

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 022**

51 Int. Cl.:

C04B 28/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2016** **E 16201133 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.07.2018** **EP 3178798**

54 Título: **Hormigón celular y procedimiento para su producción**

30 Prioridad:

10.12.2015 DE 102015121553

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

29.11.2018

73 Titular/es:

**RODGAUER BAUSTOFFWERKE GMBH & CO. KG
(100.0%)**

**Am Opel-Prüffeld 3
63110 Rodgau-Dudenhofen, DE**

72 Inventor/es:

**VOLKMANN, STEPHAN y
KOLB, WALTER**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 692 022 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

Hormigón celular y procedimiento para su producción

5 La invención se refiere a hormigón celular así como a un procedimiento para su producción. En particular, la invención se refiere a hormigón celular curado hidrotermalmente con una estructura de alma de sustancia sólida que rodea poros resultantes de una espuma o generados por un proceso de expansión. La estructura de alma de sustancia sólida puede presentar en sí misma una microporosidad, es decir, las almas que rodean los poros relativamente grandes presentan poros comparativamente más pequeños.

10 En general, por hormigón celular se entiende un material de silicato cálcico hidratado poroso curado hidrotermalmente, que presenta en particular el mineral tobermorita generado en un proceso hidrotermal. Los rasgos fundamentales de la producción de hormigón celular se describen con más detalle en «Porenbeton Handbuch» (manual del hormigón celular) (6.^a edición de 2008) publicado por la Asociación Federal de la Industria del Hormigón Celular (*Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.*). De esto también se deduce que los elementos de hormigón celular, por ejemplo, bloques de precisión de hormigón, elementos de precisión de hormigón, placa prefabricada de precisión de hormigón o paneles de muro hechos de hormigón celular, dependiendo de su resistencia a la compresión, de su densidad aparente y de su conductividad térmica, se dividen en distintas clases. Así, bloques de precisión de hormigón celular de la clase de resistencia 2 presentan una resistencia litográfica con un valor medio de 2,5 N/mm². La densidad aparente en seco de tales bloques de precisión de hormigón de la clase de resistencia a la compresión 2 puede ascender entre 350 y 500 kg/m³. Estos bloques de precisión de hormigón pueden alcanzar una conductividad térmica de 0,08 a 0,14 W/mK.

25 Según el documento EP 2 163 534 B1, un tal bloque de hormigón celular de la clase de resistencia a la compresión 2 con una densidad aparente de 350 kg/m³ debería presentar una conductividad térmica máxima de 0,09 W/mK si la estructura de alma de sustancia sólida presenta por encima del 50 % en masa de tobermorita-11 Å y el contenido de granos de cuarzo residual se limita hasta el 10 % en masa. Para producir este material de hormigón celular, se propone usar como componente de SiO₂ un polvo de cuarzo con una superficie específica de al menos 6000 cm²/g, medida según Blaine, así como valores de agua-sustancia sólida entre 0,7 y 0,95. Sin embargo, dicho polvo de cuarzo fino es comparativamente caro de producir por la molienda costosa. Puesto que en el hormigón celular se utilizan entre el 30 y el 40 % en masa de polvo de cuarzo como lodo de arena, por el uso del polvo de cuarzo finamente molido aumentan significativamente los costes de producción del hormigón celular. Otro aspecto en el uso de polvo de cuarzo finamente molido es que este solo se puede mezclar parcialmente lo suficientemente bien con los otros componentes por la utilización de cantidades comparativamente altas de agua. No obstante, esto puede conllevar desventajas en el procesamiento de la mezcla acuosa.

40 En el documento DE 100 66 270 B9 se describe un procedimiento para producir hormigón celular que tiene la finalidad de configurar una estructura granular de soporte a partir de granos de una determinada fracción granulométrica, que están dispuestos apoyándose mutuamente hacia todas las direcciones en el hormigón celular terminado. Entre estos granos debería estar presente entonces una matriz de silicato cálcico hidratado, en particular tobermorita. Para ello, se propone utilizar un componente de SiO₂ fino con un tamaño de grano máximo de 0,06 mm en una tal proporción molar de CaO/SiO₂ que, durante el curado con vapor, realice una conversión lo más completa posible de este componente de SiO₂ fino y del componente de CaO para formar fases de silicato cálcico hidratado, utilizándose adicionalmente un componente de SiO₂ grueso con un tamaño de grano de hasta 0,4 mm, que debería configurar entonces la estructura granular de soporte. Una tal estructura granular de soporte repercute generalmente de manera positiva en la resistencia a la compresión del hormigón celular. No obstante, por la estructura granular de soporte se producen puentes térmicos que pueden aumentar significativamente la conductividad térmica. El documento DE 100 66 270 B9 no menciona parámetros concretos ni respecto a la resistencia a la compresión ni respecto a la conductividad térmica o a la densidad aparente.

50 En principio, el uso de arena comparativamente gruesa en combinación con polvo de cuarzo finamente molido en la guía de proceso se considera más difícil de controlar, porque la arena gruesa puede sedimentar dentro de la mezcla acuosa, lo cual, distribuido por su altura, puede dar como resultado propiedades muy distintas del hormigón celular.

55 Por el contrario, el objetivo de la presente invención es facilitar un hormigón celular así como un procedimiento para su producción que eviten las desventajas mencionadas anteriormente.

60 De acuerdo con la invención, este objetivo se resuelve con un hormigón celular con las características de la reivindicación 1 así como con un procedimiento para la producción de hormigón celular con las características de la reivindicación 7.

A este respecto, la invención se basa en la idea de que la sustitución parcial de polvo de cuarzo finamente molido por arena de cuarzo comparativamente gruesa permite minimizar los costes de producción del hormigón celular. Sin embargo, de acuerdo con la invención, el porcentaje de granos de cuarzo en la estructura de alma de sustancia sólida del hormigón celular se limita siempre que no pueda producirse una estructura granular de soporte que genere puentes térmicos, los cuales darían como resultado entonces un aumento significativo de la conductividad térmica.

De esta manera, es posible facilitar un hormigón celular en el que, con menores costes de producción, se logre una resistencia litográfica de 2,5 a 3,5 N/mm², una conductividad térmica de 0,075 a 0,1 W/mK así como una densidad aparente entre 300 y 400 kg/m³.

5 A este respecto, se ha comprobado sorprendentemente que incluso arena de cuarzo con granos de cuarzo comparativamente grandes, es decir, con un diámetro de grano medio d_{50} entre 0,4 y 0,6 mm, es apropiada para la producción de hormigón celular, sin repercutir negativamente en la procesabilidad durante la producción. A este respecto, el diámetro de grano medio d_{50} se entiende como un valor característico para el tamaño de la arena de cuarzo, en el que el 50 % de los granos de cuarzo presentan un menor diámetro de grano que este diámetro de grano medio. En otras palabras, en una arena de cuarzo con un diámetro de grano medio d_{50} entre 0,4 y 0,6 mm también están presentes granos de cuarzo que presentan un diámetro de grano considerablemente mayor que 0,4 a 0,6 mm.

15 Según una forma de realización preferente de la invención, el hormigón celular corresponde a la clase de resistencia 2, es decir, a una resistencia litográfica de al menos 2,5 N/mm², ascendiendo la conductividad térmica como máximo a 0,09 W/mK, en particular como máximo a 0,08 W/mK. A este respecto, la densidad aparente media puede encontrarse aproximadamente en 350 kg/m³.

20 Se ha comprobado que las propiedades de producto del hormigón celular son especialmente buenas si la estructura de alma de sustancia sólida presenta más del 10 % en masa de granos de cuarzo. En particular, la estructura de alma de sustancia sólida puede presentar hasta el 15 % en masa de granos de cuarzo. Con este contenido de granos de cuarzo residual, se conserva una buena procesabilidad de la mezcla para producir el hormigón celular y la conductividad térmica puede mantenerse simultáneamente baja.

25 Preferentemente, el polvo de cuarzo, en particular polvo fino de cuarzo, presenta un diámetro de grano medio d_{50} por debajo de 0,005 mm. Por el contrario, el diámetro de grano medio d_{50} de la arena de cuarzo asciende preferentemente entre 0,45 y 0,55 mm.

30 Para evitar la formación de una estructura granular de soporte de arena de cuarzo con puentes térmicos correspondientes, resulta preferente si la estructura granular de soporte del hormigón celular presenta un alto porcentaje de fases de silicato cálcico hidratado, en particular un alto porcentaje de tobermorita-11 Å. Preferentemente, la estructura granular de soporte contiene entre el 45 y el 65 % en masa, en particular más del 50 % en masa, de tobermorita-11 Å.

35 El procedimiento de acuerdo con la invención para producir hormigón celular se realiza por la manera de procedimiento básica como se ha descrito en el «Handbuch Porenbeton» mencionado anteriormente. En otras palabras, primero se prepara una mezcla acuosa y vertible de al menos un componente de CaO que reacciona hidrotermalmente y al menos un componente de SiO₂ que reacciona hidrotermalmente y se mezcla con un agente de expansión que forma poros y/o una espuma. Esta mezcla se vierte entonces en un molde, por ejemplo, aceitado, en el que se reúne la mezcla, preferentemente en una cámara de fermentación. Esto puede realizarse, por ejemplo, por la reacción de partículas de aluminio con la mezcla fuertemente alcalina formando hidrógeno. Simultáneamente, se endurece la torta de hormigón celular, es decir, se solidifica hasta el punto de que a continuación puede cortarse en elementos de hormigón celular con alambres de acero tensados. Posteriormente, los elementos de hormigón celular cortado se curan hidrotermalmente en un autoclave. De acuerdo con la invención, se utilizan al menos dos componentes de SiO₂ para producir la mezcla acuosa y vertible, cuyas cantidades están seleccionadas de manera que la estructura granular de soporte del hormigón celular terminado presenta entre el 10 y el 20 % en masa de granos de cuarzo. A este respecto, de acuerdo con la invención, como componentes de SiO₂ para la producción de la mezcla se utiliza al menos un polvo de cuarzo con un diámetro de grano medio d_{50} de menos de 0,01 mm y al menos una arena de cuarzo con un diámetro de grano medio d_{50} de entre 0,4 y 0,6 mm.

50 Con respecto a la mezcla seca, esta puede presentar aproximadamente del 10 a aproximadamente el 20 % en masa, en particular aproximadamente del 14 a aproximadamente el 16 % en masa, de cal, aproximadamente del 10 a aproximadamente el 30 % en masa, en particular aproximadamente del 24 a aproximadamente el 26 % en masa, de cemento, aproximadamente del 1 a aproximadamente el 5 % en masa, en particular aproximadamente del 2 a aproximadamente el 3 % en masa, de anhidrita, aproximadamente del 20 a aproximadamente el 40 % en masa, en particular aproximadamente del 24 a aproximadamente el 28 % en masa, de polvo de cuarzo, aproximadamente del 4 a aproximadamente el 10 % en masa, en particular aproximadamente del 5 a aproximadamente el 8 % en masa, de arena de cuarzo, del 0 a aproximadamente el 15 % en masa, en particular aproximadamente del 4 a aproximadamente el 10 % en masa, de polvo de hormigón celular, así como del 0 al 25 % en masa, en particular aproximadamente del 10 a aproximadamente el 20 % en masa, de lodo recirculado, es decir, secciones de producción sin curar dispersadas en agua, y aproximadamente del 0,05 al 2 % en masa de pasta de aluminio.

65 En el caso del uso de cemento Portland, resulta preferente un bajo contenido de potasio de menos del 0,8 % en masa, en particular de menos del 0,5 % en masa. La mezcla para producir hormigón celular puede generarse con una relación de agua-sustancia sólida de 0,8 a 1,05, en particular de 0,9 a 1,0. La relación de los componentes de CaO respecto a los componentes de SiO₂ asciende preferentemente entre aproximadamente 0,65 y

aproximadamente 0,85, en particular entre 0,7 y 0,6. La relación entre el cemento y la cal se encuentra preferentemente entre aproximadamente 1,6 y aproximadamente 1,8, por ejemplo, entre 1,7 y 1,76.

Sorprendentemente, se comprobó que, en el procedimiento de acuerdo con la invención, en comparación con otras formulaciones de hormigón celular, pueden mantenerse bajos los tiempos de exposición durante el proceso de expansión y el endurecimiento de la torta de hormigón celular. Así, el tiempo de exposición asciende preferentemente entre aproximadamente 100 minutos y aproximadamente 140 minutos, por ejemplo, aproximadamente 120 minutos. Esto resulta en tiempos de ciclo más cortos durante la producción de hormigón celular.

Otra ventaja del uso de arena de cuarzo en combinación con polvo de cuarzo es que las reacciones químicas transcurren de manera parcialmente más lenta o más inerte y, con ello, aumenta algo el intervalo temporal que está a disposición para cortar la torta de hormigón celular en elementos de hormigón celular. Esto facilita el mecanizado de la torta de hormigón celular durante la producción de elementos de hormigón celular.

Según una forma de realización preferente, el tratamiento en autoclave tiene lugar de aproximadamente 10 a aproximadamente 14 bar_{abs}, preferentemente entre 12 y 13 bar_{abs}, y a una temperatura de 180 a 200 °C, en particular de 185 a 190 °C, bajo condiciones de vapor saturado. Se ha comprobado que, además de la utilización más costosa de vapor vivo puro durante el tratamiento en autoclave, también puede utilizarse al menos parcialmente vapor de transferencia. En el procedimiento de acuerdo con la invención, además de en comparación con otras formulaciones de hormigón celular, pudo reducirse aproximadamente el 5 % el lapso de tiempo necesario para el curado hidrotermal en el autoclave. Esto conlleva un ahorro adicional de tiempo y costes durante la producción de hormigón celular.

Durante la preparación de la mezcla, ha resultado ser especialmente ventajoso si primero se mezclan entre sí los líquidos y lodos, solamente después se añade el polvo de cuarzo y luego se añade la arena de cuarzo más gruesa. Con ello, se puede optimizar el tiempo de mezcla en comparación con otras formulaciones de hormigón celular.

La invención se explica con más detalle a continuación mediante un ejemplo de realización.

Para producir bloques de precisión de hormigón celular, se preparó en ocho lotes respectivamente primero una mezcla acuosa y vertible de agua y los componentes mencionados en la reivindicación 8. En este sentido, como cal se utilizó cal viva CL90. Como cemento se utilizó un cemento Portland del tipo CEM I 52,5 N. Aparte de eso, se usó una anhidrita natural así como polvo de hormigón celular. Adicionalmente, se usó pasta de aluminio (de tipo grueso y fino) como agente de expansión. El polvo fino de cuarzo utilizado presentó un diámetro de grano medio d₅₀ por debajo de 0,005 mm. Como arena de cuarzo se utilizó una arena con un diámetro de grano medio d₅₀ de aproximadamente 0,5 mm. Como lodo recirculado se utilizaron propias secciones de producción sin curar de la producción de hormigón celular de la clase de resistencia a la compresión 2.

Para el proceso de expansión, se añadieron a la mezcla de aproximadamente 1400 l de agua, de cal, de cemento, de anhidrita, de polvo de cuarzo, de arena de cuarzo, de polvo de hormigón celular y de lodo recirculado aproximadamente 30 kg de una suspensión de aluminio y se mezclaron con los componentes restantes. El proceso de expansión se concluyó tras menos de 60 minutos y tras menos de 180 minutos la torta de hormigón celular había alcanzado su resistencia al corte. El curado hidrotermal de la torta de hormigón celular se realizó tras el corte en formatos de bloque definitivos en un autoclave a 13 bar_{abs} y 192 °C bajo condiciones de vapor saturado. Los bloques de precisión de hormigón celular así obtenidos se examinaron a continuación.

Los bloques de precisión de hormigón de los ocho lotes presentaron los valores característicos reproducidos en la siguiente tabla para la resistencia litográfica media σ (unidad N/mm²), para la densidad aparente media p (unidad kg/dm³), para la conductividad térmica λ (unidad W/mK) así como para el contenido de cuarzo residual CR (unidad/% en masa).

	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Lote 7	Lote 8	Ø
σ	3,05	2,95	2,89	2,67	2,72	2,82	2,97	3,11	2,90
p	361	354	350	358	355	352	362	373	358
λ	0,0828	0,0817	0,0856	0,0828	0,0839	0,0852	0,0832	0,082	0,0842
CR	12,1	10,0	10,7	10,9	11,5	10,2	12,5	10,8	11,09

Para determinar el contenido de cuarzo CR, se molieron muestras de los bloques de precisión de hormigón celular y después se sometieron a una difracción de rayos X en polvo así como a un análisis Rietveld posterior. La precisión de la difracción de rayos X en polvo y el análisis Rietveld posterior ascendió a +/-1,3 % en masa en el caso de los granos de cuarzo. Como alternativa a la difracción de rayos X en polvo y al análisis Rietveld,

también es posible una determinación de cuarzo residual como residuo insoluble en ácido clorhídrico. Sin embargo, este método de determinación alternativo es parcialmente menos preciso que el método mencionado anteriormente.

- 5 Para la determinación de fases minerales, se tritura previamente de manera tosca con un martillo una muestra de hormigón celular seca representativa, después se muele previamente durante 30 segundos en un molino de discos oscilantes utilizando carburo de tungsteno y a continuación se muele durante 12 minutos en un molino McCrone con etanol anhidro. La determinación cuantitativa de las fases minerales se realiza entonces mediante difracción de rayos X con estándar externo y análisis Rietveld.
- 10 Como ejemplo comparativo se preparó un hormigón celular a partir de las materias primas mencionadas anteriormente en la relación mencionada en la reivindicación 8, sustituyéndose, sin embargo, el polvo fino de cuarzo y la arena de cuarzo por lodo de arena. Se demostró que el proceso de expansión y el endurecimiento fueron más duraderos que en el ejemplo de acuerdo con la invención. Tras el curado hidrotermal de la torta de hormigón celular,
- 15 idéntica, la resistencia litográfica media σ con aproximadamente $2,5 \text{ N/mm}^2$ se encontraba solo ligeramente por debajo de los valores del ejemplo de acuerdo con la invención. La conductividad térmica λ había subido a $0,09 \text{ W/mK}$. El contenido de cuarzo residual CR se encontraba en aproximadamente el 16 % en masa.

REIVINDICACIONES

1. Hormigón celular con una estructura de alma de sustancia sólida, que rodea poros resultantes de una espuma o generados por un proceso de expansión, presentando el hormigón celular una resistencia litográfica de 2,0 a 3,5 N/mm², una conductividad térmica de 0,075 a 0,1 W/mK así como una densidad aparente entre 300 y 400 kg/m³, caracterizado por que la estructura de alma de sustancia sólida presenta más del 10 y hasta el 20 % en masa de granos de cuarzo, de los cuales una parte es polvo de cuarzo con un diámetro de grano medio (d_{50}) de menos de 0,1 mm y una parte es arena de cuarzo con un diámetro de grano medio (d_{50}) de entre 0,4 y 0,6 mm.
2. Hormigón celular según la reivindicación 1, caracterizado por una resistencia litográfica de al menos 2,5 N/mm² y una conductividad térmica de como máximo 0,08 W/mK.
3. Hormigón celular según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la estructura de alma de sustancia sólida presenta hasta el 15 % en masa de granos de cuarzo.
4. Hormigón celular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el polvo de cuarzo presenta un diámetro de grano medio (d_{50}) de menos de 0,005 mm.
5. Hormigón celular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la arena de cuarzo presenta un diámetro de grano medio (d_{50}) de entre 0,45 y 0,55 mm.
6. Hormigón celular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la estructura de alma de sustancia sólida presenta entre el 45 y el 65 % en masa de tobermorita-11 Å.
7. Procedimiento para la producción de hormigón celular según una de las reivindicaciones anteriores, con las siguientes etapas:
 - a) producir una mezcla acuosa, vertible de al menos un componente de CaO, al menos dos componentes de SiO₂ y al menos un agente de expansión,
 - b) verter la mezcla en un molde y expandir la mezcla para formar una torta solidificada de hormigón celular,
 - c) cortar la torta de hormigón celular en elementos de hormigón celular, y
 - d) tratar en autoclave los elementos de hormigón celular,caracterizado por que la cantidad de los componentes de SiO₂ está seleccionada de manera que la estructura de alma de sustancia sólida del hormigón celular presenta, después de la etapa d), más del 10 y hasta el 20 % en masa de granos de cuarzo, presentando los componentes de SiO₂ al menos un polvo de cuarzo con un diámetro de grano medio (d_{50}) de menos de 0,1 mm y al menos una arena de cuarzo con un diámetro de grano medio (d_{50}) de entre 0,4 y 0,6 mm.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que en la etapa a) se genera una mezcla
 - del 10 al 20 % en masa, en particular del 14 al 16 % en masa, de cal,
 - del 20 al 30 % en masa, en particular del 24 al 26 % en masa, de cemento,
 - del 1 al 5 % en masa, en particular del 2 al 3 % en masa, de anhidrita,
 - del 20 al 40 % en masa, en particular del 24 al 28 % en masa, de polvo de cuarzo,
 - del 4 al 10 % en masa, en particular del 5 al 8 % en masa, de arena de cuarzo,
 - del 0 al 15 % en masa, en particular del 4 al 10 % en masa, de polvo de hormigón celular,
 - del 0 al 25 % en masa, en particular del 10 al 20 % en masa, de lodo recirculado,
 - del 0,05 al 2 % en masa de pasta de aluminio,en cada caso con respecto a la mezcla seca.
9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, caracterizado por que en la etapa a) se genera una mezcla con una relación de agua-sustancia sólida de 0,8 a 1,05, en particular de 0,9 a 1,0.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado por que el tratamiento en autoclave en la etapa d) se realiza a de 10 a 14 bar_{abs} y a una temperatura de 180 a 195 °C, en particular de 185 a 190 °C, bajo condiciones de vapor saturado.