

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de calcinación de una materia prima para obtener un material cementante

La invención se refiere a un procedimiento de producción de un material cementante y a una planta para llevar a cabo este procedimiento.

- 5 Los materiales cementantes son uno de los principales ingredientes de una mezcla de hormigón. Los materiales cementantes pueden clasificarse en dos tipos: cementos hidráulicos y materiales cementantes suplementarios (SCMs). Los cementos hidráulicos fraguan y se endurecen reaccionando químicamente con el agua, lo que se denomina hidratación. El cemento Portland es el cemento hidráulico más común. Los SCMs se utilizan junto con el cemento Portland en las mezclas de hormigón. En particular, se ha vuelto práctica común utilizar
- 10 materiales puzolánicos y/o hidráulicos latentes como materiales cementantes suplementarios en mezclas de cemento Portland.

- Al sustituir por materiales cementantes suplementarios el cemento Portland, se reducirá la emisión específica de CO₂ en la producción de cemento. Los materiales cementantes suplementarios comprenden una amplia clase de materiales silíceos o silíceos y aluminosos que, en forma finamente dividida y en presencia de agua,
- 15 reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes. Algunos ejemplos de materiales cementantes suplementarios son la escoria granulada de alto horno, las cenizas volantes, las puzolanas naturales, pizarra bituminosa calcinada o arcilla calcinada.

- En los procedimientos conocidos de producción de clínker de cemento, la materia prima se introduce en un
- 20 horno rotatorio después de haber sido precalentada y parcialmente descarbonatada en un sistema de precalentamiento de varias etapas utilizando el calor de los gases de combustión que se evacúan del horno rotatorio. La materia prima precalentada se introduce en el horno rotatorio a través de la entrada del horno y se desplaza hasta la salida del horno mientras se calcina a temperaturas de hasta 1400 °C.

- El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero de larga vida más importante de la atmósfera terrestre. El uso de combustibles fósiles y la deforestación han aumentado rápidamente su concentración en la atmósfera, provocando el calentamiento global. El dióxido de carbono también provoca la acidificación de los océanos, porque se disuelve en el agua formando ácido carbónico.
- 25

- La industria cementera es un importante emisor de CO₂. Dentro del procedimiento de producción de cemento, se generan cantidades significativas de CO₂ durante la descarbonatación de la harina cruda (que contiene CaCO₃) para convertirla en cal (CaO). Durante la producción de clínker de cemento Portland se emiten unas 0,9 toneladas de CO₂ por tonelada de clínker de cemento Portland debido a la calcinación de las materias primas y a la combustión de combustible en el horno rotatorio.
- 30

- El uso de combustibles alternativos, en particular combustibles renovables, en el quemador del horno rotatorio puede reducir las cantidades de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la descarbonatación de las harinas brutas sigue produciendo cantidades importantes de CO₂ que se emiten a la atmósfera.
- 35

- Se ha propuesto utilizar procedimientos de captura y secuestro de carbono para reducir o evitar la emisión a la atmósfera de CO₂ procedente de procedimientos industriales. Tales procedimientos comprenden la captura de CO₂ de los gases de combustión para su almacenamiento o para su uso en otras aplicaciones industriales. Sin embargo, estos procedimientos requieren la separación del CO₂ de los gases de combustión, por lo que las plantas de separación implican elevados gastos de capital y de explotación.
- 40

Por lo tanto, la presente invención tiene por objeto reducir aún más la huella de CO₂ de una fábrica de cemento de una manera más eficiente.

Para resolver estos objetivos, un primer aspecto de la invención proporciona un procedimiento de producción de un material cementante, que comprende las etapas de:

- 45 - proporcionar una materia prima,
- calentar la materia prima a una temperatura de 100-120 °C, dicho calentamiento comprende al menos las siguientes etapas:
- una primera de calentamiento que comprende calentar la materia prima a una primera temperatura en intercambio térmico con un fluido intercambiador de calor que circula por un primer bucle de circulación,
- 50 - una segunda etapa de calentamiento que consiste en calentar la materia prima a una segunda temperatura en intercambio térmico con un fluido intercambiador de calor que circula por un segundo circuito de circulación, siendo la segunda temperatura superior a la primera,

- calcinar la materia prima calentada en un calcinador calentado, eléctricamente al menos parcialmente, para obtener un material calcinado,
- enfriar el material calcinado a una temperatura $< 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ para obtener el material cementante,

5 en el que el calor sensible extraído del material calcinado en dicho enfriamiento se utiliza como fuente de calor para calentar el fluido del intercambiador de calor que circula por el primer y/o segundo circuito de circulación.

El invento se basa en la idea de utilizar la energía eléctrica para descarbonizar la materia prima en lugar de quemar combustibles fósiles. El procedimiento de la presente invención permite un uso eficiente de la energía eléctrica para la producción de materiales cementantes, y reduce el uso de combustibles fósiles y otros combustibles alternativos que se utilizan tradicionalmente en la producción de material cementante. Esto permite reducir la huella de CO_2 de la producción de material cementante, ya que la electricidad tiene una huella de CO_2 menor que los combustibles fósiles o alternativos.

Dado que el calor necesario para descarbonizar la materia prima se genera, al menos parcialmente, mediante el uso de energía eléctrica en el calcinador, puede reducirse o eliminarse la combustión de combustibles, como los fósiles, en el dispositivo de calcinación.

15 La etapa de calcinación comprende preferiblemente el calentamiento de la materia prima a una temperatura de 650 a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el mantenimiento de esta temperatura durante un período de tiempo suficiente para calcinar la materia prima.

Otra ventaja de la invención es que el gas de escape del calcinador tiene un contenido de CO_2 aumentado. Por ejemplo, si no se quema ningún combustible y la materia prima consiste principalmente en piedra caliza, el gas de escape es prácticamente CO_2 puro, de modo que el procedimiento funciona sin necesidad de separar el CO_2 de los gases de combustión. El gas de escape rico en CO_2 extraído del calcinador calentado eléctricamente al menos parcialmente, tras una etapa opcional de concentración de CO_2 , puede utilizarse directamente en una unidad de tratamiento o secuestro de CO_2 .

25 El CO_2 extraído del calcinador puede procesarse de varias maneras. Puede utilizarse como materia prima para la producción de combustible sintético o componentes plásticos, o puede secuestrarse. Puede almacenarse de diferentes maneras, como, por ejemplo, en formas minerales estables de carbonato. El procedimiento respectivo se conoce como "secuestro de carbono por carbonatación mineral". El procedimiento consiste en hacer reaccionar dióxido de carbono con un material sólido carbonatable, dicho material comprende óxidos metálicos, en particular óxido de magnesio (MgO) u óxido de calcio (CaO), para formar carbonatos estables.

30 Alternativamente, también es posible convertir el CO_2 en un combustible sintético añadiendo H_2 . El combustible sintético puede utilizarse de muchas maneras, por ejemplo, como combustible alternativo para el quemador del segundo reactor térmico. De este modo, se consigue una disminución adicional de la huella de CO_2 del procedimiento de producción de clínker. Alternativamente, el combustible sintético puede utilizarse como combustible para otras industrias, por ejemplo, como combustible renovable para la aviación.

35 El CO_2 o el gas de escape rico en CO_2 producido en el calcinador tiene una temperatura de aproximadamente 650 a $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$, de modo que su energía térmica puede reciclarse antes de seguir tratando el CO_2 . A este respecto, una realización preferida con la condición de que el CO_2 extraído del calcinador se haga pasar por un intercambiador de calor, en el cual un fluido o un medio gaseoso se calienta por intercambio de calor con el CO_2 .

40 El calor sensible del CO_2 o del gas de escape rico en CO_2 también puede utilizarse en la primer y/o segunda etapa de calentamiento o en una etapa de calentamiento adicional para precalentar la materia prima antes de introducirla en el calcinador.

Según la invención, la materia prima se precalienta en dos etapas antes de entrar en el calcinador calentado eléctricamente al menos parcialmente y el material calcinado se enfría en una o más etapas, por ejemplo dos. La ventaja de tener dos intercambiadores de calor interconectados es poder calentar o enfriar los materiales en un amplio intervalo de temperaturas. Esto es especialmente importante en el caso de la calefacción, ya que el calentamiento a través de un intercambiador de calor necesitaría una gran cantidad de calor transferido para alcanzar los intervalos de temperatura deseados. Una cantidad de calor tan elevada tendría un efecto perjudicial en los componentes del intercambiador de calor: la vida útil de los componentes de acero se reduciría debido al esfuerzo mecánico combinado del transporte de material sólido de tipo rocoso y a las altas temperaturas.

Preferiblemente, la primer etapa de calentamiento se lleva a cabo para calentar la materia prima a una primera temperatura de 50 - $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la segunda etapa de calentamiento se lleva a cabo para calentar la materia prima a una segunda temperatura de 100 - $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

55 El calentamiento de la materia prima también puede realizarse en más de dos etapas de calentamiento, como por ejemplo en tres etapas de calentamiento.

Además, la invención prevé una transferencia de energía entre las etapas de calentamiento y la(s) etapa(s) de enfriamiento por medio de un fluido intercambiador de calor. De este modo, el calor puede recuperarse del material calcinado en al menos una etapa de enfriamiento y utilizarse en las etapas de calentamiento para precalentar la materia prima, con el fin de aumentar la eficiencia energética del procedimiento.

5 Las etapas de calentamiento pueden llevarse a cabo en intercambiadores de calor separados o en secciones de intercambiador de calor dispuestas consecutivamente de una única unidad de intercambiador de calor. En cualquier caso, cada etapa de calentamiento utiliza su propio bucle de circulación de fluido intercambiador de calor. Esto excluye las realizaciones en las que los flujos de fluido intercambiador de calor utilizados en las etapas de calentamiento individuales están dispuestos de forma serial.

10 El primero y el segundo, y opcionalmente el tercer bucle de circulación, pueden conectarse en paralelo a un conducto de alimentación común y a un conducto de retorno común para transportar el fluido intercambiador de calor entre el intercambiador o intercambiadores de calor utilizados para precalentar la materia prima y el intercambiador o intercambiadores de calor utilizados para enfriar el material calcinado.

15 Según la invención, el calor sensible eliminado del material calcinado en la primera y/o segunda etapa de enfriamiento se utiliza como fuente de calor para calentar el fluido intercambiador que circula por al menos uno de los circuitos de circulación. Se entiende que el uso del calor sensible como fuente de calor abarca tanto el uso directo como el indirecto como fuente de calor. Por lo tanto, esto no requiere un intercambio de calor directo entre el material calcinado y el fluido intercambiador de calor que circula por los bucles de circulación. También puede concebirse un uso indirecto del calor sensible, por ejemplo, utilizando medios de intercambio o transporte de energía interpuestos entre la materia prima calcinada y el fluido intercambiador de calor que circula por los bucles de circulación.

20 Según una realización preferida, se prevé un uso directo del calor sensible del material calcinado como fuente de calor, en el que la primera y/o segunda etapa de enfriamiento comprende poner el fluido intercambiador de calor de al menos uno de los bucles de circulación en una relación de intercambio de calor con el material calcinado, mientras se calienta el fluido intercambiador de calor.

25 Para aumentar la energía térmica proporcionada a la primera y/o segunda etapa de calentamiento por el fluido intercambiador de calor que circula por los bucles de circulación, la temperatura de dicho fluido intercambiador de calor puede elevarse mediante un calentamiento adicional. Para ello, el procedimiento de la invención puede llevarse a cabo preferiblemente de modo que el fluido del intercambiador de calor que ha sido calentado por transferencia de energía desde la primera y/o segunda etapa de enfriamiento se caliente antes de ser utilizado para proporcionar energía térmica a la primera y/o segunda etapa de calentamiento. Por ejemplo, un gas de escape que se extrae del calcinador puede entrar en una relación de intercambio de calor con el fluido del intercambiador de calor, mientras que el gas de escape se enfría.

30 Calentar el calcinador, al menos parcialmente, mediante energía eléctrica significa que la energía térmica necesaria para el tratamiento térmico se obtiene transformando la energía eléctrica en energía térmica. Pueden aplicarse diversas formas de conversión de la energía eléctrica, como el calentamiento por resistencia eléctrica, el calentamiento por microondas, el calentamiento por inducción, el calentamiento por ultrasonidos y el calentamiento por antorcha de plasma. En una realización preferida, el calcinador se calienta únicamente mediante energía eléctrica.

35 La transferencia de calor a la materia prima puede realizarse por conducción térmica (estableciendo contacto de la materia prima con una superficie de calentamiento), convección (utilizando un gas calentado para transferir el calor a la materia prima) o radiación (por ejemplo, utilizando una antorcha de plasma) o cualquier combinación de estos procedimientos de transferencia de calor.

40 Varios tipos de reactores térmicos pueden ser adecuados para calcinar la materia prima mediante el uso de energía eléctrica. El calcinador puede ser un horno rotatorio equipado opcionalmente con elementos de elevación y transporte, o un reactor con un tornillo giratorio o elementos de transporte en su interior, o un reactor flash o un reactor de lecho fluidizado o un reactor de tipo transportador de placas o un reactor de eje vertical.

En realizaciones preferidas, el calcinador será un calcinador rotatorio, un reactor de tipo transportador de placas o un reactor de eje vertical.

45 Según una realización preferida, las etapas de calentamiento se llevan a cabo de forma continua en lugar de por lotes. En particular, la materia prima se transporta continuamente desde una entrada de materia prima hasta una salida de materia prima del intercambiador de calor respectivo mientras se calienta. A este respecto, una realización preferida con la condición de que la primera etapa de calentamiento comprenda transportar la materia prima a través de un primer intercambiador de calor y calentar la materia prima en dicho primer intercambiador de calor y/o que la segunda etapa de calentamiento comprenda transportar la materia prima a través de un segundo intercambiador de calor y calentar la materia prima en dicho segundo intercambiador de calor.

En particular, pueden proporcionarse medios de transporte para transportar la materia prima desde la entrada de materia prima hasta la salida de materia prima del primer o segundo intercambiador de calor mientras se calienta, a fin de lograr una transferencia de energía eficiente a la materia prima.

El primer y/o segundo intercambiador de calor pueden estar configurados para proporcionar un calentamiento indirecto de la materia prima. Por ejemplo, se calienta un medio sólido de transferencia de calor mediante energía eléctrica, que se pone en contacto con la materia prima para transferirle energía térmica por conducción térmica.

Preferiblemente, el primer y/o segundo intercambiador de calor comprende al menos un elemento calefactor de contacto que está dispuesto para estar en contacto de intercambio de calor con la materia prima mientras ésta se transporta desde la entrada hasta la salida, en el que al menos dicho elemento calefactor de contacto está configurado para calentarse mediante energía eléctrica.

Según una realización preferida, la materia prima se transporta a través del primer y/o segundo intercambiador de calor mediante un transportador de tornillo mientras se calienta. Un transportador de tornillo se caracteriza por un contacto directo entre la materia prima y el medio de transporte, es decir, el tornillo transportador del transportador de tornillo, en el que se proporciona una gran superficie para transferir calor a la materia prima.

Se entiende por transportador de tornillo un mecanismo que utiliza una pala de tornillo helicoidal giratoria, el tornillo transportador, dispuesto dentro de un tubo, para desplazar el crudo a lo largo del eje de rotación del tornillo desde una entrada hasta una salida del transportador.

Preferiblemente, un tornillo transportador del transportador de tornillo está configurado como un elemento calefactor que se calienta mediante energía eléctrica, por ejemplo, mediante calentamiento por resistencia.

En particular, puede utilizarse un transportador de tornillo calentado eléctricamente como el descrito en el documento WO 2019/228696.

El primer y/o segundo intercambiador de calor pueden calentarse mediante energía eléctrica, además de utilizar el calor sensible del fluido intercambiador de calor que circula por el primer y segundo bucles de circulación. Alternativamente, el primer y/o segundo intercambiador de calor pueden funcionar sin calentamiento eléctrico.

Con el fin de lograr una transferencia de energía eficiente entre el fluido intercambiador de calor que circula en los bucles de circulación primero y segundo, una realización preferida establece que la materia prima se transporta por medio de un transportador de tornillo y se calienta conduciendo el fluido intercambiador de calor a través de un tornillo transportador del transportador de tornillo y/o a través de una camisa que rodea el tornillo transportador.

La entrada de energía adicional en el primer y/o segundo intercambiador de calor también puede lograrse mediante la combustión de un combustible renovable y/o mediante la combustión de hidrógeno. Por "combustible renovable" se entienden los combustibles procedentes de fuentes renovables o producidos a partir de recursos renovables, como los biocombustibles (por ejemplo, aceite vegetal, biomasa y biodiésel). Esto contrasta con los combustibles no renovables como el gas natural, el GLP (propano), el petróleo y otros combustibles fósiles.

En cuanto a la primera y/o segunda etapa de enfriamiento para enfriar el material calcinado, una realización preferida con la condición de que el enfriamiento se lleve a cabo de manera continua en lugar de por lotes. En particular, la materia prima se transporta continuamente desde una entrada de materia prima hasta una salida de materia prima del intercambiador de calor respectivo mientras se enfría. A este respecto, una realización preferida con la condición de que la primera etapa de enfriamiento comprenda transportar la materia prima a través de un tercer intercambiador de calor y enfriar el material calcinado en dicho tercer intercambiador de calor y/o en la que la segunda etapa de enfriamiento comprenda transportar la materia prima a través de un cuarto intercambiador de calor y enfriar el material calcinado en dicho cuarto intercambiador de calor.

Preferiblemente, el material calcinado se transporta mediante un tornillo transportador y se enfría conduciendo el fluido intercambiador de calor a través de un tornillo transportador del transportador de tornillo y/o a través de una camisa que rodea el tornillo transportador.

En el primer, segundo, tercer y/o cuarto intercambiador de calor, el fluido intercambiador de calor puede utilizarse en flujo contracorriente o en flujo paralelo con la materia prima. Preferiblemente, en el primer y/o segundo intercambiador de calor, el fluido intercambiador de calor se utiliza en flujo paralelo con la materia prima. Preferiblemente, en el tercer y/o cuarto intercambiador de calor, el fluido intercambiador de calor se utiliza en flujo contracorriente con la materia prima.

En el procedimiento de la invención pueden utilizarse diferentes tipos de materias primas. Preferiblemente, la materia prima se selecciona de fuentes geogénicas o antropogénicas, incluyendo arcilla, yeso, litio, residuos de demolición de construcciones, lodos y piedra caliza.

La materia prima puede suministrarse en forma sólida, seca o como lodo. En el caso de un material sólido seco, puede tratarse previamente mediante procedimientos mecánicos que incluyen la trituración o molienda y la homogeneización para producir una harina cruda. En caso de que la materia prima sea un lodo con una cantidad relativamente alta de agua, el lodo puede pretratarse adicionalmente para eliminar el exceso de agua. El calor residual del primer o segundo intercambiador de calor puede utilizarse, por ejemplo, para evaporar este exceso de agua.

Según un segundo aspecto, la invención se refiere a una planta para llevar a cabo un procedimiento según el primer aspecto de la invención, que comprende:

- un primer intercambiador de calor para llevar a cabo una primera etapa de calentamiento, estando el primer intercambiador de calor en intercambio térmico con un fluido intercambiador de calor que circula por un primer bucle de circulación,
- un segundo intercambiador de calor para llevar a cabo una segunda etapa de calentamiento, estando el segundo intercambiador de calor en intercambio térmico con un fluido intercambiador de calor que circula por un segundo bucle de circulación,
- un calcinador calentado eléctricamente, al menos parcialmente, para calcinar la materia prima calentada con el fin de obtener un material calcinado,
- un tercer intercambiador de calor para llevar a cabo una primera etapa de enfriamiento,
- un cuarto intercambiador de calor para llevar a cabo una segunda etapa de enfriamiento,

en la que el tercer y/o cuarto intercambiador de calor está dispuesto en una relación de intercambio de calor con el fluido intercambiador de calor que circula por el primer y/o segundo circuito de circulación, de modo que el calor sensible extraído del material calcinado en la primera y/o segunda etapa de enfriamiento se utiliza como fuente de calor para calentar el fluido intercambiador de calor que circula por el primer y/o segundo circuito de circulación.

Preferiblemente, al menos uno de los intercambiadores de calor primero y segundo y al menos uno de los intercambiadores de calor tercero y cuarto es un transportador de tornillo que comprende una carcasa cilíndrica y un tornillo transportador dispuesto para girar dentro de la carcasa cilíndrica, en el que el tornillo transportador y/o la carcasa comprenden superficies intercambiadoras de calor dispuestas para transferir calor entre la materia prima o el material calcinado, respectivamente, y el fluido intercambiador de calor.

La invención se describirá ahora con más detalle haciendo referencia a las figuras adjuntas. La Fig. 1 es una ilustración esquemática de una primera realización de una planta para producir un material cementante.

La instalación representada en la Fig. 1 consta de un primer intercambiador de calor 2, al que se alimenta la materia prima 1, un segundo intercambiador de calor 3, un intercambiador de calor adicional 4, un calcinador 5, un tercer intercambiador de calor 6 y un cuarto intercambiador de calor 7, del que se extrae el material cementante enfriado 8.

En el primer intercambiador de calor 2, la materia prima 1 se calienta a una temperatura de, por ejemplo, 50-80 °C. La materia prima parcialmente calentada se retira del primer intercambiador de calor 2 y se introduce en el segundo intercambiador de calor 3, donde se calienta a una temperatura de, por ejemplo, 80-100 °C. La materia prima parcialmente calentada se retira del segundo intercambiador de calor 3 y se introduce en el intercambiador de calor adicional 4, donde se calienta a una temperatura de, por ejemplo, 100-120 °C. Cada uno de los intercambiadores de calor 2, 3 y 4 puede diseñarse como un transportador de tornillo calentado. El número y el tamaño de los intercambiadores de calor dependen de la capacidad y la humedad de la materia prima y pueden variar.

Como resultado de las etapas de calentamiento, la materia prima se seca, generándose vapor de agua, que se extrae de los intercambiadores de calor 2,3,4 a través de una línea de extracción de vapor 9 respectiva. Opcionalmente, el vapor puede introducirse en un sistema de recuperación de calor, compuesto por un filtro 10 y un intercambiador de calor 11, en el que el vapor de agua se condensa por intercambio de calor con un medio intercambiador de calor y se extrae el condensado 12.

El material que se ha calcinado en el calcinador 5 se enfría en el tercer intercambiador de calor 6 hasta, por ejemplo, 290 °C, en el que el tercer intercambiador de calor puede estar diseñado como un tornillo de enfriamiento accionado por aceite térmico. En una segunda etapa de enfriamiento, el material calcinado se enfría a, por ejemplo, <150 °C mediante el cuarto intercambiador de calor 7, que puede estar configurado como un tornillo de enfriamiento. Este último tornillo de enfriamiento puede funcionar con agua. La segunda etapa de enfriamiento funciona preferiblemente como un circuito cerrado de agua, utilizando una torre de enfriamiento adiabática 13 para reducir la temperatura en el circuito de agua.

El calor se transfiere desde la primera etapa de enfriamiento a las tres etapas de calentamiento en un circuito cerrado a través de un medio de transferencia de calor, como el aceite térmico. En este caso, se proporciona un primer bucle de circulación 14 para el fluido intercambiador de calor, que transfiere calor entre el tercer intercambiador de calor 6 y el primer intercambiador de calor 2. Se proporciona un segundo bucle de circulación 15 para el fluido del intercambiador de calor, que transfiere calor entre el tercer intercambiador de calor 6 y el segundo intercambiador de calor 3. Se proporciona un tercer bucle de circulación 16 para el fluido del intercambiador de calor, que transfiere calor entre el tercer intercambiador de calor 6 y el intercambiador de calor adicional 4. Los bucles de circulación 14,15,16 comparten un conducto de alimentación común 17 y un conducto de retorno común 18. Cada uno de los bucles de circulación 14,15,16 comprende un conducto de derivación 19.

Se puede proporcionar un calentador adicional 20 en el circuito de aceite térmico para calentar inicialmente el sistema a una temperatura de funcionamiento deseada. El calentador 20 permanece caliente en caso de breves interrupciones de la producción. El calentador 20 también puede utilizar fuentes de calor residual de una planta de producción de clínker conectada.