

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 849**

51 Int. Cl.:

C04B 35/645 (2006.01)

C04B 35/626 (2006.01)

C04B 35/44 (2006.01)

C04B 35/115 (2006.01)

C04B 35/581 (2006.01)

C04B 35/443 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2008 E 08020821 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 2067754**

54 Título: **Procedimiento para la producción de un material cerámico transparente policristalino mediante un prensado cíclico**

30 Prioridad:

07.12.2007 DE 102007059091

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

29.09.2016

73 Titular/es:

**CERAMTEC-ETEC GMBH (100.0%)
An der Burg Sülz 17
53797 Lohmar, DE**

72 Inventor/es:

SCHNETTER, LARS

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 584 849 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

Procedimiento para la producción de un material cerámico transparente policristalino mediante un prensado cíclico

El invento se refiere a un procedimiento para la producción de un material cerámico transparente policristalino que tiene para la luz de una longitud de onda comprendida entre 600 y 650 nm una transmisión en línea real (RIT acrónimo de Real In line Transmission) de > 40 % del valor máximo teórico.

Con el fin de proteger a vehículos, en particular a vehículos militares - pero también a vehículos civiles - contra un disparo, ellos son blindados. El blindaje se efectúa usualmente mediante un sistema metálico o mediante un sistema metálico y cerámico. Un blindaje de este tipo no es apropiado sin embargo para las zonas que contienen ventanas, es decir para las lunas laterales, la luna delantera, etcétera. Estas zonas de un vehículo, que se han mencionado en último término, son protegidas usualmente mediante un vidrio blindado. Un vidrio blindado posee sin embargo una eficiencia balística relativamente pequeña, en particular frente a una munición de núcleo duro, de manera tal que las zonas de las ventanas constituyen los sitios débiles de un correspondiente vehículo. Además de ello, un vidrio blindado posee un peso grande, con el fin de garantizar una protección suficiente.

Un material cerámico posee un comportamiento protector esencialmente mejor.

Por este motivo, ya se buscaron unas alternativas al vidrio blindado. Estas alternativas se encontraron esencialmente en espinelas ($MgAl_2O_4$) y en AlON. Como consecuencia de las muy altas temperaturas necesarias del proceso, estos materiales son, sin embargo, cristalinos y gruesos con unos tamaños de granos de manifestamente $>1 \mu m$, incluso de manifestamente $>10 \mu m$ y más. A partir de estos grandes tamaños de granos resultan sin embargo unos valores característicos mecánicos relativamente pequeños, es decir una dureza y una resistencia mecánica relativamente pequeñas en comparación con las de materiales cristalinos de tamaño inferior a un micrómetro.

Más recientemente, es conocido que en el caso de materiales cerámicos con unos tamaños de granos $< 1 \mu m$ en los materiales doblemente refractores aumenta la transparencia, de manera tal que se necesitan imperativamente unos tamaños de granos pequeñísimos. Con un tamaño de granos decreciente aumentan además de ello manifestamente la resistencia mecánica y la dureza en tales materiales cerámicos con un tamaño de granos $< 1 \mu m$.

A partir del reconocimiento de la conexión entre los valores característicos mecánicos, tales como la dureza y la resistencia mecánica, y el tamaño de granos, así como, en el caso de todos los materiales doblemente refractores, la conexión entre la transparencia y el tamaño de granos, se establece el deseo de producir un material cristalino transparente de tamaño inferior a un micrómetro. Un tal material cristalino transparente de tamaño inferior a un micrómetro se describe p.ej. en el documento de solicitud de patente europea EP1 557 402 A2. En tal caso, la producción del material cristalino transparente de tamaño inferior a un micrómetro se efectúa exclusivamente a través de procedimientos de conformación en húmedo, tales como p.ej. los procedimientos de Gel-Casting (moldeo por colada de gel), Slip-Casting (moldeo por colada deslizante), Pressure-Casting (moldeo por colada a presión), o una deposición electroforética.

Todos estos conocidos procedimientos de conformación tienen sin embargo el defecto de que ellos necesitan una costosa desecación y/o desaglomeración. Otro defecto consiste en la calidad superficial solamente condicionada, de modo tal que siempre se necesita un costoso tratamiento superficial.

Por este motivo, se establece el deseo de una posibilidad de producción rentable, que comparativamente no sea complicada, de materiales cerámicos transparentes cristalinos de tamaño inferior a un micrómetro. En lo que respecta a la deseada rentabilidad se aconsejan sobre todo unos procedimientos de prensado; sin embargo, con tales procedimientos de prensado no se pudieron producir hasta ahora materiales cerámicos de ningún tipo con unos valores característicos ópticos y mecánicos aceptables.

El documento de solicitud de patente internacional WO 03/057065 divulga ciertamente un material cerámico translúcido de óxido de aluminio con un tamaño medio de granos de $\leq 1 \mu m$, o respectivamente con unos tamaños de granos situados en torno a 0,8-0,9 μm . Este conocido material cerámico translúcido no se adapta a las reivindicaciones en cuanto a la transparencia - con unos tamaños de granos situados en torno a 0,5 μm -. Esto se debe sobre todo al hecho de que la densidad relativamente alta se debe de adquirir mediante un crecimiento relativamente fuerte de los granos. La causa de ello reside sobre todo en la capacidad de sinterización relativamente pequeña del cuerpo en bruto, que se determina esencialmente por la distribución de los poros y por el volumen de estos poros. Ambos parámetros son peores en el caso de la habitual conformación por prensado que en el caso de los procedimientos de conformación en húmedo - esto es válido particularmente para la distribución de los poros -

El documento de patente china CN 1 887 786 divulga un procedimiento para la producción de un material de Al_2O_3 cristalino que para la luz de una longitud de onda de 600 nm tiene una RIT de 60 % del valor máximo teórico. El procedimiento contiene las siguientes etapas: Preparación previa de un granulado cerámico mediante granulación por atomización, prensado en seco a 50 MPa, prensado isostático en frío a 200 MPa, sinterización previa entre 200 y 1.300°C, prensado isostático en caliente (HIP o PÍC) en una atmósfera de argón a 200 MPa y 1.200°C. Se utiliza un

PVA como agente aglutinante y se elimina por combustión al sinterizar previamente. El producto producido posee un tamaño de granos de 0,5 μm , una densidad de 99,96 % de la TD, una RIT (a 600 nm) de 62 %.

5 “Development of Cyclic-CIP and its Application to Powder Forming” [Desarrollo de un CIP cíclico y su aplicación a la conformación de polvos] (Matsua y colaboradores, CHEMICAL ABSTRACTS, N° 6, Febrero de 1988, página 317) describe un prensado cíclico de polvos de Al_2O_3 , con el fin de aumentar la densidad en bruto y utilizar más bajas presiones de prensado, pero divulga solamente un prensado isostático cíclico.

Por consiguiente, no existe hasta ahora ninguna posibilidad de producir de una manera rentable un material cerámico transparente cristalino de tamaño inferior a un micrómetro.

10 El invento se basa por lo tanto en la misión de proporcionar un procedimiento del tipo mencionado al comienzo con el que se pueda producir de una manera rentable un material cerámico transparente cristalino de tamaño inferior a un micrómetro.

El problema planteado por esta misión se resuelve de acuerdo con el invento mediante las características de la reivindicación 1. Unas formas de realización y unos perfeccionamientos preferentes del procedimiento conforme al invento se caracterizan en las reivindicaciones subordinadas.

15 El invento se basa por lo tanto en una tecnología para la producción de un material cerámico transparente policristalino mediante una conformación por prensado. La transparencia está vinculada con unos valores de RIT > 40 % (en el ejemplo de Al_2O_3). Esto, en el caso del Al_2O_3 , es posible solamente con unos grados de porosidad < 0,05 % así como con unos tamaños de granos ≤ 800 nm, preferiblemente < 600 nm.

20 Los pequeños tamaños de granos no son imperativamente necesarios para sistemas cúbicos en lo que se refiere a la transparencia, pero sí que son necesarios para las deseadas propiedades mecánicas - sobre todo la dureza y la resistencia mecánica -. El material cerámico producido conforme al invento es apropiado especialmente para la realización de una protección balística transparente de vehículos, en particular para la producción de ventanas de vehículos o para la producción de cúpulas de radar de infrarrojos, sin estar limitado a ello.

25 Puesto que el procedimiento conforme al invento aprovecha una tecnología de prensado, él es realizable de una manera especialmente rentable.

30 El procedimiento conforme al invento para la producción de materiales cerámicos transparentes cristalinos de tamaño inferior a un micrómetro es ventajoso por cuanto que a través de la rentable tecnología de prensado se consiguen en lo referente a la transparencia y a los valores característicos mecánicos, unas propiedades, tales como la dureza y la resistencia mecánica, que hasta ahora son posibles solamente mediante una conformación en húmedo, como la que se ha descrito en el documento EP 1 557 402 A2. La tecnología de prensado, que pasa a usarse conforme al invento, es ventajosa además de ello desde el punto de vista de que también se pueden producir piezas constructivas relativamente grandes con unas dimensiones superficiales de > 200 mm x 200 mm.

35 Conforme al invento el granulado de material cerámico se compacta mediante un prensado cíclico. En el caso de este prensado cíclico se puede tratar de un prensado uniaxial o de una combinación de un prensado uniaxial y de un prensado isostático.

40 La particularidad reside conforme al invento en la adaptación del prensado cíclico a unos materiales cerámicos de tamaño inferior a un micrómetro, que - como se ha mostrado de un modo sorprendente - parecen ser interesantes especialmente para este procedimiento. En el caso de estos materiales cerámicos de tamaño inferior a un micrómetro son posibles, mediante el prensado cíclico, unas elevadísimas compactaciones - sin usar unas presiones de prensado de ≥ 500 MPa - Es decir, que solamente mediante el efecto observado conforme al invento son posibles las deseadas propiedades en lo que se refiere a la transparencia y a las deseadas propiedades mecánicas.

45 Las densidades en bruto conseguidas mediante el prensado cíclico conforme al invento corresponden, en el caso de un número adaptado de ciclos de prensado, a unas presiones de prensado de manifiestamente > 1.000 MPa. Conforme al invento se pueden conseguir por lo tanto unas densidades en bruto manifiestamente más altas que las que serían posibles en conocidas circunstancias normales. Además de ello es posible reducir de una manera ventajosa la distribución de los poros y por consiguiente elevar la homogeneidad del material cerámico producido; particularmente desaparecen los poros de mayor tamaño.

50 El material cerámico prensado es a continuación, o bien previamente sinterizado e “hipado” (= prensado isostáticamente en caliente) con sinterización, o sinterizado hasta la aparición de una porosidad cerrada y a continuación “hipado” posteriormente.

55 En el procedimiento HIP (acrónimo del inglés Hot Isostatic Pressing = prensado isostático en caliente) reside otra particularidad del presente invento. El material es “hipado”, p.ej en una “hipa” (= prensa isostática en caliente) de Kanthal, preferiblemente bajo aire - o en una atmósfera de argón o en vacío -. Mediante la renuncia a elementos calentadores con carbono se impide que puedan aparecer impurezas carbonadas o respectivamente fenómenos de reducción, de las/los que se ha informado con frecuencia. Esto, sin embargo, es posible solamente cuando la

temperatura de HIP está situada por debajo de 1.240°C, mejor por debajo de 1.200°C. Las pequeñas temperaturas de HIP condicionan de manera ventajosa, a su vez, una pequeña temperatura de sinterización previa, de manera que queda presente suficiente actividad de sinterización para el "hipado". La disminución de la temperatura global es posible solamente mediante unos correspondientes cuerpos en bruto - tal como se ha mencionado -.

- 5 El invento abarca sin embargo también otras variantes del HIP, tales como el "hipado" con molibdeno o carbono; en lo que respecta a unos elevados grados de transparencia es preferida sin embargo especialmente la utilización de la mencionada "hipa" de Kanthal.

Para la preparación final, las piezas constructivas producidas conforme al invento pueden ser pulimentadas, de manera tal que resultan unos valores de RIT > 40 %.

- 10 Las geometrías de las piezas constructivas están restringidas solamente por las posibilidades de la usual mecanización en bruto, tales como p.ej. el fresado, corte, torneado CNC (control numérico computadorizado), etc. de las piezas constructivas.

- 15 La magnitud responsable de la transparencia de las piezas constructivas producidas conforme al invento es la transmisión en línea RIT "verdadera" (real) que se ha de medir solamente con un muy estrecho ángulo de abertura de aproximadamente 0,5 DEG (grados) a partir de la intensidad determinada con el fin de excluir a la luz dispersada.

Con ayuda del procedimiento conforme al invento se produce un material cerámico policristalino transparente que no posee casi ninguna fase vítrea (< 0,1 %) y una densidad de 99,5 % o respectivamente mejorado más aún $\geq 99,9$ % de la densidad teórica (TD acrónimo de Theoretische Dichte).

- 20 Como materiales para la consecución de esta meta pueden servir todos los materiales que poseen unas durezas de ≥ 12 GPa y que son transparentes con unos tamaños de granos < 1 μm y una porosidad $\leq 0,1$ %. Se prefieren en este caso óxido de aluminio, espinelas (MgAl_2O_4 etc), AION o perowskitas (p.ej. YAlO_3) o granates (p.ej.: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$).

Una premisa para esto son unas sustancias de partida con una pureza de ≥ 99 % y un tamaño de granos de partida de ≤ 500 nm, preferiblemente de ≤ 300 nm.

- 25 El material cerámico debe de contener preferiblemente casi ninguna porosidad, es decir que la porosidad debe de ser $\leq 0,1$ %. Además de ello, el tamaño de granos debe de ser < 0,8 μm , preferiblemente < 0,6 μm . Menos que un 5 % de los granos deben de ser > 1 μm

Esta combinación de una densidad elevadísima y de un tamaño de granos pequeñísimo garantiza unos valores de RIT de ≤ 40 %.

- 30 A partir de la combinación de los valores indicados se establece que el material cerámico producido conforme al invento es transparente más allá de la translucidez. Esta es la diferencia muy esencial con los conocidos materiales cerámicos translúcidos, que se habían producido por medio de una conformación por prensado - tal como lo divulga el documento EP 1 458 304 A1 -.

- 35 La RIT se determina por una integral mediante un espectrofotómetro con luz roja de longitud de onda 640 nm. Esta RIT se determina en este caso de tal manera que solamente se abarca la porción de la luz que pasa dentro de un ángulo de $\leq 0,6$ DEG en torno al eje rectilíneo.

- 40 Las propiedades especiales del material cerámico producido conforme al invento se basan esencialmente en el procedimiento de producción conforme al invento, adaptado al material cerámico de tamaño inferior a un micrómetro. La base del procedimiento de producción conforme al invento la constituye un prensado en seco axial así como un prensado isostático o una combinación de ambas de estas tecnologías de prensado. El material cerámico producido de esta manera no debe sin embargo ser conformado ulteriormente.

- 45 La producción del material cerámico conforme al invento se desarrolla a través de la producción de un granulado, que se puede producir de muy diversas maneras. P.ej. puede efectuarse una granulación por atomización, una granulación en capa turbulenta o un revestimiento con partículas. El polvo de partida utilizado para ello debe de tener unos tamaños de granos primarios < 500 nm, de manera especialmente preferida ≤ 300 nm. Solamente de este modo se pueden realizar unos tamaños de granos < 600 nm.

- 50 Con el fin de transformar al material en una forma apta para prensar, éste se puede reunir con agentes coadyuvantes del prensado y/o agentes aglutinantes y/o agentes de deslizamiento. Este material es prensado luego a la forma deseada. La pieza constructiva así conformada posee p.ej. una altura ≤ 10 mm y se puede producir en unas dimensiones de la superficie con una longitud de aristas de 30 a 1.000 mm. La producción de la forma deseada se efectúa a través de la tecnología de prensado para dar una densidad en bruto de ≥ 40 % de la TD.

La última conformación por prensado se lleva a cabo en este caso de tal manera que la máxima presión de prensado, o una presión de prensado situada debajo de ésta, se alcance múltiples veces, de manera tal que se hagan posibles unas densidades en bruto más altas que las que normalmente se pueden conseguir en el caso de un

prensado convencional. Conforme al invento son posibles unas densidades en bruto, que son mayores en como mínimo un 2 %, preferiblemente un 5 %, o más preferiblemente un 8 % que unas densidades en bruto que son posibles en el caso de un prensado convencional en el que la presión máxima se alcanza una sola vez. Como última etapa del proceso puede servir un prensado uniaxial o un prensado isostático.

- 5 El material es luego sinterizado previamente a la temperatura de sinterización más baja que sea posible o solamente es bizcochado (- p.ej. hasta 700°C sin o con un período de tiempo de retención de 1 a 3 horas). A continuación puede efectuarse un proceso de “sinterhip” (= “hipado” con sinterización), que se lleva a cabo en diferentes atmósferas de sinterización, tales como las de argón o aire, o en vacío. Alternativamente, la pieza constructiva puede también ser sinterizada previamente de una manera convencional y a continuación “hipada”. La temperatura de sinterización y la temperatura de HIP se ajustan al material en bruto que pasa a usarse y al número de los ciclos de prensado utilizados.

A continuación se efectúa un proceso de HIP o también un proceso de “hipado” posterior.

- 15 Con el fin de conseguir la deseada transparencia, en el caso de la sinterización previa es necesario un “hipado” posterior; en el caso del “hipado” con sinterización, toda la sinterización se efectúa en el horno para HIP. En el caso del “hipado” con sinterización, la temperatura de sinterización densa, en comparación con la temperatura de sinterización densa para la sinterización previa, puede ser disminuida aún más mediante una adecuada elección de la atmósfera.

- 20 El “hipado” se realiza generalmente a unas temperaturas hasta de 100°C por debajo de la temperatura de sinterización, con el fin de poder “hipar” en una atmósfera no reductora, exenta de carbono. Son posibles también unas temperaturas de HIP hasta de 100°C por encima de la temperatura de sinterización, ellas, sin embargo, son menos preferidas.

La presión utilizada es de 100 a 200 MPa, preferiblemente ≥ 210 MPa pero ≤ 350 MPa. Como gas a presión pueden servir argón, aire u otros gases. El aire permite una sinterización acelerada e impide fenómenos de reducción y por consiguiente una disminución adicional de la temperatura de HIP. El aire es por lo tanto especialmente preferido.

- 25 La densidad después del proceso de HIP es $\geq 99,8$ % de la TD.

Conforme al invento pasan a usarse p.ej. los siguientes métodos de ensayo:

Dureza: La dureza se determinó de una manera análoga a la de la norma DIN V ENV 843-4. Como carga sirvieron 10 kg. El período de tiempo de penetración es de 5 segundos. Los valores representados de la dureza son el valor medio de diez mediciones.

- 30 Densidad: La densidad se determinó de una manera análoga a la de la norma DIN EN 623-2 según el método de Arquímedes. Como densidad teórica para Al_2O_3 se supusieron $3,987 \text{ g/cm}^3$. Para otros materiales son válidas otras densidades teóricas (para una espinela p.ej. de $3,578 \text{ g/cm}^3$).

- 35 RIT: La magnitud responsable de la translucidez, es decir la transparencia de materiales, es la transmisión en línea “verdadera” (real) que se ha de medir solamente con un muy estrecho ángulo de abertura de aproximadamente 0,5 DEG (grados) a partir de la intensidad determinada con el fin de excluir a la luz dispersada.

Caracterización de los materiales en bruto: La caracterización de los materiales en bruto se efectúa p.ej. por parte de los suministradores.

- 40 Tamaño de granos: El tamaño de granos se ha determinado convirtiendo por cálculo las áreas de las superficies de los cristales individuales, que se habían hecho visibles después de una corrosión térmica bajo el SEM (microscopio electrónico de barrido), en diámetros de círculos equivalentes. Los tamaños de granos determinados de esta manera se convirtieron por cálculo mediante un factor de corrección en “tamaños de granos verdaderos” que corresponden a los valores indicados en la bibliografía. El factor de corrección corresponde al factor de 1,56 del método de la “average intercept length” (longitud media de la ordenada en el origen)..

Seguidamente se explicará adicionalmente el invento con ayuda de los Ejemplos de realización.

- 45 Ejemplo 1:

- 50 Un granulado de óxido de aluminio (TM-DS-90M) se adquirió de la entidad Taimeh y se prensó cíclicamente 32 veces a 260 MPa. A partir de esto resultó una densidad en bruto de 59,5 % de la TD (TD a 260 MPa convencional = 56 %) y por consiguiente una más estrecha banda de granos con un tamaño de poros máximo más pequeño. A partir de ésta resultó una temperatura de sinterización manifiestamente disminuida. A una temperatura de 1.190°C y con un período de tiempo de retención de 2 horas se estableció una densidad de sinterización de 96 %. Esta muestra fue “hipada” posteriormente a 1.170°C y con un período de tiempo de retención de 2 horas en una “hipa” de Kanthal en una atmósfera de aire a 300 MPa. El enfriamiento se efectuó de una manera no regulada.

Después de esto se ajustó una densidad de $> 3,98 \text{ g/cm}^3$, que corresponde a $> 99,9$ % de la densidad teórica.

El tamaño de granos estaba situado en aproximadamente 500 nm.

A partir de la combinación de una densidad elevadísima y de un pequeñísimo crecimiento de los granos se estableció un valor de RIT de 41 %.

Ejemplo 2:

- 5 El material prensado del Ejemplo 1 fue bizcochado durante 2 horas a 650°C y a continuación “hipado” con sinterización en la “hipa” de Kanthal del Ejemplo 1. En el caso del proceso de HIP se calentó hasta 1.240°C con 20 K/min, a continuación se efectuó un breve período de tiempo de retención de 10 minutos. Esta última etapa se efectuó en vacío. Después de haber transcurrido el período de tiempo de retención, se calentó a 1.180°C y se introdujo una presión de aire de 300 MPa. A 1.180°C se efectuó un período de tiempo de retención isotérmica de 2 horas.

El enfriamiento se efectuó de una manera no regulada.

Después de esto se ajustó una densidad de aproximadamente 3,99 g/cm³, que en el marco de la exactitud de medición corresponde a la densidad teórica. El enfriamiento se efectuó de una manera no regulada.

- 15 El tamaño de granos estaba situado en aproximadamente 450 nm. A partir de la combinación de una densidad elevadísima y de un pequeñísimo crecimiento de los granos se estableció un valor de RIT de 50 %.

Ejemplo 3:

El proceso correspondió al del Ejemplo 1 con la diferencia de que se prensó isostáticamente, el número de ciclos permaneció igual. La densidad en bruto que se ajustó se situaba, con 59 %, algo por debajo de la del prensado cíclico uniaxial. La sinterización y el “hipado” transcurrieron de una manera análoga a la del Ejemplo 1.

- 20 Después de esto se ajustó una densidad de aproximadamente > 3,98 g/cm³, que corresponde a > 99,9 % de la densidad teórica.

El tamaño de granos estaba situado en aproximadamente 500 nm. A partir de la combinación de una densidad elevadísima y de un pequeñísimo crecimiento de los granos se estableció un valor de RIT de 45 %.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la producción de un material cerámico transparente policristalino que tiene para la luz de una longitud de onda comprendida entre 600 y 650 nm una transmisión en línea real (RIT) de > 40 % del valor máximo teórico, **caracterizado por que** a partir de un polvo de partida, que tiene un tamaño de granos primarios de < 500 nm, de manera preferida ≤ 300 nm, se produce, mediante granulación por atomización, mediante granulación en capa turbulenta o mediante revestimiento con partículas, un granulado de material cerámico con un tamaño de granos primarios de ≤ 500 nm, por que el granulado de material cerámico se reúne agentes coadyuvantes del prensado y/o agentes aglutinantes y/o agentes de deslizamiento, y se compacta mediante un prensado cíclico hasta una densidad en bruto de ≥ 40 % de la densidad teórica (TD), comprendiendo el prensado cíclico un prensado uniaxial o una combinación de un prensado uniaxial y de un prensado isostático, y por que a continuación se efectúan, o bien una sinterización previa o un prensado isostático en caliente con sinterización o una sinterización convencional hasta la aparición de una porosidad cerrada, y un posterior prensado isostático en caliente del cuerpo en bruto prensado cíclicamente, de manera tal que el material cerámico transparente producido posea una densidad de $\geq 99,8$ % de la TD.
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la última etapa del procedimiento de prensado, la del prensado cíclico, se efectúa a la presión máxima de prensado, o se lleva a cabo múltiples veces a una presión de prensado que está por debajo de la presión máxima de prensado.
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** la última etapa del procedimiento de prensado se efectúa por prensado isostático o por prensado uniaxial.
4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la sinterización previa se efectúa a la temperatura de sinterización más baja que sea posible o por bizcochado.
5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado por que** el bizcochado se efectúa a una temperatura en torno a 700°C sin o con un periodo de tiempo de retención de 1 a 3 horas.
6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el prensado isostático en caliente con sinterización se efectúa en una atmósfera de sinterización tal como de argón o aire o en vacío.
7. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el prensado isostático en caliente se lleva a cabo a una presión de ≥ 100 a 200 MPa, preferiblemente entre ≥ 200 MPa y ≤ 350 MPa.
8. Un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 7, **caracterizado por que** el material cerámico transparente es pulimentado superficialmente.
9. Un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 8, **caracterizado por que** el posterior prensado isostático en caliente, o el prensado isostático en caliente con sinterización se efectúa en una prensa isostática en caliente revestida con carbono o preferiblemente en una prensa isostática en caliente revestida con molibdeno o según Kanthal.
10. Un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 9, **caracterizado por que** el posterior prensado isostático en caliente, o el prensado isostático en caliente con sinterización se efectúa en una atmósfera de argón o preferiblemente en una atmósfera de aire.