del dispositivo final que debe ser obtenido, en último término en presencia de una primera resina,

15 2) Revestir la forma obtenida en la etapa (1) con polvo cerámico finamente dividido y al menos una última resina en último término en presencia de polvo de carbono finamente dividido para obtener una forma revestida,

3) Eventualmente repetir las etapas (1) y (2),

20 4) Calentar la forma revestida de la etapa (2) o (3) al vacío y / o en una atmósfera inerte para transformar las resinas de la etapa (1), (2) y en último término (3) en una estructura rica en carbono, esencialmente exenta de otros elementos para obtener una forma rica en carbono,

5) Introducir un gas dentro de la forma revestida rica en carbono de la etapa (4) bajo condiciones eficaces para transformar la estructura rica en carbono en una estructura rica en carbono que contenga carburo,

6) En último término, retirar el material de soporte de la etapa (1), cuando exista,

25 en el que las fibras de carbono están presentes al menos en la etapa (1), (2) y / o (3) dentro del material cerámico fibroso, dentro del polvo cerámico finamente dividido dentro del polvo de carbono finamente dividido y / o dentro de la primera y / o segunda resinas.

De modo preferente, la mezcla de polvo cerámico finamente dividida comprende fibras cerámicas con unas longitudes comprendidas entre 100 nm a 5 mm en una cantidad de 0,1 a 20 Wt% con respecto a la cantidad total del polvo cerámico finamente dividido + el polvo de carbono finamente dividido cuando exista.

30 De modo preferente, los materiales cerámicos fibrosos compuestos por un elemento textil no tejido, un elemento textil tejido o tricotado en al menos una hebra, hilo, cuerda, filamento, cordón, haz, cable, en último término cosidos para mantener la forma deseada. El material cerámico fibroso y las resinas pueden estar presentes en una cantidad de hasta un 50 wt% con respecto a la cantidad total de componentes. En estas condiciones, si un CMC es fabricado con un material cerámico fibroso de un 50 wt% y resinas, y un polvo cerámico que comprenda un 20 Wt% de fibras cerámicas añadidas, el contenido total de fibras libres, esto es no contenidas en el material cerámico fibroso, antes de cualquier tratamiento térmico, es de 10 Wt%. (Wt% = porcentaje en peso).

El material cerámico fibroso, de modo preferente, está compuesto por fibras de carbono y / o fibras de carburo de silicio.

40 La primera, la segunda y las demás resinas son seleccionadas de manera independiente entre resinas capaces de producir un residuo de carbono y enlazar los diferentes componentes del material cerámico antes del tratamiento térmico. Las resinas apropiadas incluyen, de modo preferente, ácido polimetacrílico, metacrilato de polimetilo, metacrilato de polimetilo, polimetacrilonitrilo, policarbonatos, poliésteres, poliolefinas por ejemplo polietileno y polipropileno, poliuretanos, poliamidas, butiral de polivinilo, polioxietileno, resinas fenólicas, resinas de alcohol furfúrico, precursores poliméricos usuales de fibras de carbono, por ejemplo, poliacrilonitrilo, pez de petróleo. Las resinas y sus cualidades se ajustan a la porosidad deseada que se obtiene después del tratamiento térmico de la etapa (4) y antes de la etapa (5). De modo preferente, la porosidad total después del tratamiento de la etapa (4) debe comprenderse entre un 15 vol% y un 25 vol%, de modo más preferente entre un 20 vol% y un 22 vol%. (Vol% = porcentaje de volumen). Sin pretender adscribirse a ninguna teoría se parte de la base de que las resinas, cuando están experimentando el tratamiento térmico de la etapa (4) se transforman en una red de cavidades que contienen unos átomos de carbono residuales rodeados por vacío. Se presume que el gas de la etapa (5) se desplaza, de modo preferente, por dentro de esta red posibilitando así una homogeneidad mejorada del material CMC final. Por ejemplo, un polvo de SiC de un 78 Wt% que contiene 0,2 Wt% de fibra de carburo de silicio se mezcla con resina fenólica al 17 Wt% y polimetil metacrilato al 5 Wt% y esta mezcla se utiliza para impregnar y cubrir un tejido de carburo de silicio (que representa un 20 Wt% del peso total) que rodea un soporte de conformación, a continuación

ES 2 700 350 T3

calentado en una atmósfera de gas inerte hasta completar la carbonización de gas resinas para obtener un producto final con una porosidad total de 6 vol% a un 18 vol%.

El gas puede ser seleccionado entre SiH_4 , SiCl_4 , ZrCl_4 , TiCl_4 , BCl_3 , para formar el correspondiente carburo.

El gas preferente es SiH_4 o SiCl_4 .

- 5 Las condiciones preferentes de la etapa (5) son las condiciones estándar RCVI (Infiltración de Vapor Químico Reactivo), de modo más preferente utilizando presión pulsada.

De modo preferente, las etapas (4) y (5) se llevan a cabo de manera independiente a una temperatura comprendida entre 1100 y 1800° C y a una presión absoluta comprendida entre 0,1 y 1 barías.

- 10 De modo preferente, el polvo cerámico finamente dividido comprende o en último término está compuesto por partículas seleccionadas entre carburo de silicio, SiC , carburo de boro, B_4C , nitruro de silicio Si_3N_4 , nitruro de aluminio, AlN , nitruro de boro, BN , alúmina, Al_2O_3 , o mezclas de estas.

De modo preferente, el polvo de carbono finamente dividido es negro de humo de gas natural.

Un tamaño apropiado, pero no limitativo de tamaño de partículas para el polvo cerámico finamente dividido, y en último término el polvo de carbono finamente dividido es de aproximadamente 10 micrómetros o menos.

- 15 Dicho procedimiento de preparación permite una homogeneidad mejorada de partículas de material de CMC en el sentido de que el gradiente de porosidad y el atascamiento en la superficie de material se reduce de manera considerable o se mitiga totalmente, dependiendo de las condiciones experimentales (son preferentes temperaturas bajas de alrededor de 1100 - 1300° C y una presión reducida de alrededor de 0,1 - 0,5 barías absolutas).

- 20 De modo ventajoso y no limitativo, el material cerámico puede ser un material cerámico sinterizado. Esto puede en particular facilitar la fabricación de elementos compuestos por el material cerámico, ya estén fabricados a partir de una o más porciones o el ciclón sea producido a partir de una única parte, lo cual es técnicamente factible para ciclones secundarios que sean de pequeño tamaño en comparación con los ciclones primarios, y más sometidos a una erosión considerable. En términos absolutos, es posible producir ciclones primarios compuestos por una única pieza, sometidos a disponer unos hornos de sinterización de dimensiones suficientes.

- 25 En una forma de realización concreta, los elementos del ciclón pueden formar una y la misma pieza compuesta por material cerámico, por ejemplo obtenido mediante sinterización. La etapa de sinterización puede estar precedida por una etapa de conformación convencional, por ejemplo mediante compresión, extrusión o inyección.

- 30 La sinterización es un proceso para fabricar piezas consistentes en calentamiento de un polvo sin fundirlo. Bajo el efecto del calor, los granos se funden entre sí, lo que forma la cohesión de la pieza. La sinterización es especialmente utilizada para obtener la densificación de materiales cerámicos y presenta las siguientes ventajas:

- hace posible controlar la densidad de la sustancia; cuando se utiliza un polvo como elemento inicial y, dado que este polvo no se funde, es posible controlar el tamaño de los granos de polvo (tamaño de las partículas) y la densidad del material, dependiendo del grado de compacticidad inicial de los polvos;
- 35 - hace posible obtener materiales con una porosidad controlada, que son químicamente inertes (baja reactividad química y satisfactoria resistencia a la corrosión) y térmicamente inertes;
- hace posible controlar las dimensiones de las piezas fabricadas: cuando no hay un cambio de estado, las variaciones del volumen y las dimensiones no son excesivamente grandes con respecto a la fusión (ausencia del fenómeno de encogimiento).

- 40 En otra forma de realización concreta, los elementos de ciclón pueden ser elementos separados compuestos por un material cerámico en particular obtenido mediante sinterización que son ensamblados entre sí. Dichos elementos pueden ser separados mediante moldeo o extrusión antes de la etapa de sinterización. También pueden ser conformados mediante moldeo o extrusión, seguidas por un encendido de elemento de extrusión verde, en condiciones operativas convencionales apropiadas para el tipo de material cerámico producido. La etapa de encendido, de manera opcional, viene precedida por una etapa de secado.

- 45 Así mismo, cada elemento separado del ciclón o al menos un elemento separado del ciclón, puede también estar compuesto por varias porciones ensambladas entre sí. Cada porción puede en particular obtenerse mediante sinterización.

- 50 Los elementos constitutivos del ciclón pueden ventajosamente ser ensamblados mediante soldadura, cobresoldadura, atornillamiento, interbloqueo o combinaciones de estos sistemas. La elección de la técnica de ensamblaje se lleva a cabo dependiendo de la naturaleza del material cerámico utilizado y dependiendo de las limitaciones físicas constitutivas de los elementos en cuestión del ciclón.

De modo ventajoso y no limitativo, las paredes internas y / o externas del ciclón pueden ser lisas, en otras palabras pueden presentar una rugosidad de superficie reducida. Esto hace posible limitar la adherencia de partículas a estas paredes y también hace posible la reducción de la formación de elementos menudos catalíticos y, por tanto, una reducción de las pérdidas catalíticas y una reducción de los costes operativos de una unidad FCC. Pueden también
 5 posibilitar la reducción de las bajadas de presión y pueden mejorar la resistencia flexural de las porciones compuestas por el material cerámico.

De modo ventajoso y no limitativo, las porciones compuestas por material cerámico pueden obtenerse a partir de un polvo de sinterización relativamente fino, por ejemplo con un diámetro de grano medio de menos de o igual a 500 nm, lo que puede traducirse en unas superficies relativamente lisas.

10 Como alternativa o adicionalmente, las porciones compuestas por material cerámico pueden obtenerse añadiendo al material principal, por ejemplo, SiC, un aditivo seleccionado entre boro, B, silicio, Si y carbono, C, o mezclas de estos, por ejemplo en una proporción que varíe entre un 0,3% y un 2% en peso. En el caso de un material de SiC, obtenido por sinterización de polvo, dicha adición del aditivo puede posibilitar la reducción de la porosidad y en consecuencia de la rugosidad.

15 De modo ventajoso y no limitativo, el aditivo puede comprender una mezcla de boro, B, silicio, Si, y carbono, C. Puede así formarse un SiC adicional, que bloquee los poros y reduzca de esta manera la rugosidad.

Como alternativa o adicionalmente, podría, por ejemplo, disponerse una etapa de deposición adicional de SiC por deposición de vapores químicos (CVD).

20 Los elementos separados del ciclón y / o las porciones que forman estos elementos pueden ser conectadas por soldadura o cobresoldadura. El ensamblaje puede, por ejemplo, llevarse a cabo mediante un procedimiento de soldadura por difusión, por ejemplo como se describe en el documento US 2009/0239007 A1.

Como una variante o en combinación, elementos separados del ciclón destinados a ser ensamblados y / o porciones que forman estos elementos destinados a ser ensamblados, pueden incorporar unos extremos conformados con el fin de quedar ensamblados por interbloqueo o atornillamiento.

25 De modo ventajoso, los extremos de las porciones o elementos ensamblados o interbloqueo o atornillamiento pueden tener una forma cónica, lo que puede posibilitar reducir sencillamente los esfuerzos entre las piezas y mejorar la estanqueidad a las fugas entre las piezas.

En general, un ciclón presenta un eje geométrico de simetría y sus diversos elementos son cilíndricos o ónicos. Cuando el ciclón está compuesto por varios elementos destinados a ser ensamblados, estos elementos pueden ser
 30 secciones del ciclón a lo largo de su eje geométrico de simetría: cada elemento es entonces una sección de cono o una sección cilíndrica, y estos elementos pueden ser ensamblados mediante atornillamiento o interbloqueo de sus extremos o mediante soldadura o cobresoldadura.

A modo de ejemplo, la cámara de separación puede ser fabricada a partir de una sola pieza con la entrada de gas y los conductos de salida, formando el conducto de salida de partículas otra pieza. Las dos piezas del ciclón pueden
 35 ser ensambladas mediante atornillamiento (presentando sus extremos destinados a ser ensamblados una simetría rotacional) o por interbloqueo, de modo preferente por cooperación de formas cónicas, o soldadura o cobresoldadura.

También se puede prever que los conductos de entrada y salida de gas sean piezas separadas ensambladas con la cámara de separación mediante atornillamiento, presentando sus extremos destinados a ser ensamblados una
 40 simetría rotacional o interbloqueo, de modo preferente mediante la cooperación de las formas cónicas o mediante soldadura o cobresoldadura

La invención no está, sin embargo, limitada a las formas y número de los elementos de separación Destinados a ser ensamblados.

45 De modo ventajoso, para mejorar la estanqueidad a las fugas, una junta estanca puede estar situada entre las porciones o elementos ensamblados mediante interbloqueo o atornillamiento. Por ejemplo, puede consistir en una junta estanca fabricada en carbono o en cualquier otro material apropiado, por ejemplo, en vermiculita o en cualquier otro material comprimible y térmicamente estable. De manera opcional, una junta estanca puede estar situada entre porciones o elementos ensamblados mediante interbloqueo o atornillamiento de forma cónica.

El ciclón de acuerdo con la invención tiene la ventaja de estar compuesto por un material cerámico, al menos con lo respecto a sus elementos principales, a saber, la entrada, la cámara de separación y las salidas de gas y de
 50 partículas. Sin embargo, puede ser posible dotar al ciclón de un refuerzo externo, de modo preferente, un refuerzo ligero con el fin de no incrementar de manera considerable el peso del ciclón.

ES 2 700 350 T3

De modo ventajoso y no limitativo, al menos la cámara de separación compuesta por el material cerámico puede presentar una cubierta exterior de refuerzo en forma de malla, por ejemplo hecha de acero. Esto puede hacer posible reducir el grosor de las paredes de la cámara sin deteriorar la resistencia mecánica de la cámara.

5 La invención también se refiere a una cámara de una unidad de fraccionamiento catalítico fluido que comprende, o está conectada a, al menos un ciclón de acuerdo con la invención.

Esta cámara puede ser un regenerador o un dispositivo de desprendimiento de una unidad de FCC, que contiene ciclones.

10 Esta cámara puede también ser un reactor tubular, en particular aquél en el que tenga lugar la reacción catalítica, cuyo extremo, a través del cual salgan los efluentes y las partículas catalíticas gastadas, está conectado a la entrada de un ciclón.

En particular, cuando la cámara forma un reactor tubular de metal, por ejemplo, de acero, en particular de acero inoxidable, un extremo del reactor tubular puede estar conectado al conducto de entrada de un ciclón por unos medios de sujeción capaces de absorber una diferencia de absorción entre el metal del reactor y el material cerámico del ciclón.

15 Por ejemplo, dichos medios de sujeción pueden estar formados por una capa de materiales que comprendan esencialmente fibras cerámicas ensambladas que presenten un módulo elástico de no cero, estando esta capa situada entre una porción compuesta por el material cerámico y una porción metálica componiendo la cohesión de estas porciones.

20 Como alternativa, la geometría y las dimensiones de los medios de sujeción pueden ser adaptadas para compensar la diferencia de la expansión térmica entre el metal y el material cerámico.

Dichos medios de sujeción pueden comprender porciones que se interbloqueen o atornillen, de modo preferente porciones cónicas. Por ejemplo, las porciones destinadas a ser ensambladas presentan, de manera ventajosa, una simetría rotacional, y sus extremos presentan unas formas cónicas complementarias.

25 Como una variante, los medios de sujeción pueden comprender uno (o más) elemento(s) presionante(s) capaz (ces) de ejercer una fuerza elástica sobre una porción compuesta por el material cerámico destinado a ser ensamblado con una porción metálica para presionar esta porción compuesta por el material cerámico contra la porción metálica.

Así, la sujeción soporta la expansión diferencial entre el material de la porción metálica, por ejemplo acero, de modo preferente acero inoxidable, y el material cerámico, en efecto, el material cerámico puede presentar un coeficiente de expansión térmica que sea muy inferior al del acero.

30 El elemento presionante puede, por ejemplo, comprender un medio de resorte, u otros medios. Sería posible, por ejemplo, disponer una o más lengüetas de sujeción que estuvieran firmemente unidas a (o que formen una única pieza con) una porción metálica, por ejemplo, que estén soldadas. Estas lengüetas, por una parte, soldadas por medio de un extremo a la porción metálica, mientras que el otro extremo descansa sobre una superficie de una porción compuesta por el material cerámico, hacen posible ejercer una fuerza de apoyo elástica sobre la porción compuesta por el material cerámico para mantener esta porción presionada contra la porción metálica. Este otro extremo puede presentar una superficie relativamente plana para limitar las zonas de grandes esfuerzos mecánicos.

35 En particular, los medios de sujeción pueden comprender al menos una lengüeta metálica firmemente unida a una cara de sujeción del reactor y capaz de soportar elásticamente un borde del ciclón para mantener este borde contra la cara de sujeción del reactor.

40 Como una variante, esta cámara que forma un reactor tubular puede también estar compuesta por el material cerámico. Su extremo puede, en consecuencia, estar conectado a la entrada de un ciclón mediante soldadura, cobresoldadura, atornillamiento o interbloqueo.

45 En particular, el material cerámico puede ser el mismo que el descrito con referencia al ciclón de acuerdo con la invención. El ensamblaje mediante soldadura, cobresoldadura, atornillamiento o interbloqueo pueden ser como se ha descrito con referencia al ensamblaje del ciclón compuesto por varias porciones separadas.

Finalmente, la invención también se refiere a una unidad de fragmentación catalítica que comprenda al menos un ciclón de acuerdo con la invención y al menos una cámara de acuerdo con la invención.

A continuación se describirá la invención con referencia a los dibujos adjuntos, no limitativos, en los que:

- la Figura 1 es una representación esquemática de una unidad FCC,
- 50 - la Figura 2 es una representación esquemática en sección transversal de un ciclón,
- las Figuras 3a y 3b son vistas en sección transversal de dos tipos de ciclón en un conducto de entrada,

ES 2 700 350 T3

- las Figuras 4a y 4b son vistas en sección transversal axial de los extremos de dos partes ensambladas. Las partes ensambladas están separadas en la Figura 4b para mayor claridad,
- la Figura 5 muestra un ejemplo del ensamblaje de un ciclón de acuerdo con la invención para un reactor, en particular un reactor metálico, mostrando la Figura 5a un detalle de esta Figura 5.

5 La Figura 1 representa una unidad de fragmentación catalítica fluida equipada con un reactor elevador del flujo esencialmente ascendente. Esta unidad es de un tipo conocido de por sí. Comprende, en particular, un reactor 1 en forma de columna, designado como un elevador de materia prima, o elevador, alimentado en su base por medio de un conducto 32 con unos granos de catalizador regenerados en una cantidad determinada. Un gas elevador, por ejemplo vapor, es introducido en la columna 1 a través de la línea 4 por medio de un difusor 5.

10 La materia prima destinada a ser fragmentada es introducida en la zona 6 de inyección, que comprende unos inyectores 2 y 3. La columna 1 desemboca por su parte superior, en una cámara 9 designada como un dispositivo desprendedor, el cual, por ejemplo es concéntrico con ella y en el que la separación de los productos de fragmentación y el desprendimiento de las partículas catalíticas desactivadas son conducidas al exterior. Los productos de fragmentación son separados de las partículas catalíticas gastadas en un ciclón 10, que está alojado en una cámara 9, en cuya parte superior se dispone una línea 11 para descargar los productos de fragmentación, mientras que las partículas catalíticas desactivadas se desplazan por la fuerza de la gravedad hacia la base de la cámara 9. Una línea 12 alimenta los inyectores o difusores 13 de gas fluidizantes, dispuestos de manera uniforme en la base de la cámara 9 con un fluido de desprendimiento, generalmente vapor. Uno o más ciclones adicionales pueden estar dispuestos dentro de la cámara 9.

20 Las partículas catalíticas desactivadas así desprendidas y descargadas en la base de la cámara 9 hasta un regenerador 14, a través de un conducto 15, a lo largo del cual se dispone una válvula 16 de control. En el regenerador 14, el coque depositado sobre las partículas catalíticas es quemado utilizando aire del regenerador por medio de una línea 17 que alimenta unos inyectores o difusores 18 uniformemente separados. Las partículas catalíticas tratadas, arrastradas por el gas de combustión, son separadas por los ciclones 19, desde los cuales el gas de combustión es descargado a través de una línea 20 mientras las partículas catalíticas son descargadas en la base del regenerador 14, desde donde son recicladas hasta la alimentación del elevador 1 a través del conducto 32, equipado con una válvula 33 de control.

Los efluentes de reacción son transportados a través de la línea 11 hasta una columna 25 de fraccionamiento, lo que hace posible separarlos por destilación, para obtener dos puntos:

- 30
- a través de la línea 26, los productos gaseosos (C1 a C4 hidrocarburos);
 - a través de la línea 27, un corte de petróleo;
 - a través de la línea 28, un corte diesel o LCO;
 - y finalmente, a través de la línea 29, un residuo de destilación o un corte de barros líquidos, que contiene cantidades considerables de partículas finas.

35 Los ciclones de acuerdo con la invención pueden estar situados o bien dentro de regenerador 14 o bien dentro del dispositivo desprendedor 9.

Estos ciclones 19 y 10 presentan una estructura general similar, de forma que solo se describen la estructura de un ciclón 10.

La Figura 2 representa esquemáticamente un ciclón 10, que comprende:

- 40
- una cámara 101 de separación,
 - un conducto 102 de entrada que desemboca en la cámara 101,
 - un conducto 103 de salida de gas situado en la porción superior de la cámara 101,
 - un conducto 104 de salida de partículas situado en la porción inferior de la cámara 101.

45 La cámara 101 de separación, generalmente designada como cuerpo del ciclón, a menudo es cilíndrica, como se representa, o algunas veces cilindro cónica. En el ejemplo representado, la cámara 101 de separación comprende una porción 101a superior cilíndrica y una porción 101b inferior cónica.

El extremo inferior de menor diámetro de esta porción 101b inferior cónica está conectado al conducto 104 de salida de las partículas, el cual consiste en un tubo que se extiende dentro del eje geométrico de simetría X de la cámara 101 de separación. Este tubo a menudo es designado como "ramal de inmersión" o si no "ramal".

Recibiendo el conducto 102 de entrada la mezcla de gas / partículas, algunas veces también designada como embocadura de ojo o campana de aspiración, está formado por un tubo situado para transmitir un movimiento circular a la mezcla entrante. Así, el conducto 102 de entrada puede o bien ser tangencial con respecto a la cámara 101 de separación, como se representa esquemáticamente en la Figura 3a, o bien ser sustancialmente tangencial y formar una voluta, como se representa en la Figura 3b.

Bajo el efecto de este movimiento, las partículas presentes en el gas que entra en el ciclón caen dentro de la porción 101b inferior cónica de la cámara 101 de separación antes de ser descargadas a través del conducto 104 de salida de partículas. El propio gas sale por el extremo superior del ciclón a través de conducto 103 de salida de gas, también designado como apilamiento. Un captador 105 de polvo puede estar situado entre la porción 101b inferior cónica de la cámara 101 de separación y el conducto 104 de salida de partículas.

El ejemplo descrito se refiere a un ciclón que está situado verticalmente. La invención, sin embargo no está limitada a dicha disposición, ni a esta estructura de ciclón.

De acuerdo con la invención, el ciclón 10 está compuesto a partir de una o más piezas de material cerámico.

Por ejemplo, la cámara 101 de separación y el conducto 104 de salida de partículas pueden ser piezas separadas, siendo posible que el conducto 102 de entrada y el conducto 103 de salida de gas estén fabricados en una única pieza con la cámara 101 de separación. Por ejemplo, es posible utilizar la técnica de moldeo a la cera perdida sustituyendo la cera por sal (por ejemplo NaCl), la cual puede disolverse después de una etapa de sinterización y después del enfriamiento de la pieza así fabricada.

Los elementos 101 y 104 pueden, por tanto, quedar interbloqueados, como se representa esquemáticamente en la Figura 4a mediante el interbloqueo de las porciones terminales cónicas de forma complementaria, o mediante el atornillamiento de sus extremos (Figura 4b), o si no soldadas o cobresoldadas (no representadas). De modo similar, la porción 101a superior cilíndrica y la porción 101b inferior cónica de la cámara 101 de separación pueden ser porciones separadas que sean ensambladas, siendo posible que este ensamblaje se lleve a cabo según lo anteriormente descrito mediante el ensamblaje de secciones cilíndricas o cónicas o si no mediante el ensamblaje de piezas que parecen ladrillos mediante el interbloqueo y / o la soldadura / cobresoldadura.

También es posible utilizar moldeo por inyección o extrusión para la conformación de porciones separadas. El moldeo por inyección o extrusión se llevan a cabo tradicionalmente utilizando polvos cerámicos o precursores de materiales cerámicos con un elemento ligante. De acuerdo con otro procedimiento de fabricación, las porciones compuestas de material cerámico son formadas por compresión y calentamiento de un polvo cerámico, siendo posible que la compresión se mantenga durante la etapa de calentamiento, siendo la etapa de calentamiento una etapa de sinterización del polvo cerámico. Esta técnica está particularmente indicada para la fabricación de elementos sólidos compuestos por carburo de silicio de acuerdo con la invención. El polvo cerámico de acuerdo con la invención de manera opcional, comprende fibras cerámicas para incrementar la resistencia mecánica de las piezas obtenidas. Las fibras cerámicas, cuando existen, generalmente representan entre un 0,01% y un 10% en peso de la pieza obtenida.

El conducto 102 de entrada del ciclón 10 presente en el dispositivo desprendedor 9 puede estar conectado directamente al extremo 1a superior del reactor 1 tubular, como se representa esquemáticamente en la Figura 5. Cuando este reactor 1 tubular es de metal, su extremo 1a superior, descentrado en el ejemplo representado, presenta una cara 1b de sujeción firmemente unida a la cual se encuentran al menos dos lengüetas 1c metálicas conformadas para apoyarse elásticamente contra un borde 10c del ciclón 10 con el fin de mantener este borde 10c apoyándose contra la cara 1b de sujeción del reactor. Este borde 10c puede estar situado en un extremo del conducto 102 de entrada del ciclón.

Como una variante no representada, el reactor puede también estar compuesto por un material cerámico y la sujeción con el ciclón puede entonces llevarse a cabo según lo anteriormente descrito para ensamblar los elementos del ciclón.

La invención ha sido descrita con referencia a una unidad FCC que opera con un reactor elevador ("elevador"), los ciclones de acuerdo con la invención pueden, sin embargo, también ser utilizados en unidades FCC que operen con un reactor descendente ("bajador").

Finalmente, los ciclones de acuerdo con la invención pueden ser utilizados en cualquier tipo de instalación que requiera a separación de partículas en un entorno en el que las temperaturas sean altas, por ejemplo (i) en plantas de energía térmica utilizando un combustible que produzca partículas sólidas, siendo posible que el combustible sea carbón, lignito o desechos sólidos municipales, (ii) en obras de cemento (iii) en plantas metalúrgicas por ejemplo que lleven a cabo el refinado o extracción de metales.

REIVINDICACIONES

- 1.- Ciclón (10) para la separación mecánica de partículas en suspensión en un gas, en particular destinado a una unidad de fragmentación catalítico fluido, comprendiendo dicho ciclón los elementos siguientes:
- una cámara (101) de separación,
 - 5 - un conducto (102) de entrada que desemboca en la cámara (101),
 - un conducto (103) de salida de gas situado en la porción superior de la cámara (101) y
 - un conducto (104) de salida de partículas situado en la porción inferior de la cámara (101), **caracterizado porque** cada elemento del ciclón está constituido por un material cerámico y el material cerámico comprende una matriz cerámica seleccionada entre carburo de silicio, SiC, carburo de boro, B₄C, nitruro de silicio Si₃N₄, nitruro de aluminio, AlN, nitruro de boro, BN, alúmina, Al₂O₃, o mezclas de estos, incorporándose unas fibras de carbono o unas fibras cerámicas o una mezcla de estas fibras en esta matriz cerámica.
 - 10
- 2.- Ciclón (10) de acuerdo con la Reivindicación 1, **caracterizado porque** las fibras cerámicas se seleccionan entre fibras de alúmina cristalina, fibras de mullita, fibras de carburo de silicio cristalino o amorfo, fibras de zirconia, fibras de sílice - alúmina o mezclas de estas.
- 15
- 3.- Ciclón (10) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** el material cerámico es un material cerámico sinterizado.
- 4.- Ciclón (10) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** el material cerámico es un Composite de Matriz Cerámico, denominado CMC.
- 20
- 5.- Ciclón (10) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** los elementos del ciclón forman una y la misma pieza constituida por material cerámico.
- 6.- Ciclón (10) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** los elementos del ciclón son elementos separados constituidos por material cerámico que son ensamblados entre sí, estando constituido cada elemento separado por una pieza o estando constituido por varias porciones ensambladas entre sí.
- 25
- 7.- Ciclón (10) de acuerdo con la Reivindicación 6, **caracterizado porque** los elementos y / o las porciones son ensambladas mediante soldadura o cobresoldadura o **porque** los elementos destinados a ser ensamblados y / o las porciones que deben ser ensambladas presentan unos extremos conformados con el fin de ser ensamblados mediante interbloqueo o atornillamiento.
- 8.- Ciclón (10) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** al menos la cámara constituida por material cerámico presenta una cubierta exterior de refuerzo en forma de malla, por ejemplo fabricada en acero.
- 30
- 9.- Cámara (1, 9, 14) de una unidad de fraccionamiento catalítico fluido que comprende, o está conectada a, al menos, un ciclón (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
- 10.- Cámara (1) de acuerdo con la Reivindicación 9, que forma un reactor tubular de metal, **caracterizada porque** un extremo (1a) del reactor tubular está conectado al conducto (102) de entrada de un ciclón por un medio de fijación apropiado para absorber una diferencia en expansión entre el metal y el reactor y el material cerámico del ciclón.
- 35
- 11- Cámara (1) de acuerdo con la Reivindicación 10 que forma un reactor tubular de metal, **caracterizada porque** dicha cámara está realizada de material cerámico, uno de cuyos extremos está conectado al conducto de entrada de un ciclón mediante soldadura, cobresoldadura, atornillamiento o interbloqueo.
- 40
- 12.- Unidad de fraccionamiento catalítico que comprende al menos un ciclón de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 8 y / o al menos una cámara de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 9 a 11.
- 13.- Procedimiento de fabricación de un ciclón de acuerdo con la reivindicación 1, estando realizado el ciclón por un Composite de Matriz Cerámica denominado CMC, que comprende:
- 45 1) conformar un material cerámico fibroso en último término sobre un material de soporte que podría ser retirado sin esfuerzo excesivo, con el fin de obtener una forma fibrosa que pueda ser asimilada al esqueleto de dispositivo final que debe ser obtenido en último término en presencia de una primera resina,
 - 50 2) revestir la forma obtenida en la etapa (1) con un polvo cerámico finamente dividido y al menos una segunda resina, en último término en presencia de polvo de carbono finamente dividido para obtener una forma revestida,

ES 2 700 350 T3

3) en último término repetir las etapas (1) y (2),

4) calentar la forma revestida de la etapa (2) o (3) al vacío y / o en una atmósfera inerte con el fin de transformar la resina de la etapa (1), (2) y en último término (3) en una estructura rica en carbono, esencialmente provista de otros elementos para obtener una forma revestida rica en carbono,

5) introducir un gas dentro de la forma revestida rica en carbono de la etapa (4) en condiciones suficientemente eficaces para transformar la estructura rica en carbono en una estructura rica en carbono que contenga carburo,

6) en último término retirar el material de soporte de la etapa (1) cuando exista,

10 en el que las fibras de carbón están presentes al menos en la etapa (1), (2) y / o (3) dentro del material cerámico fibroso, dentro del polvo cerámico finamente dividido dentro del polvo de carbono finamente dividido y / o dentro de la primera y / o segunda resinas.



