

Método para la preparación de un componente mineral carbonatado, componente mineral carbonatado y método para la preparación de una composición aglutinante

La invención se refiere a un método para la preparación de un componente mineral carbonatado, el componente mineral carbonatado, así como un método para la preparación de una composición de aglutinante hidráulico.

La carbonatación de materiales para su uso en materiales de construcción es bien conocida. Ya se han dado a conocer ejemplos como la carbonatación de escorias de acero, cementos especiales y residuos de demolición de hormigón. La carbonatación conocida de los materiales se puede dividir en dos enfoques principales.

En el primer enfoque, el material se endurece mediante carbonatación. Los métodos de carbonatación son conocidos por el endurecimiento que utilizan procesos estándar, en los que este enfoque se divulga, por ejemplo, en las solicitudes de patente presentadas por Carbstone Innovation, Solidia Technologies o CarbonCure.

Los procesos divulgados en estas aplicaciones deberían tener la ventaja de secuestrar CO_2 mediante la formación de partículas de carbonato de calcio. Esto se puede lograr en varias aplicaciones de construcción, como la producción de pequeños elementos de construcción como adoquines o bloques. En estos métodos, el material a carbonatar puede mezclarse con pequeñas cantidades de agua y colocarse en moldes. A continuación, estos moldes se colocan en una cámara de curado con una cantidad relativamente alta de CO_2 , bajo control de temperatura y humedad relativa. A través de la carbonatación de los materiales, los elementos carbonatados desarrollan resistencia mecánica.

El segundo enfoque consiste en carbonatar un componente mineral y utilizarlo posteriormente en forma de polvo como componente mineral carbonatado. El objetivo es reducir la cantidad de clínker Portland en las composiciones de cemento mediante la sustitución de partes del cemento Portland por ese polvo hecho del componente mineral carbonatado. En un método de acuerdo con el segundo enfoque, los materiales minerales carbonatados se utilizan en una forma particular que luego se agrega a los cementos Portland como sustituto del cemento. Por ejemplo, los residuos de demolición se carbonatan a través de diferentes procesos y los productos resultantes se utilizan como componentes sustitutivos del cemento. De este modo, se reduce la cantidad de clínker Portland en el cemento con el fin de proporcionar un material que reduzca la huella de CO_2 . En el segundo enfoque, la carbonatación da lugar a la formación de partículas de carbonato de calcio que, como ya se ha mencionado, como material de relleno, pero no contribuyen al desarrollo de la resistencia del cemento. En consecuencia, las

tasas de carbonatación más altas o las cantidades de material carbonatado en el cemento dan como resultado un desarrollo de menor resistencia del concreto en la aplicación. En la práctica, la cantidad de componente mineral carbonatado de acuerdo con el segundo enfoque está limitada en las composiciones de cemento. El segundo enfoque se divulga, por ejemplo, en los documentos PE 3656750, WO2019/115722, PE 3581257 y PE 3498681 A1.

De Yingpeng Hu, Journal of Energy Chemistry, volumen 26, número 5, septiembre de 2017, páginas 927–935 se conoce la carbonatación mineral indirecta de una escoria de alto horno con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ como existente reciclable, en la que en este documento se utilizó $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ para extraer calcio y magnesio de la escoria de alto horno (las fases principales de gehlenita y akermanita mediante el uso de tostado a baja temperatura para fijar CO_2 a través de carbonatación acuosa).

Daniela Angulo, Materiales de Construcción 69 (333): 182, se refiere a la carbonatación del hormigón híbrido con alto contenido de escoria de alto horno y su impacto en la corrosión estructural del acero.

El efecto del reemplazo de escoria de alto horno, la proporción y el método de curado en la estructura de los poros y el cambio después de la carbonatación en la pasta de cemento se divulga en Junho Kim, Seung Hyun Na y Yukio Hama, materials (Basilea), 13 de noviembre de 2020 (21): 4787.

El objeto de la invención es proporcionar un método para la fabricación de un componente mineral carbonatado que no conduzca a una pérdida de resistencia en caso de que se añada a una composición de aglutinante hidráulico como sustituto de un componente hidráulico, en particular un cemento.

El objeto se cumple por medio del método de acuerdo con la reivindicación 1.

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar un componente mineral carbonatado como sustituyente de un componente hidráulico en una composición de aglutinante hidráulico.

Este objeto se cumple por medio del componente mineral de la reivindicación 13.

Todavía es un objeto adicional de la invención proporcionar un método para la fabricación de una composición de aglutinante hidráulico con un componente mineral carbonatado.

Este objetivo se cumple mediante el método para la fabricación del aglutinante mineral de acuerdo con la reivindicación 16.

Otras realizaciones se reivindican en las respectivas reivindicaciones dependientes.

Sorprendentemente, se encontró que el uso de un componente mineral carbonatado de acuerdo con la invención no conduce a una pérdida de la resistencia de 28 días en un concreto de cemento que se prepara con un componente aglutinante hidráulico y el componente mineral carbonatado de la presente invención. El componente mineral de acuerdo con la invención tiene una relación en peso de $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ entre 1,20 y 5,0, en particular entre 1,20 y 2,0. Los componentes minerales adecuados que cumplen esta relación son, por ejemplo, la escoria granulada molida de alto horno o las cenizas volantes de clase C de acuerdo con la definición proporcionada en la ASTM C618 estándar. Se comprobó que un ratio inferior a 1,20 no es adecuado.

El contenido de CaO en el componente mineral debe ser de al menos el 35 % en peso medido por XRF.

En una primera realización, el método de acuerdo con la invención puede comprender las siguientes etapas:

1. El componente mineral se muele hasta una finura Blaine comprendida entre $3.000 \text{ cm}^2/\text{g}$ y $10.000 \text{ cm}^2/\text{g}$, en particular entre $5.000 \text{ cm}^2/\text{g}$ y $8.000 \text{ cm}^2/\text{g}$ para obtener un polvo;
2. El polvo se mezcla con agua en una relación sólido/peso de agua comprendida entre 0,3 y 1,5 para obtener una pasta, o se prehumidifica añadiendo agua en una relación sólido/peso de agua comprendida entre 0,03 y 0,2;
3. La pasta o el polvo prehumidificado compuesto por el componente mineral con agua se coloca en un reactor que funciona a presión atmosférica normal, a una temperatura de $50\text{--}90^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $56\text{--}95\%$ en una atmósfera que contiene CO_2 ;
4. La pasta se deja carbonatar en el reactor durante un tiempo de entre 0,5 y 52 horas, preferentemente de 12 a 30 horas, más preferiblemente de 24 horas;
5. El material endurecido resultante se seca a una temperatura de $60\text{--}85^\circ\text{C}$, preferentemente 80°C hasta que su peso sea constante;
6. El material resultante se desaglomera y se tamiza;
7. Se utiliza un componente mineral con al menos una, algunas o todas las propiedades del siguiente grupo:

- la relación en peso $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ es de 1,20 a 5,0, preferiblemente de 1,26 a 5,0
- el contenido amorfo es superior al 66 %, preferiblemente superior al 75 %, en particular superior al 85 %.

En particular, los inventores descubrieron que cuanto mayor es la relación en peso $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$, menor puede ser el contenido amorfo.

El reactor se alimenta preferentemente con un gas rico en CO_2 procedente de una planta de cemento, que contiene al menos un 5 % de CO_2 . Este gas contiene además vapor de agua que proporciona el ambiente necesario para que se produzca la carbonatación. Este gas puede enfriarse hasta alcanzar una temperatura de 60 a 85 °C en el reactor.

En particular, el material resultante se tamiza a 63 μm para excluir los agregados gruesos.

El material resultante se puede moler aún más hasta obtener una mayor finura. El material resultante del suelo se mezcla en un componente mineral hidráulico, en particular en un componente cementoso y, en particular, en un cemento Portland.

En una realización alternativa, el procedimiento de acuerdo con la invención puede comprender las siguientes etapas:

1. el componente mineral se muele hasta una finura Blaine comprendida entre 3.000 cm^2/g y 10.000 cm^2/g para obtener un polvo;
2. durante la molienda en un molino, se inyecta un gas rico en CO_2 en el molino para que el componente se carbonate.
3. el polvo se mezcla con agua en una relación sólido/peso de agua comprendida entre 0,3 y 1,5 para obtener una pasta, o se prehumidifica agregando agua en una relación sólido/peso de agua comprendida entre 0,03 y 0,2;
4. el material endurecido resultante se seca a una temperatura de 60–85 °C, preferiblemente 80 °C hasta que su peso sea constante;
5. el material resultante se desaglomera y se tamiza;
6. Un componente mineral se utiliza con al menos una, algunas o todas las propiedades del siguiente grupo:
 - la relación en peso $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ es de 1,20 a 5,0, preferiblemente de 1,26 a 5,0
 - el contenido amorfo es superior al 66 %, preferiblemente superior al 75 %, en particular superior al 85 %.

El molino se alimenta preferentemente con un gas rico en CO_2 , en particular gas de combustión de una planta de cemento, que contiene al menos un 5 % de CO_2 . Este gas contiene además vapor de agua que proporciona el ambiente necesario para que se produzca la carbonatación. Este gas puede enfriarse hasta alcanzar una temperatura de 60 a 85 °C en el molino.

La mezcla con ese componente cementoso se puede lograr mezclando el material resultante finalmente molido en el componente cementoso o agregándolo antes de moler el clínker de cemento al clínker.

El proceso de carbonatación se puede llevar a cabo de acuerdo con cualquier proceso industrial conocido utilizando un gas que contenga CO_2 . En particular, de acuerdo con la invención, el gas puede contener un mínimo del 5 % de CO_2 .

Como resultado, se encontró que hasta un 15 % de CO_2 puede ser capturado por el componente mineral a carbonatar. En particular, esto puede suceder cuando todo el componente se mezcla con agua en una proporción de agua y cemento entre 0 y 1 o algo más y se expone a la atmósfera de CO_2 , por ejemplo, 24 horas.

Además, se descubrió que una duración de carbonatación de 30 minutos puede resultar en hasta un 5 % de CO_2 capturado por el componente mineral.

Además, podría deducirse que el nivel de captura de CO_2 es variable de acuerdo con la fuente de escoria y depende, en particular, de la cantidad de fases amorfas en la escoria, la finura de la escoria y el equivalente de $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}$.

Sorprendentemente, se encontró que una composición de aglutinante hidráulico con el componente mineral carbonatado perteneciente a la resistencia a la compresión funciona de manera similar a una composición de aglutinante hidráulico con un material de referencia mineral no carbonatado. En particular, esto es válido para la sustitución de un componente cementoso por el componente mineral carbonatado o el componente mineral no carbonatado de al menos un 25 % en peso, respectivamente.

Además, se encontró que es ventajoso para nosotros un componente mineral con un alto contenido amorfo en lugar de un componente mineral que consiste principalmente en contenido cristalino. Hay varios aspectos en este sentido. En primer lugar, un componente mineral con un alto contenido amorfo tiene una mejor solubilidad y molienda, por lo que es bastante reactivo con respecto a la mezcla de una pasta en una composición aglutinante con

agua. Además, como no toda la cantidad del componente mineral podría carbonatarse, la parte no carbonatada, debido a sus propiedades puzolánicas, contribuye significativamente a la resistencia del mortero u hormigón. Desde el punto de vista de la seguridad, esto garantiza siempre un desarrollo de fuerza suficiente.

Además, se encontró que la etapa de carbonatación es esencial. En el caso de que una escoria esté carbonatada, la carbonatación se produce principalmente con el CaO de la escoria. Una escoria que se carbonató con un aumento de peso del 10 % no disminuyó la resistencia de 28 días. Una escoria en la que se simuló la ganancia de peso de carbonatación del 10 % mediante la adición de piedra caliza a la misma escoria no carbonatada disminuyó la resistencia a la compresión de 28 días, por lo que se puede concluir que la etapa de carbonatación efectivamente influye.

En resumen, se encontró sorprendentemente que un componente mineral carbonatado seleccionado con una composición especial y una relación de peso seleccionada entre CaO + MgO y SiO₂ conduce a un sustituyente de un constituyente cementoso en una composición de aglutinante hidráulico sin la pérdida de resistencia esperada y, en particular, resistencia a la compresión después de 28 días.

La invención, en particular, se refiere a un procedimiento para la preparación de un componente mineral carbonatado, en particular para su uso como sustituyente del cemento en composiciones de aglutinantes hidráulicos, en el que un componente mineral con al menos una, algunas o todas las propiedades del siguiente grupo:

- la relación en peso (CaO+MgO)/SiO₂ es de 1,20 a 5,0, preferiblemente de 1,26 a 5,0
 - el contenido amorfo es superior al 66 %, preferiblemente superior al 75 %, en particular superior al 85 %
 - molido para obtener un polvo;
 - el polvo se mezcla con agua para obtener una pasta;
 - la pasta compuesta por el componente mineral con agua se coloca en un reactor en una atmósfera que contiene CO₂;
 - la pasta se deja carbonatar en el reactor durante un tiempo predeterminado
 - el material endurecido resultante se seca hasta que su peso sea constante;
 - el material resultante se desaglomera y se tamiza
- o
- el componente mineral se muele hasta una finura de Blaine comprendida entre 3.000 cm²/g y 10.000 cm²/g para obtener un polvo;
 - durante la molienda en un molino, se inyecta un gas rico en CO₂ en el molino para que el componente se carbonate.

- el polvo se mezcla con agua en una relación sólido/peso de agua comprendida entre 0,3 y 1,5 para obtener una pasta, o se prehumidifica añadiendo agua en una relación sólido/peso de agua comprendida entre 0,03 y 0,2;
- el material endurecido resultante se seca a una temperatura de 60–85 °C, preferiblemente 80 °C hasta que su peso sea constante;
- El material resultante se desaglomera y se tamiza.

En una realización, el contenido mínimo de CaO en el componente mineral es del 35 % en peso medido por XRF.

En una realización, el gas rico en CO₂ es un gas de combustión de una planta de cemento.

En una realización, la relación en peso (CaO+MgO)/SiO₂ es de 1,26 a 5,0.

En una realización, el componente mineral se muele a una finura de Blaine de al menos 3000 cm²/g.

En una realización, el polvo del componente mineral se mezcla con agua en una relación sólido/peso de agua comprendida entre 0,3 y 1,5.

En una realización alternativa, el polvo del componente mineral se mezcla con agua en una relación sólido/peso de agua comprendida entre 0,03 y 0,2. En esta realización, el agua puede, por ejemplo, rociarse sobre el componente mineral antes de la carbonatación.

En una realización, el reactor funciona a presión atmosférica normal, una temperatura de 50–90 °C y una humedad relativa de 56–95 %.

En una realización, la pasta se deja carbonatar en el reactor durante un período de entre 12 y 52 horas, preferentemente de 18 a 30 horas, más preferiblemente de 20 a 26 horas y más preferida de 24 horas.

En una realización, el material resultante endurecido se seca a una temperatura de 60–85 °C, preferentemente 80 °C.

En una realización, el material resultante se tamiza a 63 µm para excluir los agregados gruesos.

En una realización, el componente mineral carbonatado resultante se muele a una finura de Blaine de 3.000 cm²/g a 10.000 cm²/g, preferentemente entre 5000 y 8000 cm²/g.

En una realización, el componente mineral se elige de al menos una de las escorias granuladas molidas de alto horno, escorias de acero molidas, cenizas volantes, residuos de demolición de hormigón molido y, preferiblemente, escorias granuladas molidas de alto horno solamente.

Otro aspecto de la invención se refiere a un componente mineral carbonatado, en particular un componente mineral carbonatado fabricado como se ha descrito anteriormente, con una relación en peso (CaO+MgO)/SiO₂ de 1,2 a 5,0 calculada sobre los constituyentes no carbonatados.

En una realización, el componente mineral carbonatado tiene un grado de carbonización entre el 5 y el 20 % en peso calculado sobre los constituyentes no carbonatados, preferiblemente entre el 8 y el 16 % en peso calculado sobre los constituyentes no carbonatados.

En una realización, el componente mineral carbonatado tiene una finura de Blaine de 3.000 cm²/g a 10.000 cm²/g

Otro aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para la preparación de una composición aglutinante, en particular una composición de aglutinante hidráulico, en la que un componente mineral carbonatado, como se ha descrito anteriormente, con una relación en peso (CaO+MgO)/SiO₂ de 1,2 a 5,0, calculada sobre el peso de los constituyentes no carbonatados, se mezcla con al menos un componente cementoso, en particular un cemento Portland o un clínker de cemento Portland.

En una realización, el componente mineral carbonatado se añade al clínker de cemento antes o en la molienda y se muele junto con el clínker de cemento para obtener una composición aglutinante que comprende al menos el componente mineral carbonatado y el cemento.

En una realización, el componente mineral carbonatado molido con una finura de Blaine de 3.000 cm²/g a 10.000 cm²/g, en particular de 5.000 cm²/g a 8.000 cm²/g, se mezcla al menos con el cemento molido para obtener una composición aglutinante que comprende al menos el componente mineral carbonatado y el cemento.

Otro aspecto de la invención se refiere al uso de un componente mineral carbonatado como se ha descrito anteriormente, fabricado con un método como el descrito anteriormente como sustituyente del cemento en una composición de aglutinante hidráulico.

La invención se explica con más detalle mediante ejemplos. Los ejemplos se muestran en los dibujos adjuntos, que muestran:

Figura 1: una tabla que muestre la lista de materiales utilizados;

Figura 2: la finura y la superficie Blaine de los materiales utilizados;

Figura 3: la composición química pertinente de los componentes;

Figura 4: la resistencia a la compresión de los materiales y mezclas de materiales sin carbonatación;

Figura 5: la resistencia a la compresión de los materiales y las mezclas de materiales con carbonatación

Figura 6: esquemáticamente el dispositivo de prueba;

Figura 7: el impacto de la finura del componente mineral;

Figura 8: Tres ejemplos comparativos en los que el material carbonatado es sustituido por piedra caliza.

Con referencia a la Figura 5, se preparan muestras de 10 g cada una a partir de un componente mineral y se mezclan con agua con diferentes proporciones de agua-cemento en recipientes de muestra.

Los recipientes de muestra con los materiales de muestra se introducen en un recipiente disponible en el mercado que permite el control de la temperatura y el control del gas. El control de gas comprende la composición del gas y la presión del gas en la que el contenedor tiene sus respectivas conexiones de gas (entrada/salida) para proporcionar un flujo de gas.

La humedad relativa se controla mediante un depósito de agua desionizada colocado en el fondo del recipiente.

La temperatura se ajusta a 70–80 °C y la presión de CO₂ en la entrada de la cámara se establece en 1,02 bar y permanece constante. La humedad relativa que se estableció por medio del tanque se midió entre el 80 y el 85 % en el reactor.

Después de un tiempo predeterminado en el envase, se determinó la cantidad de carbonatación e hidratación de los respectivos materiales.

a) Ganancia de masa total con respecto al componente mineral

La ganancia de masa total (Δm , véase la Ec. (1)) está relacionada tanto con el agua ligada (Δm_{H_2O}) como con el CO₂ unido (Δm_{CO_2}) con respecto al componente mineral [g/g del componente mineral].

Después de la carbonatación, las muestras se secan a 80 °C para obtener la masa seca final marcada $m(f, \text{seca})$, expresada en gramos [g].

La masa de las muestras después de la mezcla y antes de que se conozca la carbonatación, se anota $m(0, \text{húmedo})$ y se expresa en gramos [g].

La masa del sólido, es decir, la masa seca, se calcula a partir de la composición inicial de la mezcla, se anota $m(0, \text{seco})$ y se expresa en gramos [g].

Ecuación 1:

$$\Delta m = (m(f, \text{seco}) - m(0, \text{seco})) / m(0, \text{seco})$$

b) Ganancia de masa de CO₂ con respecto al componente mineral:

El contenido de agua ligada y el contenido de CO₂ ligado con respecto a la masa de las muestras también se calculan a partir de la masa medida de las muestras, respectivamente a 550 °C y 950 °C. La diferencia de masa de las muestras entre 80 °C y 550 °C está relacionada con el contenido de agua ligada (véase la ec. (2)), mientras que la pérdida de masa de las muestras entre 550 °C y 950 °C está relacionada con el contenido de CO₂ (véase la ec. (3)).

Ecuación 2:

$$[\Delta m]_{H_2O} = ((m(f, 80) - m(f, 550)) / m(950))$$

Ecuación 3:

$$[\Delta m]_{CO_2} = ((m(f, 550) - m(f, 950)) / m(950))$$

De esta manera, se utilizaron componentes minerales carbonatados preparados para preparar los morteros respectivos y medir la resistencia a la compresión de acuerdo con la norma NF EN196-1 de septiembre de 2016.

En las tablas de acuerdo con las Figuras se muestran las muestras, en las cuales todas las muestras, las cuales están marcadas con 75/25 fueron hechas de una composición de un cemento CEM I (A o B) y 25 % en peso del respectivo componente mineral. Se utilizaron componentes minerales carbonatados de acuerdo con la invención, así como los mismos componentes minerales sin la etapa de carbonatación para elaborar las diferencias en el desarrollo de la resistencia. Se utilizaron los respectivos aditivos 75/25 para preparar un mortero y se determinó la resistencia a la compresión como se describió anteriormente.

En las figuras 2 y 3 se enumeran los componentes minerales utilizados en los ejemplos. Como se confirmará en los resultados discutidos más adelante, GGBFS C y las cenizas volantes B no son adecuadas para la presente invención.

Los resultados relacionados con la resistencia del mortero y la carbonatación del componente mineral se presentan en la Figura 4.

Como ejemplo comparativo, la muestra 1 y la muestra 2 pertenecen a una muestra CEM I (A y B) pura sin un componente mineral adicional.

Las muestras 3 a 11 (Figura 4) muestran el impacto de la sustitución de CEM I, A y B por un componente mineral no carbonatado en el desarrollo de la resistencia. En todos los casos, en comparación con un mortero de cemento CEM I puro, la resistencia a los 2 y 7 días siempre se reduce y la resistencia a los 28 días se reduce, excepto en el caso de las escorias de alto horno B molidas, que contribuyen positivamente a la resistencia a la compresión a los 28 días a un nivel similar al CEM I. Esto podría esperarse de acuerdo con las propiedades hidráulicas latentes de esta escoria de alto horno.

Las muestras 12 a 19 (Figura 5) son ejemplos con componentes minerales carbonatados. Los componentes minerales se carbonataron durante 24 horas de la forma ya definida. Como se puede observar, las muestras 12 y 14 con CEM I A y CEM I B y escorias de alto horno A como componente mineral condujeron a una resistencia a la compresión después de 28 días en el rango que puede lograrse solo con el CEM I correspondiente. Se produce una cierta desviación entre las muestras 12 y 13, que no es significativa.

Se analizó más de cerca el impacto de la finura del componente mineral moliendo la escoria del alto horno en dos grados Blaine diferentes: 4.710 cm²/g y 5.920 cm². También en este caso, estos componentes se carbonataron durante 24 horas de la forma ya definida. Los resultados se pueden ver en la Figura 7, en la que la ganancia de peso después de la carbonatación es mayor con una finura más alta y más o menos uniformemente la ganancia de peso de carbonatación es de aproximadamente el 2 %, en la que la ganancia de peso por la introducción de agua es del 2,7 %.

La muestra 5 de la Figura 4 se refiere al uso de CEM I A con una ceniza volante B sin carbonatación, mientras que la muestra 18 se refiere a la misma CEM I A y cenizas volantes carbonatadas. En comparación, en particular, de la muestra 18 que muestra una ceniza volante carbonatada B con CEM I A y los mismos constituyentes, pero con una ceniza volante no carbonatada, que es la muestra 5, se puede ver que la carbonatación causó una resistencia a la compresión de 28 días de 52,33 MPa y 55,25 MPa en la muestra 5.

Como en la muestra 18 las cenizas volantes carbonatadas B obviamente no contribuyen a una mayor resistencia a la compresión que en comparación con la muestra 5, se puede concluir que de acuerdo con la menor relación de (CaO+MgO)/SiO₂ de 1,02, este ejemplo no está funcionando y, por lo tanto, está fuera del rango inventivo. En esta muestra, el efecto de dilución de las cenizas volantes como componente mineral no fue compensado por la carbonatación.

Otra muestra que muestra el límite inferior son los residuos de demolición de hormigón molido (RCD) con una relación de (CaO+MgO)/SiO₂ de 0,53. Una muestra de CEM I A con CDW (muestra 4) mostró una notable caída de la resistencia a la compresión de 28 días de más de 60 a 45,38 MPa. La misma situación pero con un RCD carbonatado (muestra 15) no condujo a una mayor resistencia a la compresión.

Las muestras 9 y 19 se refieren al uso de GGBFS C como componente mineral no carbonatado (muestra 9) y carbonatado (muestra 19). Este componente mineral tiene una relación (CaO+MgO)/SiO₂ de 1,15. El ejemplo 19 muestra que esta escoria GGBFS C no carbonató de manera eficiente, ya que la carbonatación, expresada en % en peso de CO₂, fue solo del 1 % en peso. Por lo tanto, este ejemplo no funciona y, por lo tanto, está fuera del rango inventivo.

Por lo tanto, una relación (CaO+MgO)/SiO₂ inferior a 1,20 no es adecuada para la invención. Se prefiere una proporción superior a 1,26.

Las muestras 7 y 17 se refieren al uso de escoria de acero BOF, que tiene una relación $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ de 4,47. En comparación con el ensayo no carbonatado (Muestra 7), la muestra carbonatada (Muestra 17) muestra un aumento particularmente fuerte de la resistencia a la compresión a los 28 días. Por lo tanto, esta muestra está funcionando y está dentro del rango inventivo.

La invención sustituye un material cementoso en una composición de aglutinante hidráulico por un grupo seleccionado de componentes minerales con una relación $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ entre 1,20 y 5,0, en particular 1,20 y 2,0 de forma ventajosa.

Se encontró sorprendentemente que carbonatar estos componentes minerales y molerlos hasta una finura suficiente no reduce la resistencia a la compresión a los 28 días en comparación con la composición de aglomerante que utiliza material cementicio puro sin el componente mineral. Por lo tanto, es posible reducir notablemente la huella de carbono de una composición de aglutinante hidráulico y el concreto resultante, evitando cualquier efecto perjudicial en la resistencia a la compresión a largo plazo.

Para caracterizar aún más las ventajas de la presente invención, se han llevado a cabo ensayos comparativos adicionales, en los que se han ensayado 3 composiciones de cemento:

CT1: Un cemento CEM III/A, compuesto por un 55 % en peso de CEM I LT, un 42 % en peso de GGBFS A no carbonatado y un 3 % en peso de relleno de piedra caliza molida

CT2: Un cemento CEM III/A, compuesto por 55 % en peso de CEM I LT, 42 % en peso de GGBFS A carbonatado y 3 % en peso de piedra caliza molida

CT3: Un cemento CEM III/A, compuesto por 55 % en peso de CEM I LT, 35 % en peso de GGBFS A no carbonatado y 10 % en peso de Durcal 10.

Los carbonatos GGBFS A capturan un equivalente de 8,2 % en peso de CO_2 , lo que corresponde a la formación de una cantidad de carbonato de calcio de 7 % en peso del peso total del cemento. CT2 tiene entonces la siguiente composición completa: es 55 % en peso de CEM I B, 35 % en peso de GGBFS A no carbonatado y 10 % en peso de piedra caliza molida.

A continuación, se preparó CT3 sustituyendo todas las fuentes de carbonato de calcio en CT2 por Durcal 10. Durcal 10 es un carbonato de calcio molido fino proporcionado por Omya, con un valor de Blaine de $5.000 \text{ cm}^2/\text{g}$. Por lo tanto, las cantidades totales de CEM I B y GGBFS A no carbonatado en las muestras CT2 y CT3 son las mismas. Además, como la carbonatación da lugar a la formación de carbonato de calcio en el componente mineral, la cantidad total de carbonato de calcio en las muestras CT2 y CT3 sigue siendo la misma.

Los resultados de estas tres pruebas se muestran en la Figura 8. En comparación con CT1, CT2 muestra una pequeña reducción en la fuerza y 2 días, 7 días y 28 días. En comparación con CT1, CT3 también muestra una reducción menor de la fuerza a los 2 días y una disminución más fuerte a los 28 días. Curiosamente, a pesar de que la composición total de CT2 y CT3 es la misma, la resistencia a la compresión a los 28 días de CT3 es significativamente menor que la de CT2.