

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 912 120**

51 Int. Cl.:

C04B 2/10 (2006.01)
B01J 6/00 (2006.01)
C01F 5/06 (2006.01)
C01F 11/04 (2006.01)
B82Y 30/00 (2011.01)
B82Y 40/00 (2011.01)
C01B 13/18 (2006.01)
C04B 7/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.10.2017** **PCT/AU2017/051190**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.05.2018** **WO18076073**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.10.2017** **E 17865236 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2022** **EP 3532444**

54 Título: **Un calcinador instantáneo**

30 Prioridad:

31.10.2016 AU 2016904444

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.05.2022

73 Titular/es:

CALIX LTD (100.0%)
Level 1 9 Bridge Street
Pymble, NSW 2073, AU

72 Inventor/es:

SCEATS, MARK;
HODGSON, PHILIP;
VINCENT, ADAM;
THOMSEN, SIMON;
GILL, MATTHEW y
RENNIE, DANIEL

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ POVEDA, Sara

ES 2 912 120 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

Un calcinador instantáneo

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se relaciona con un método y un sistema de reactor para producir materiales en polvo nanoactivos.

10 ANTECEDENTES

Ha habido desarrollos significativos en las aplicaciones de nanomateriales para una amplia gama de aplicaciones en medicina, agricultura, acuicultura, tratamiento de agua, catalizadores y soportes de catalizadores, cementos, materiales para baterías y materiales para impresión 3D. Sin embargo, los nanomateriales son intrínsecamente difíciles de manejar tales como polvos de aerogel, costosos de producir y tienden a agregarse en grupos aleatorios. La síntesis de nanomateriales usualmente ocurre en soluciones tales como líquidos o geles, y generalmente bajo condiciones ambientales.

Un enfoque alternativo de preparación de materiales nanoactivos ha sido descrito por Asientos (AU2014374829) y Sceats y Hodgson (PCT/AU2015/050764) en el que los materiales se producen a partir de magnesita. Sin embargo, cuando se aplica a otros materiales, hay una serie de problemas asociados con la sinterización del producto o las partículas pueden sufrir cambios de propiedades físicas o químicas inadvertidamente para minerales particulares. El documento US 2014/348727 A divulga un sistema y método para la calcinación de minerales, que comprende un segmento de reactor dispuesto verticalmente configurado para impartir fuerzas horizontales a las partículas que pasan verticalmente a través del segmento de reactor; una unidad inyectora en la parte superior del segmento del reactor, mediante la cual los gránulos de la materia prima se mueven a través del segmento del reactor en un flujo granular bajo al menos uno de un grupo que consiste en una fuerza de vapor, una fuerza gravitatoria y una fuerza centrífuga; una unidad de intercambio de calor del reactor para proporcionar calor a los gránulos que fluyen dentro del segmento del reactor a través de la transferencia de calor a través de la pared del segmento del reactor; una o más entradas formadas en el segmento del reactor para introducir un gas sobrecalentado para crear las condiciones de un sistema multifásico gas-sólido; y una o más aberturas de escape en el segmento de la retorta de modo que los productos gaseosos se laven parcialmente desde el segmento del reactor bajo el flujo del gas sobrecalentado desde las entradas hasta las aberturas de escape. El documento US 8,603,222 B2 divulga un sistema para el procesamiento del ciclo de calcinación/carbonatación, que comprende un reactor calcinador para recibir gránulos de absorbente mineral parcialmente carbonatado; una estructura de intercambio de calor para transferir calor a través de una pared del reactor calcinador a un flujo granular de gránulos de sorbente para facilitar una reacción de calcinación de los gránulos de sorbente para regenerar los gránulos de sorbente; una unidad de extracción de gas para extraer del calcinador gas-CO₂ de la reacción de calcinación; un reactor carbonatador para recibir los gránulos de sorbente regenerados y un gas de combustión frío, de manera que los gránulos de sorbente regenerados se carbonizan parcialmente mientras se depura el gas de combustión y los gránulos de sorbente parcialmente carbonatados y los gases de combustión depurados salen del reactor de carbonatador como materiales calientes respectivos; y una unidad ascendente para hacer circular los gránulos de sorbente parcialmente carbonatados desde el reactor carbonatador hasta el reactor calcinador.

Con respecto a la segmentación, Sceats, el documento PCT/AU2015/000684 describió los beneficios de usar un reactor de dos etapas para procesar dolomita donde hay dos pasos de calcinación. Sin embargo, cuando se aplica a otros materiales, existen varios problemas asociados con la sinterización del producto y la generación de un material deseado con las propiedades deseadas.

La sinterización dentro de una partícula es el proceso en el que las partículas reducen sus beneficiosas superficies nanocristalinas de alta energía mediante el crecimiento de granos y poros más grandes para reemplazar los granos y poros pequeños. Las superficies de mayor energía asociadas con las estructuras más pequeñas son las primeras en sinterizarse. Este es conceptualmente un proceso de reacción de poro, donde la difusión del material tiene lugar entre dos poros pequeños para formar un poro más grande con un área de superficie más baja y una energía más baja. Por lo tanto, las escalas de longitud de los materiales también aumentan y el material pierde sus propiedades a nanoescala. También debe suprimirse la sinterización entre partículas para formar partículas más grandes por estrechamiento. Por lo tanto, cualquier sinterización conduce a una reducción del área superficial y se reducen las propiedades deseadas a nanoescala. La sinterización también elimina los defectos cristalinos de alta energía dentro de las partículas, tal como los defectos de oxígeno y, de nuevo, pueden perderse atributos deseables. En suma, la sinterización de las partículas no es deseable. Ejemplos de dichos materiales procesados en horno son la formación de clinker para cemento y la producción de magnesio metálico mediante la reducción de óxido de magnesio por ferrosilicio. Por lo tanto, existe la necesidad de un medio para producir materiales nanoactivos juntos en un solo reactor, de modo que mejoren la rata de reacción partícula-partícula en las etapas posteriores de piroprocesamiento.

Otros dispositivos conocidos pueden incluir hornos rotatorios u otros hornos, en los que las partículas reaccionan más rápidamente entre sí en virtud de la gran superficie de contacto entre las partículas de la mezcla cuando se forman en un lecho o en un lecho móvil, tal como un horno rotatorio a mayor temperatura en un segundo piroproceso. El producto

final generalmente no tendrá propiedades nanoactivas, o al menos propiedades nanoactivas uniformes o deseadas, debido a la sinterización en este tipo de horno/reactor.

Además, la energía requerida para sinterizar un polvo es sustancialmente mayor ya que el tiempo de residencia y/o la temperatura dentro de un precalentador y/o calcinador deben ser mayores. Por lo tanto, el volumen total de producto producible puede estar limitado por estas temperaturas y/o tiempos de residencia dentro del reactor.

El objetivo de esta invención es proporcionar una mejora sobre los procesos de producción de calcinación conocidos para producir materiales que pueden exhibir propiedades nanoactivas.

Cualquier discusión sobre el estado de la técnica a lo largo de la memoria descriptiva de ninguna manera debe considerarse como una admisión de que dicho estado de la técnica es ampliamente conocido o forma parte del conocimiento general común en el campo.

RESUMEN

PROBLEMAS PARA RESOLVER

Puede ser ventajoso proporcionar un sistema y/o método para producir un material en polvo nanoactivo de una manera más eficiente.

Puede ser ventajoso proporcionar un sistema y/o método para producir un material en polvo nanoactivo en el que se minimice sustancialmente la sinterización.

Puede ser ventajoso proporcionar un sistema y/o método para producir un material en polvo nanoactivo con propiedades nanoactivas mejoradas.

Puede ser ventajoso proporcionar un sistema que pueda producir un material en polvo nanoactivo con un área superficial relativamente grande.

Puede ser una ventaja proporcionar un sistema para producir un material en polvo nanoactivo que pueda ampliarse y/o que conserve un alto nivel de eficiencia en relación con otros reactores conocidos.

Puede ser un objeto de la invención mejorar el rendimiento de los sistemas de reactores conocidos para producir materiales nanoactivos.

La invención descrita en el presente documento puede abordar al menos uno de los problemas antes mencionados de composición del gas, perfil de temperatura, consumo de energía y aumento de escala de los reactores de calcinación como un medio para producir materiales en polvo nanoactivos y, potencialmente, la gama de aplicaciones a las que se puede aplicar el reactor.

MEDIOS PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

La presente invención proporciona un método para producir un material en polvo nanoactivo en un sistema de reactor, como se reivindica en la reivindicación 1. La presente invención también proporciona un sistema de reactor para producir un material en polvo nanoactivo, como se reivindica en la reivindicación 18.

Preferiblemente, el tiempo de residencia del polvo en una cualquiera de las etapas es inferior a 30 segundos por etapa para minimizar la sinterización del polvo inyectado, de modo que se puedan conservar las propiedades deseadas del material nanoactivo. Preferiblemente, la corriente de gas de alta pureza liberada desde al menos la etapa del reactor calcinador calentado externamente y/o la etapa del reactor de procesamiento posterior sube hacia arriba a través de la etapa del precalentador calentado externamente y hacia la etapa del inyector de polvo, de modo que el calor de la corriente de gas de alta pureza precalienta el polvo que cae. Preferiblemente, el calor externo generado por el calcinador calentado externamente puede generarse en un horno que utiliza sistemas de combustión sin llama, incluyendo los quemadores regenerativos. Preferiblemente, el calor externo para el calcinador calentado externamente puede generarse a partir de elementos de energía eléctrica preferiblemente incrustados en materiales refractarios. Preferiblemente, las etapas del reactor están separadas y pueden adaptarse para expandirse y/o contraerse durante el uso. Preferiblemente, las etapas se agregan en una matriz, en la que la matriz se puede empaquetar de forma compacta y tiene una huella generalmente rectangular. Preferiblemente, la composición de la corriente de gas dentro de la etapa de procesamiento posterior se puede cambiar de la etapa del calcinador calentado externamente para suprimir la reacción inversa, de modo que la reacción pueda continuar hasta completarse consumiendo el calor almacenado en las partículas, reduciendo así la energía externa requerida para ser suministrada a las otras secciones.

Preferiblemente, los materiales precursores son compuestos con constituyentes volátiles que pueden estar en el intervalo de 30-60 % del volumen atómico, de manera que los constituyentes volátiles pueden extraerse durante la calcinación de los materiales. Preferiblemente, la volatilidad puede surgir de la descomposición de carbonatos,

hidróxidos, hidratos, ligandos de amoníaco, nitratos y ligandos orgánicos en general. Pueden ser minerales, productos naturales o materiales sintéticos, y mezclas de los mismos. Preferiblemente, la calcinación del material precursor puede tener al menos una propiedad elegida del grupo de; una porosidad en el intervalo de 0,3 a 0,6, un área superficial relativamente alta en relación con el diámetro del micrómetro del material, una estructura cristalina, una estructura amorfa y una distribución de tamaño de partícula precursora en el intervalo de 0,4 a 100 micrómetros de diámetro. Preferiblemente, se puede introducir un segundo material en polvo en la etapa del reactor de procesamiento posterior que es un material nanoactivo producido en un proceso separado. Preferiblemente, el grado de calcinación del producto puede ser superior al 90 % y el tamaño promedio de partícula del producto en polvo caliente puede ser menor que 10 %, y el área superficial puede ser superior a 120 m²/g. Preferiblemente, al menos un material nanoactivo puede seleccionarse del grupo de: MgO, CaO, MgO.CaCO₃, MgO.CaO, AgO, ZnO, CuO, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, TiO₂, SiO₂, Al₂O₃, MnO, Mn₂O₄ y otros óxidos metálicos adecuados, incluyendo mezclas de los mismos, y también pueden incluir sulfatos metálicos, fosfatos metálicos y otros materiales no volátiles. Preferiblemente, la calcinación del material precursor puede producir una región local en la que la porosidad local, el área superficial y la escala de longitud de la estructura en la región son tales que la región de la partícula puede ser una región nanoactiva en virtud de estas propiedades. Preferiblemente, el material molido comprende una mezcla de dos o más polvos diferentes, en la que al menos uno de dichos polvos puede ser un material nanoactivo calcinado, siendo inyectados los dos o más polvos diferentes en la etapa del reactor de procesamiento posterior, donde los polvos de entrada reaccionan para formar un producto mediante una reacción mejorada mediante el uso de nanomateriales altamente reactivos formados en la etapa del reactor del calcinador calentado externamente. Preferiblemente, el sistema del reactor se puede adaptar para producir clínker de cemento a partir de una mezcla de piedra caliza, sílice y arcillas, en el que el reactor calcinador puede producir cal nanoactiva y metaarcilla nanoactiva, y el procesamiento en la etapa del reactor de posprocesamiento produce clínker de cemento con la inclusión de calor adicional para elevar la temperatura y efectuar reacciones de clínker entre materiales nanoactivos. Preferiblemente, el magnesio metálico se puede producir a partir de una mezcla de dolomita y un reductor, tal como ferrosilicio, en el que la etapa del reactor calcinador produce dolima nanoactiva, y el procesamiento en la etapa del reactor de posprocesamiento produce vapor de magnesio metálico con la inclusión de calor adicional para elevar la temperatura del material para inducir la reacción de reducción.

Preferiblemente, el método puede producir materiales de batería a partir de materiales de óxido, sulfato o fosfato de metal multivalente, o mezclas de tales materiales, y con iones conductores tales como litio, sodio o magnesio de modo que estos iones conductores se intercalan uniformemente en los materiales. Preferiblemente, al menos uno de los materiales se puede calcinar a partir de un precursor para generar carbono en los poros del material para proporcionar también una vía para la conducción electrónica a través del material.

En el contexto de la presente invención, las palabras "comprende", "que comprende" y similares deben interpretarse en su sentido inclusivo, en oposición a su sentido exclusivo, es decir, en el sentido de "que incluye, pero no se limita a".

La invención debe interpretarse con referencia a al menos uno de los problemas técnicos descritos o relacionados con la técnica anterior. La presente invención tiene como objetivo resolver o mejorar al menos uno de los problemas técnicos y esto puede dar como resultado uno o más efectos ventajosos como se define en esta memoria descriptiva y se describe en detalle con referencia a las realizaciones preferidas de la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las realizaciones de la invención se comprenderán mejor y serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción escrita, solo a modo de ejemplo, y junto con los dibujos, en los que:

La Figura 1 ilustra un esquema de una realización de un sistema de la presente divulgación con múltiples segmentos;

La Figura 2 ilustra otra realización del sistema de la presente divulgación en la que se introduce un gas de procesamiento en un segmento del separador de polvo de gas;

La Figura 3 ilustra un esquema de una realización de un sistema de la presente divulgación con múltiples segmentos, en el que un segmento es un precalentador reactivo; y

La Figura 4 ilustra un esquema de una realización de un sistema de la presente divulgación con múltiples segmentos, en el que un segmento es un precalentador.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Ahora se describirán realizaciones preferidas de la invención con referencia a los dibujos adjuntos y ejemplos no limitantes.

Esta invención puede estar dirigida a un mayor desarrollo del proceso de calcinación instantánea descrito por Sceats y Horley (WO2007045048) para minerales, y Sceats (WO2015/ 077818) para aplicación particular a la producción de cemento Portland y Sceats PCT/AU2015/000684.

En una realización, la producción de materiales nanoactivos se produce mediante el calentamiento indirecto de un flujo arrastrado de partículas precursoras en una corriente de gas, en el que las partículas fluyen hacia abajo por gravedad. La longitud del reactor suele ser de 10 a 50 metros y la sección transversal del reactor es normalmente de manera aproximada 1 a 5 metros cuadrados para garantizar que las partículas que fluyen hacia abajo a través del reactor se calienten uniformemente mediante la transferencia de calor por radiación y convección desde las paredes del reactor. La carga de masa de las partículas es tal que las partículas caen hacia abajo a través del reactor por gravedad y son arrastradas con el gas bajo las fuerzas de fricción del flujo de gas hacia abajo. El diámetro del reactor es suficiente para que la velocidad del gas sea del orden de 0,5 a 2 m/s, de manera que el tiempo de residencia de las partículas arrastradas en el reactor es del orden de 10 a 50 segundos. Esto puede permitir que la reacción de calcinación avance hasta casi completarse en esa escala de tiempo, y el área superficial del reactor es suficiente para entregar la energía para la calcinación desde el horno externo a través de las paredes del reactor. El tiempo de reacción deseado es un equilibrio del tiempo de reacción requerido determinado por la cinética de reacción y la transferencia de calor para producir los materiales nanoactivos, con la cinética de sinterización en la atmósfera de gas que destruye los atributos deseables del producto calcinado. Además, se apreciará que el tamaño de partícula de la entrada del precursor en el reactor dictará el tiempo de residencia y/o la velocidad deseados dentro del reactor para permitir que se produzca un compuesto deseado que muestre las propiedades nanoactivas deseadas, tal como una porosidad o reactividad deseada.

El flujo arrastrado conduce a una estrecha distribución del grado de calcinación, la porosidad y el área superficial de las partículas calcinadas. Además, la invención permite el control de la composición del gas en el reactor en comparación con los reactores calcinadores tradicionales donde las partículas se mezclan con gases de combustión calientes, de modo que las partículas se pueden preparar en un estado de oxidación deseado, lo que permite producir nuevos materiales nanoactivos para aplicaciones específicas que requieren dicho control, tales como materiales de electrodos de batería y catalizadores, donde el estado de oxidación del producto es fundamental para el rendimiento. Preferiblemente, el sistema de la presente invención mejora el control de las composiciones de gas en el reactor. Por ejemplo, el presente sistema permite la separación de gases corrosivos generados a bajas temperaturas para que no corroan los materiales de la pared del reactor, que comúnmente es acero, a alta temperatura y no se conviertan en constituyentes de la corriente de gas calcinado para que el procesamiento posterior del gas pueda ser minimizado. El sistema también está preferiblemente adaptado para separar la oxidación y la reducción de los materiales calcinados para que se pueda suprimir la sinterización reactiva, donde el principio general es que las propiedades nanoactivas se degradan si el producto calcinado reacciona con el gas durante la etapa de calcinación a alta temperatura. Control de la cinética de sinterización, particularmente para aquellos materiales que están sujetos a catálisis de gases tal como el vapor y el CO₂ también puede ser logrado por el sistema, particularmente a través del control de temperatura y la entrada y extracción de gases.

Realizaciones adicionales del sistema pueden mejorar el control del perfil de temperatura de las paredes de acero del reactor y los riesgos asociados de corrosión, ensuciamiento y fluencia del acero. El perfil de temperatura normalmente determinará la transferencia de energía del reactor al polvo y al gas, y es importante optimizar el perfil de temperatura para equilibrar la cinética del proceso de calcinación que crea el material nanoactivo con la cinética de sinterización que destruye la nanoactividad. De esta forma, se puede minimizar la tensión sobre el reactor y, por lo tanto, se puede maximizar la vida útil del reactor.

Algunas realizaciones del sistema permiten costes de energía reducidos para procesar un precursor para fabricar un producto. Por ejemplo, se puede eliminar o minimizar la necesidad de utilizar gases, tales como vapor, para inyectar las partículas en el calcinador, de manera que se elimina la energía para calentar posteriormente estos gases en el reactor, o segmento del reactor. Como otro ejemplo, la optimización de los flujos de energía dentro del reactor, incluyendo la recuperación de energía de los gases de combustión (si se utilizan) y la recuperación de energía del gas y las corrientes de escape sólidas en el polvo también puede mejorar los costes operativos. Además, apagar el material calcinado también puede reducir la sinterización del producto. Puede ser muy deseable que la recuperación de energía se consiga dentro del reactor para que pueda reducirse el uso de costosos intercambiadores de calor auxiliares.

En otra realización más, el sistema es un sistema de reactor integrado con las características de la reivindicación 18, y además incluye una o más de las características opcionales descritas anteriormente, en las que la capacidad de procesamiento de la planta se puede aumentar de una manera que ofrece una economía de escala y mejorar la eficiencia de los procesos. Además, el sistema puede ser escalable para procesar mayores volúmenes de materiales manteniendo un nivel aceptable de eficiencia.

En algunas aplicaciones, el material procesado comprende una mezcla de partículas de diferentes compuestos que se procesan juntas para activar uno o más de los materiales de la mezcla y que luego se procesan posteriormente, generalmente a una temperatura más alta que la del calcinador, para formar los materiales compuestos deseados. La nanoactividad de los reactivos es tal que hay una velocidad de reacción mejorada en este piroproceso. Una ventaja de este proceso puede ser la eliminación de la necesidad de formar briquetas comprimidas de los materiales mezclados para promover los contactos entre partículas, como se hace a menudo en tales aplicaciones de piroprocesamiento. La rata de reacción mejorada condujo a un reactor de procesamiento posterior más simple y más eficiente energéticamente.

Los medios para resolver los problemas se consideran desde el aspecto de la segmentación de los procesos del reactor. Más generalmente, el enfoque consiste en segmentar el reactor en varias secciones, en las que cada

segmento tiene una función predeterminada, que proporciona los medios para un mejor control de los procesos del reactor. La segmentación del reactor puede permitir una serie de mejoras sobre los sistemas de reactores conocidos. La invención descrita en el presente documento se relaciona con un proceso en el que un reactor se segmenta en múltiples etapas, de modo que el perfil de temperatura, la composición del gas y los flujos másicos en cada etapa se pueden controlar para producir propiedades deseables adicionales para los materiales nanoactivos. En general, la invención contempla un flujo de proceso en el que las partículas pasan secuencialmente a través de los segmentos a medida que descienden por el reactor por gravedad. No se requiere la formación de un lecho fluidizado para generar un largo tiempo de residencia. Sin embargo, el sistema de la presente invención puede permitir un "contraflujo" de gases liberados desde la entrada de polvo al reactor, en el que los gases se elevan contra las partículas que caen del precursor parcialmente procesado.

El contraflujo se utiliza en la técnica conocida de los reactores de lecho fluidizado circulante (CFB) en los que una fracción de las partículas en un lecho fluidizado son arrastradas por los gases ascendentes, tal como los gases de combustión, que se inyectan en la base del lecho, y estas partículas se arrastran en el gas y se separan y recirculan al lecho. Sin embargo, el concepto de reactor se diferencia de los reactores CFB conocidos por el hecho de que no se inyectan gases en el gas del reactor para formar un "lecho", ni el tiempo de residencia de estos materiales es similar, ya que los reactores CFB comunes requieren tiempo de residencia de minutos a horas.

Una realización del sistema de reactor utiliza un flujo continuo, donde no es deseable cargar y descargar un lecho de partículas. Por el contrario, el reactor es preferiblemente un reactor segmentado, o un reactor Downer segmentado en el sentido de que el polvo medio fluye hacia abajo y el gas puede fluir hacia abajo en coflujo con las partículas o hacia arriba en contraflujo con las partículas.

Para esta invención, las etapas del reactor se mencionan en el presente documento por conveniencia para que estén en secuencia desde la parte superior hasta la base del reactor. La secuencia puede ser, por ejemplo: -a. segmento de inyector de polvo; b. precalentador calentado externamente y un segmento de reactor calcinador calentado externamente; c. segmento del reactor de posprocesamiento; y d. segmento eyector de polvo. Se apreciará que la secuencia puede tener etapas o segmentos intermedios y/o adicionales entre uno o más segmentos. Preferiblemente, el segmento b. recibe energía en forma de calor generado a partir de reacciones endotérmicas, en las que el calor se recibe a través de las paredes del reactor y/o las paredes del precalentador. El segmento de posprocesamiento puede incluir el ejemplo de un proceso de calcinación de múltiples pasos, tal proceso de calcinación de múltiples pasos se describe anteriormente por Sceats PCT/AU2015/000684. Esta secuencia se relaciona con los beneficios del proceso y del producto que surgen al separar físicamente uno o más de estos procesos en segmentos y optimizar el diseño de cada segmento para una aplicación. Como tal, cada segmento lleva a cabo una parte de un proceso en un entorno relativamente más controlado para generar un material de salida más homogéneo.

El rendimiento de un reactor, tal como un reactor calcinador instantáneo, puede mejorarse con el gas de proceso fluyendo en coflujo o en contracorriente en relación con las partículas que fluyen hacia abajo. Esto se puede lograr usando condiciones de flujo diluido. Sin estar limitado por la teoría, es evidente que las condiciones de contraflujo se logran cuando las partículas fluyen a través del reactor en un flujo no homogéneo, principalmente en un flujo de partículas que se concentra cerca de las paredes del reactor, donde la velocidad del gas es baja. La caída de presión, y por lo tanto la disipación de energía, de la fricción gas-partículas se minimiza al separar el flujo de partículas de esta manera. En términos generales, hay una pequeña fracción de partículas que se arrastran en el gas ascendente cerca del centro del tubo y un mayor flujo descendente de partículas cerca de la pared.

Manteniendo la velocidad superficial del gas a cualquier altura en el reactor o del orden de 1 m/s o menos, la fracción de polvo capturado en el flujo ascendente del gas puede mantenerse por debajo del 10 %, y preferiblemente por debajo del 5 %. Esta condición deseable puede cumplirse en condiciones donde el gas pueda levantar el 100 % de las partículas en un flujo de partículas homogéneo. Desde otro punto de vista, la baja velocidad del gas y el flujo de sólidos significa que se cumplen las condiciones básicas para la obstrucción, de manera que no se producirá dicho flujo uniforme. La alta turbulencia asociada con la ruptura del flujo uniforme no solo reduce la captura de polvo por parte del gas, sino que también conduce a una transferencia de calor eficiente entre las partículas y el gas y, sorprendentemente, entre las paredes del reactor y la mezcla de gas/partículas. El aumento de la circulación del polvo en contracorriente en comparación con el coflujo significa que el tiempo de residencia del polvo en dichos segmentos del reactor aumenta, y las condiciones deseadas de calcinación y sinterización se pueden lograr al reducir la rata de transferencia de calor de las paredes del reactor para compensar. Más generalmente, los atributos deseables del reactor para producir materiales nanoactivos se pueden mantener independientemente de si el flujo de gas es coflujo o contraflujo con el flujo descendente promedio de las partículas.

El primer aspecto de la invención se refiere al segmento de inyector de polvo. El reactor Sceats-Horley considera transportar los sólidos desde la base de una tolva en vapor (para facilitar la cinética de calcinación) y luego inyectar ese vapor y partículas al reactor a alta velocidad para que las partículas se centrifuguen contra la pared y extraigan calor de las paredes, que se calientan externamente mediante un gas de calentamiento ascendente en una sección del horno. Después de que el gas sale del reactor, el vapor puede condensarse para generar una corriente de CO₂ suficientemente pura que cumpla con las especificaciones de captura y almacenamiento de carbono (CCS) y preferiblemente con las especificaciones de CO₂ de calidad médica y alimentaria. En este aspecto, el polvo se inyecta

directamente en el reactor, en lugar de arrastrarlo en un gas. El polvo puede transportarse neumáticamente a la parte superior del reactor por aire o por un elevador mecánico y mantenerse en una tolva de alimentación. Cualquier aire en el polvo se puede eliminar lavando el polvo antes de la inyección. La inyección en el calcinador se puede realizar, por ejemplo, usando válvulas rotatorias o alimentadores de tornillo, y es preferiblemente en forma de penacho, o un número de penachos usando tubos de inyección que tienen un diámetro estrecho comparado con el diámetro del tubo del reactor.

Se ha determinado que el penacho se propaga lentamente por la aspiración del gas de calcinación al penacho, y que expande el penacho hasta que los sólidos se distribuyen razonablemente uniformemente a través de la sección transversal del reactor. En el caso de la configuración del reactor de contraflujo, el penacho empuja el gas ascendente hacia las paredes. Se ha observado que (a) el arrastre de sólidos en el gas ascendente es sorprendentemente bajo, por lo que el sistema de inyección actúa como un filtro de polvo primario, lo cual es beneficioso; (b) la mezcla eficiente de gas y sólidos proporciona un beneficioso intercambio de calor a contracorriente entre el gas ascendente caliente y los sólidos ambientales entrantes. Por lo tanto, la innovación del inyector para la configuración del reactor de contraflujo, empujando el penacho el gas ascendente hacia las paredes. Se ha observado que (a) el arrastre de sólidos en el gas ascendente es sorprendentemente bajo, por lo que el sistema de inyección actúa como un filtro de polvo primario, lo cual es beneficioso; (b) la mezcla eficiente de gas y sólidos proporciona un beneficioso intercambio de calor a contracorriente entre el gas ascendente caliente y los sólidos ambientales entrantes. Por lo tanto, la innovación del inyector para contraflujo es un intercambiador de calor interno, lo que es beneficioso para reducir el consumo de energía. La evolución del penacho se ve afectada por los flujos de gas no verticales, como puede ocurrir a partir de la geometría del escape de gas y la compensación y el ángulo de la pluma (si corresponde). Esta sensibilidad permite la optimización de la sección del inyector. Con respecto a la eficiencia del intercambio de calor, el balance general de energía del reactor reconoce que hay calor en el polvo de sólidos que sale de la base del reactor, y en los gases de combustión del horno externo (si se usa combustión), y de otros equipos auxiliares. Es deseable que esta energía sea extraída y utilizada para precalentar externamente los sólidos, utilizando intercambiadores de calor sólido-sólido e intercambiadores de calor gas-sólido. Esta recuperación es una técnica conocida. La recuperación de calor más efectiva, desde la perspectiva de la exergía, es dividir el flujo del polvo ambiental en dos corrientes e inyectar una corriente en el penacho a temperatura ambiente, como se describió anteriormente, donde el polvo en esta corriente es calentado por el gas ascendente de los segmentos del calcinador debajo. La segunda corriente se precalienta externamente a partir de las fuentes de calor antes mencionadas y se inyecta como una corriente de sólidos calientes en el reactor en un punto del reactor donde la temperatura de la primera corriente inyectada está a la misma temperatura que la segunda corriente de polvo precalentada externamente.

La evolución del penacho se puede controlar aún más mediante el uso de cadenas colgantes o placas que controlan el flujo del gas ascendente hacia los penachos. Es decir, los dispositivos que se utilizan para formar el penacho pueden incluir cadenas de tubos de acero perforados que facilitan la succión de gas caliente en la corriente de partículas que cae. A través de tales medios, la evolución del penacho de sólidos en el reactor puede optimizarse aún más para la transferencia de calor y el arrastre de partículas.

La inyección de la corriente precalentada externamente se puede realizar utilizando una placa de salpicadura para inyectar el polvo a través de una tubería al interior del reactor a través de las paredes. Más preferiblemente, la inyección se puede realizar a través de una tubería interior concéntrica aislada térmicamente que se extiende más profundamente en el reactor y que mantiene la simetría del reactor. La relación de masa óptima de los sólidos ambientales y los sólidos precalentados se puede deducir de la técnica conocida de los intercambiadores de calor. Como guía, la relación se refiere a la relación entre los flujos máxicos de gas de calcinación y los sólidos del producto. Para los minerales de carbonato típicos, esta relación es aproximadamente 1:2.

Con el uso de sistemas de combustión sin llama en el horno, que recuperan una cantidad significativa de calor del sistema de combustión, o los sistemas de calefacción eléctrica descritos a continuación, y el sistema de contraflujo descrito anteriormente para enfriar la corriente de gas de calcinación, el precalentamiento externo se requiere principalmente para transferir calor del producto sólido a la segunda corriente de sólidos descrita anteriormente. Los intercambiadores de calor sólido-sólido son una técnica conocida, y los métodos incluyen el uso de fluidos de transferencia de calor, tales como aceites, sales inorgánicas fundidas y tuberías de calor de metal alcalino fundido. Alternativamente, un intercambiador de calor puede usar un par de intercambiadores de calor de gas y sólidos para transferir el calor entre las dos corrientes de sólidos. Una realización particular es el caso de la producción de cemento. En una planta de cemento típica, esto se logra utilizando una pila de ciclones de suspensión, y en las plantas modernas se utilizan hasta seis etapas de este tipo. Un enfoque alternativo es usar un intercambiador de calor de contraflujo en el que se usa aire como medio de transferencia de calor, calentándose el aire en el circuito del enfriador de clinker, y se usa un inyector de penacho precalentado descrito anteriormente para precalentar externamente esta segunda corriente de sólidos. El uso de bajas velocidades de aire proporciona los mismos beneficios descritos para el sistema de inyección de sólidos, a saber, un contraflujo de aire caliente ascendente y un flujo descendente de polvo frío que intercambian energía sin una absorción significativa de sólidos. Este sistema, basado en la exergía, tiene una eficiencia de transferencia de calor eficiente más deseable que una pila ciclónica de suspensión.

Otra ventaja del modo de contraflujo del primer aspecto está asociada con la eliminación de gases corrosivos y humedad que pueden liberarse durante el precalentamiento de los sólidos. Dichos gases se expulsan por la parte superior del reactor y no penetran más profundamente en el reactor donde las temperaturas más altas de las paredes

del reactor y los sólidos son tales que pueden corroer el acero u otros materiales. Ejemplos de esto serían la eliminación de agua, carbono, azufre, nitrógeno y cloruros, que a menudo se encuentran en los materiales como impurezas, y especialmente impurezas orgánicas volátiles. Se observa que la temperatura de las paredes del reactor se puede cambiar para impedir o eliminar la deposición de volátiles condensables en las paredes del reactor en la región del reactor. A ese respecto, puede ser deseable purgar una porción de las partículas que se arrastran en el gas frío, de modo que el área superficial de estas partículas sea mayor que el área superficial del reactor sobre la que, de lo contrario, podría producirse la deposición. Tal corriente de partículas limpiaría el gas de los materiales condensables. Lo que es más importante, ni los gases volátiles calientes ni los sólidos condensables estarían en contacto con las superficies calentadas del reactor, por lo que se suprime la corrosión.

El segundo aspecto de la invención se relaciona con el precalentador calentado externamente y con el segmento del reactor calcinador. La temperatura de las corrientes de sólidos mixtos descritas anteriormente puede estar por debajo de la temperatura de reacción de los materiales, por lo que primero se requiere un calentamiento externo para calentar los sólidos que caen hasta la temperatura a la que comienza la reacción. Este puede ser el segmento del precalentador calentado externamente. Por debajo de esto, el calor del segmento del calcinador calentado externamente se usa para convertir los reactivos en productos. En caso de que el calor sea proporcionado por la combustión, la distribución de temperatura deseable para ambos segmentos puede ser proporcionada por una serie de quemadores. En el reactor de Sceats-Horley, esto se describió como proporcionado por una serie de cámaras de combustión de gas natural en las que los gases calientes se inyectan tangencialmente a alta velocidad en la región del horno externo que rodea el reactor de acero, de modo que el acero está protegido de los puntos calientes de la llama empotrando las cámaras de combustión en el refractario. Los gases ascienden a través de la región del horno y la temperatura en cualquier punto a lo largo de las paredes del reactor depende de la configuración de las cámaras de combustión que se encuentran debajo. Los gases calientes de la región inferior del calcinador ascienden en el espacio anular del horno y la energía se usa para precalentar externamente los sólidos que caen, y los gases de escape calientes también se usan para precalentar el aire para las cámaras de combustión, y este aire caliente se distribuye a las cámaras de combustión. La mejora de este aspecto del diseño incluye:

(a) El uso de quemadores de combustión sin llama. Hay diseños regenerativos o recuperativos en los que la combustión es sin llama porque el aire precalentado eleva la temperatura del aire de tal manera que el gas de combustión, típicamente gas natural o gas de síntesis, ingresa al horno por encima de la temperatura de autoignición. Estos hornos suelen ser pequeños, en el intervalo de 100-500 kW, lo que permite que la mayoría, si no todo, el gas de combustión recircule dentro de la cámara de combustión para precalentar su aire. Estos sistemas tienen una eficiencia térmica muy alta y producen emisiones de NO_x y CO muy bajas. Las reacciones de combustión homogéneas ocurren dentro del horno, de modo que se eliminan los puntos calientes y esto minimiza las tensiones locales en el tubo del reactor de acero. Una serie de quemadores sin llama de este tipo permite que el perfil de temperatura de la pared se controle más fácilmente que un conjunto de quemadores convencionales. Los quemadores sin llama descritos en el presente documento incluyen quemadores regenerativos.

(b) El uso de elementos calefactores eléctricos. Los elementos desnudos, incluyendo los tubos radiantes, operan a altas temperaturas, del orden de 1.400 °C, tienen un efecto nocivo en el procesamiento de polvos para materiales nanoactivos porque la alta temperatura induce una sinterización nociva. Por lo tanto, es preferible que el calor radiante se transfiera a las partículas desde un área de superficie distribuida, tal como la de un tubo de reactor de acero descrito anteriormente, donde la temperatura de la pared es lo más baja posible. Se ha encontrado que el enfoque preferido es enterrar los elementos en una placa refractaria, típicamente rectangular y usar un ensamblaje de tales placas para formar el "tubo" del reactor, de modo que la temperatura de la superficie de las placas ensambladas, cuando se calientan por electricidad la potencia es del orden de 950-1.050 °C o menos, que es lo suficientemente baja como para limitar la sinterización durante la calcinación y proporcionar calor radiante al polvo. En esta realización, las paredes del reactor pueden ser materiales "refractarios" de alta conductividad térmica, o aceros, o aceros recubiertos.

Se observa que dicho diseño permite la construcción de un reactor segmentado a partir de placas refractarias, que puede ampliarse desde una estructura cuadrada a una estructura rectangular ampliada que puede procesar polvos inyectados desde múltiples sistemas inyectores de penachos descritos anteriormente. La sustitución de un tubo de acero monolítico por un conjunto de placas de este tipo reduce las tensiones térmicas en el reactor, que de lo contrario surgen de la expansión y la fluencia del metal. Tal diseño de reactor puede tener una eficiencia térmica muy alta que compense el costo generalmente más alto de la energía eléctrica que los gases de combustión. Con energía renovable, los materiales nanoactivos producidos a partir de un reactor de este tipo pueden tener una huella de emisiones casi nula.

Las temperaturas del proceso para la calcinación pueden ser tan altas como 950 °C y las temperaturas de las cámaras de combustión (si se usan) pueden ser variables, pero típicamente son aproximadamente de 1.200-1.600 °C según lo controlen los flujos de gas y los materiales. Se han desarrollado aceros ferríticos para su uso en cámaras de combustión y elementos eléctricos y es deseable que estos aceros se utilicen para minimizar el riesgo de degradación del acero. Un enfoque para reducir el riesgo para el segmento del calcinador es segmentar el acero del reactor para que no se acumulen tensiones en el acero. Por ejemplo, un diseño del reactor puede tener una altura de 20 a 35 metros para adaptarse al tiempo de residencia de las condiciones de reacción. Tal estructura se puede fabricar como un solo reactor, como un tubo de esa longitud, y alrededor de 1-3 m² de sección transversal. A altas temperaturas, dicho tubo debe ser autoportante y, si se hace desde la parte superior, el espesor del acero a cualquier altura debe

ser suficiente para soportar el acero caliente que se encuentra debajo. En general, el espesor del acero se puede reducir, desde 1-6 mm en la base hasta más de 14 mm en la parte superior. Estos son aceros costosos de fabricar y soldar. Este problema puede resolverse segmentando el acero en segmentos, preferiblemente de 4 a 6 m de altura, y soportando estos segmentos en plataformas refractarias. Este enfoque permite reducir la acumulación de tensión debido a la gran altura, permite que se utilice un acero relativamente delgado en la construcción de este segmento y reduce la sensibilidad de la estructura a las variaciones de presión que hacen que una estructura más alta se arrugue, y reduce la sensibilidad al aumento de las tensiones debido a la acumulación de incrustaciones.

Otra realización del calcinador calentado externamente es el caso en el que existen múltiples procesos de calcinación que ocurren, secuencialmente, a diferentes temperaturas. En tales casos, este segmento se puede segmentar aún más para que las reacciones ocurran secuencialmente en diferentes segmentos, y los gases de calcinación de cada proceso se pueden separar usando una tolva de sólidos intermedios y una derivación de gas, lo que asegura que los gases calientes del segmento inferior se no se mezcla con los gases de los segmentos de temperatura más baja de arriba. Un ejemplo es el procesamiento de dolomita que el CO₂ de los pares de iones de carbonato de magnesio se liberan a aproximadamente 780 C, y el CO₂ de los pares de iones de carbonato de calcio se liberan a aproximadamente 900 C. Otro ejemplo es el procesamiento de biomasa en el que los componentes volátiles se liberan como aceites volátiles o Syngas a temperaturas más bajas, y el material carbonizado puede reaccionar, por ejemplo, con gas de hidrógeno inyectado a temperaturas más altas. La secuencia de la temperatura de diferentes procesos, con diferentes gases de proceso, es una técnica conocida, el reactor descrito en el presente documento se puede configurar para controlar la secuencia de las reacciones. Es posible aislar los segmentos para que la presión sea variable en cada segmento, mediante el uso de compartimientos de enclusa, para que las reacciones se produzcan a diferentes presiones y temperaturas. Un ejemplo de tal secuencia es el caso donde las reacciones en los segmentos son reacciones inversas, tal como la adsorción y regeneración de gases por un sorbente, como es el caso de la captura de CO₂ u oxígeno mediante procesos de bucle absorbente. Por ejemplo, la reacción reversible de la cal con el CO₂ se puede utilizar para extraer CO₂, y la reacción reversible del cobre con el oxígeno se puede utilizar para extraer oxígeno. Estos procesos son una técnica conocida, y el diseño del reactor descrito en el presente documento permite que las reacciones tengan lugar continuamente mientras el sorbente fluye hacia abajo del reactor a través de una etapa de proceso de sorción endotérmica y una etapa de proceso de desorción exotérmica.

Otra realización más de la invención puede estar dirigida a un segmento de reactor de posprocesamiento.

En una realización, el sistema puede proporcionar un medio de extinción rápida de las partículas después del segmento del Reactor Calcinador. Esto es necesario cuando el objetivo es producir un producto nanoactivo con un área de superficie alta. La sinterización es un proceso que generalmente está controlado por temperatura y solo depende débilmente de la transferencia de calor, y a menudo es catalizado por vapor y CO₂ para muchos productos de óxido de metal. Una realización es utilizar un segmento en el que las paredes del reactor se enfrían, por ejemplo, por fluido. Sin embargo, una realización más preferida es usar un segmento de Reactor de Procesamiento Posterior descrito en el presente documento. Considérese las partículas en la base del Reactor Calcinador. Las partículas están a una temperatura cercana o superior a la temperatura de equilibrio de la reacción de calcinación a la presión parcial de los gases de proceso en el reactor Calcinador. Como se describió anteriormente, por lo general no se introducen gases que no sean de proceso, o se introducen muy pocos, en el segmento del reactor del Calcinador. Si ese reactor está diseñado para operar a 1 bar de presión, entonces los gases del proceso estarán a aproximadamente 1 bar de presión a través del reactor (despreciando las caídas de presión por fricción). Por ejemplo, en la calcinación de piedra caliza donde el CO₂ es el gas de proceso, el producto se agotará a una temperatura superior a aproximadamente 900 °C, siendo la temperatura de equilibrio para la producción de cal a partir de piedra caliza de 1 bar de CO₂. Una temperatura de escape típica de los sólidos es de 930-980 °C porque la partícula puede absorber calor más rápido de lo que puede reaccionar. El método descrito en el presente documento para enfriar la corriente de gas para minimizar la sinterización es (a) para asegurar que la reacción de calcinación se complete solo parcialmente en el escape mediante el control de las temperaturas de las paredes del Reactor Calcinador, y (b) para introducir una pequeña cantidad de un gas neutro, tal como aire o vapor, en la base del Reactor de Procesamiento Posterior en el que se inyectan las partículas calcinadas de forma incompleta desde la base del segmento del reactor Calcinador. Debido a que las partículas que ingresan al reactor de Procesamiento Posterior experimentan un cambio de la presión del gas del proceso a una presión parcial más baja, el proceso de calcinación se reiniciará para impulsar la reacción hasta su finalización, y el calor de las partículas será consumido por el reacción y la temperatura de las partículas caerá. La velocidad de la reacción y el enfriamiento se verá atenuada por la acumulación del gas de proceso en el Reactor de Procesamiento Posterior, y esto se controla mediante la cantidad de gas neutro inyectado en la base del reactor. Sin tener en cuenta la mezcla por turbulencia y los detalles de la cinética, este Reactor de Procesamiento Posterior funciona idealmente como un reactor de contraflujo en el que la corriente de gas ascendente acumula el gas de proceso a medida que las partículas caen a través de esta corriente de gas y reaccionan y se enfrían. La composición del gas en la parte superior de este segmento del reactor es una mezcla de gas neutro y gas de proceso. En una realización, este gas puede salir del reactor por separado de la corriente de gas de calcinación y, en otra realización, puede mezclarse con la corriente de gas de calcinación. Los sólidos enfriados se expulsan de la base del reactor. Los procesos de sinterización se activan térmicamente, y la caída de la temperatura, de aproximadamente 150-200°C, es suficiente para que la sinterización se enfríe rápidamente. El enfriamiento posterior del producto puede ocurrir por medios convencionales. El gas neutro seleccionado para este proceso es uno que preferiblemente no tiene efecto catalítico sobre la sinterización. Por ejemplo, se sabe que el vapor tiene un fuerte impacto en la sinterización de la cal y no es deseable si el objetivo es

maximizar la nanoactividad del producto. En tal ejemplo, se puede inyectar aire. La experiencia sugiere que el gas neutro a gas de calcinación residual debe ser aproximadamente 2-3 veces, en base molar.

Otro objeto para un segmento de Reactor de Procesamiento Posterior está en la producción de materiales para su uso en baterías o catalizadores, en los que se requiere controlar el estado de oxidación de un ion metálico para dar el rendimiento deseado. Este objeto se consigue añadiendo un gas a este segmento que puede reaccionar con el producto de la primera etapa para producir o mantener el estado de oxidación requerido. Por ejemplo, se pueden obtener estados de oxidación elevados añadiendo oxígeno o aire; los estados de oxidación intermedios se pueden mantener agregando CO₂ o vapor; y se pueden obtener estados de oxidación bajos añadiendo amoníaco, metano o hidrógeno. La elección del gas se selecciona utilizando las ecuaciones termodinámicas generalmente conocidas para la temperatura y presión del reactor dado. En ciertos ejemplos, el material deseado puede ser un estado metálico. En otros ejemplos, el gas puede contener moléculas orgánicas que se reducen a carbono dentro de los poros del producto de óxido, por ejemplo, en la producción de materiales de batería nanoactivos en los que los poros pueden proporcionar preferiblemente una ruta de conducción de electrones para carga rápida y descarga. Más generalmente, la ventaja de este proceso es modificar el proceso de producción del nanomaterial siguiendo el paso inicial en el Reactor de Calcinación en el que se forma inicialmente un material precursor nanoactivo. Ese precursor es generalmente poroso, con un área superficial alta, de modo que tales procesos de reacción de segunda etapa pueden tener lugar bajo condiciones controladas de composición del gas, presión y temperatura. Este procesamiento de un solo reactor reduce significativamente la complejidad y los costos, y el riesgo de sinterización, de usar múltiples reactores separados. Sin estar ligado a la teoría, dichos materiales nanoactivos mantienen su estructura mesoporosa deseable desarrollada durante el primer proceso de calcinación, y los procesos posteriores usan esa estructura para producir, in situ, un material químicamente uniforme.

Otro objetivo de un segmento de posprocesamiento es producir nuevos materiales que se forman mediante reacciones sólido-sólido de dos materiales nanoactivos. Se ha encontrado que las reacciones de piroprocesamiento entre partículas de diferentes materiales se potencian si una o más de las partículas es un material nanoactivo, y lo más preferiblemente si todos los materiales son materiales nanoactivos. Sin estar ligado a la teoría, parecería que las reacciones rápidas entre partículas se mejoran si las partículas tienen altas propiedades de mesoporos, presumiblemente porque los procesos más rápidos son aquellos en los que se forman los nuevos materiales.

Un ejemplo de realización es la fabricación de magnesio metálico en el proceso Pidgeon en el que la dolima nanoactiva, formada a partir de la calcinación instantánea de dolomita, se reduce con un reductor de estado sólido, tal como ferrosilicio, para producir vapor de magnesio, que se recoge como magnesio metálico. También es preferible que el reductor sea un material nanoactivo.

Otro ejemplo de realización es la fabricación de cemento Portland a partir de la reacción de cal nanoactiva con sílice y arcilla. Es preferible que la sílice y la arcilla también se produzcan como materiales nanoactivos. El segmento de procesamiento posterior en este ejemplo puede ser un horno rotatorio y, en el contexto del cemento de baja emisión, el horno rotatorio puede ser un horno eléctrico. Las reacciones endotérmicas que forman los materiales de cemento de silicato de calcio ocurren a temperaturas alrededor de 1.200-1.400 °C, que se obtienen fácilmente mediante elementos eléctricos. Como se describió anteriormente, el calor del enfriamiento del clínker se puede extraer por aire o transferencia de calor por fluidos para precalentar la harina cruda, o preferiblemente mediante la mezcla física del clínker y la harina cruda, y separándolos con base en el tamaño de las partículas.

Otro ejemplo de realización es la fabricación de materiales para baterías en los que se utiliza un proceso térmico para intercalar, por ejemplo, los iones conductores tales como el litio, el sodio o el magnesio en un estado nanoactivo de multioxidación de materiales tales como manganeso, vanadio, hierro, cobre, y similares, y mezclas de los mismos, producidos por la calcinación de precursores tales como sales de carbonato, nitrato y amoníaco, bajo atmósferas controladas de gas, como se describió anteriormente. También es preferible que los iones de litio, sodio o magnesio sean materiales de óxidos nanoactivos producidos, por ejemplo, por calcinación instantánea de precursores de hidróxido o carbonato.

Formas adicionales de la invención serán evidentes a partir de la descripción y los dibujos, y de las reivindicaciones.

La Figura 1 es un esquema de una realización del sistema de la presente invención. El sistema 100 comprende una entrada de material de alimentación en un molino 105. A continuación, el triturador muele el material 102 de alimentación al tamaño deseado y produce una alimentación 102' molida o "polvo". La alimentación 102' molida puede denominarse en el presente documento como un "precursor" 102'.

La Figura 1 es un esquema de una realización del sistema de la presente divulgación. El sistema 100 comprende una entrada de material de alimentación en un molino 105. A continuación, el triturador muele el material 102 de alimentación al tamaño deseado y produce una alimentación 102' molida o "polvo". La alimentación 102' molida puede denominarse en el presente documento como un "precursor" 102'. El precursor 102' puede luego introducirse en un precalentador 110 y/o un reactor 101. El precalentador 110 puede ser un segmento del sistema, aunque no es necesario que el precalentador esté dentro del reactor 101, o puede ser cualquier medio que permita el precalentamiento de una porción del material 102' de alimentación molida. Después de precalentar, el material molido se puede introducir en el reactor 101. Preferiblemente, el reactor 101 comprende una pluralidad de segmentos de reactor. Como se muestra en la Figura 1, el primer segmento del reactor puede ser un segmento 115 de calentamiento

indirecto en el que el material 102' de alimentación de entrada se calienta a una temperatura deseada. Preferiblemente, la temperatura deseada es menor que la temperatura de reacción de calcinación de la entrada de alimentación 102' al reactor 101. Después de calentar el material 102' de alimentación, se introduce en el precalentador 120 en el que se introduce una primera corriente de gas de procesamiento 122 en el precalentador 120. La primera corriente de gas de procesamiento puede iniciar una reacción para el material 102' de alimentación o puede ayudar a calentar la temperatura interna del precalentador 120. A continuación, la alimentación se introduce en el separador de gas en polvo 125 en el que el primer gas de entrada se extrae de la alimentación molida o "polvo". El primer gas usado se extrae como primera corriente 122' de gas usado. Preferiblemente, la primera corriente 122' de gas usado tiene generalmente la misma composición que la primera corriente 122 de gas, sin embargo, puede contener impurezas menores y/o tener una temperatura relativamente más baja. A continuación, el polvo pasa a un calcinador 130 (también denominado reactor 130 de calcinador) donde se calcina el polvo, al menos parcialmente. El calcinador 130 puede permitir que se introduzca una segunda corriente 132 de gas en el calcinador para ayudar con el proceso de calcinación. A continuación, el polvo al menos parcialmente calcinado se procesa en otro separador 135 de gas en polvo para eliminar el segundo gas 132 de entrada como una segunda corriente 132' de gas usada. El polvo al menos parcialmente calcinado luego se mueve a un segmento 140 de procesamiento posterior y una tercera corriente 142 de gas se introduce en el segmento 140 de procesamiento posterior. Luego, el polvo se refina aún más en el segmento de posprocesamiento en el que el tercer gas de procesamiento interactúa con el polvo procesado posteriormente. El polvo procesado posteriormente y el tercer gas 142 se separan luego en el separador 145 de gas en polvo. Después de la eliminación del tercer gas 142' usado, el polvo procesado se enfría 150. El enfriamiento puede ser a temperatura ambiente o puede ser un proceso de extinción para alterar rápidamente.

Tener un sistema segmentado tiene la ventaja de que los segmentos pueden intercambiarse, desactivarse o ajustarse para permitir que se produzca un producto deseado. Se apreciará que los segmentos pueden ser sellables, pueden estar separados por tolvas que inhiben la transferencia de gases entre segmentos, o temperaturas. Opcionalmente, los segmentos pueden tener una forma predefinida que puede dirigir la entrada de materiales precursores al sistema.

Al menos una propiedad nanoactiva puede incluir; un área de superficie específica relativamente alta, un tamaño de partícula relativamente pequeño que puede permitir la dispersión en un fluido portador con tamaños de partícula significativamente reducidos, o tener un volumen medio ponderado igual o inferior a $0,3 \mu\text{m}$. Preferiblemente, el material nanoactivo producido tiene la propiedad nanoactiva de tener un área superficial de $100 \text{ m}^2/\text{g}$, y más preferiblemente, es superior a $120 \text{ m}^2/\text{g}$. Se apreciará que una propiedad nanoactiva también puede incluir una nanoestructura u otra propiedad a escala nanométrica, tal como un área superficial elevada.

Haciendo referencia a la Figura 2, se ilustra otra realización del sistema 100. El sistema de la Figura 2 se diferencia en que el segundo gas 132 de procesamiento se inyecta en el separador de gas en polvo para pasar sobre el polvo calcinado en el separador 135 de gas en polvo. De esta forma, el gas que se inyecta estará en contacto con el polvo después de la calcinación y durante un tiempo relativamente más corto. Se apreciará que la segunda corriente 132 de gas inyectada puede tener una temperatura diferente con respecto al polvo calcinado. Por ejemplo, la segunda corriente de gas puede tener una temperatura más baja para extinguir parcialmente o reducir la temperatura del material calcinado para dificultar la calcinación y/o sinterización adicional del material. Además, la reducción de la temperatura puede apagar e impartir una estructura nanocristalina deseada o una estructura cristalina al polvo calcinado. Alternativamente, el gas puede tener una temperatura elevada de modo que tenga lugar una reacción deseada, preferiblemente para eliminar materiales volátiles residuales en el polvo calcinado.

Haciendo referencia a la Figura 3, se ilustra otra realización más del sistema 100 que está adaptado para recibir un precursor 102' fabricado a partir de un primer material 102 de alimentación y un segundo material 103 de alimentación. Los materiales 102, 103 de alimentación primero y segundo pueden ser relativamente inertes cuando se combinan, pero pueden reaccionar bajo presión y/o temperatura controladas. Los materiales 102, 103 de alimentación primero y segundo pueden triturarse y luego alimentarse al reactor y/o al precalentador. Opcionalmente, cada uno de los materiales 102, 103 de alimentación se muele por separado, de manera que un material de alimentación puede pasar al precalentador y el otro al reactor sin precalentamiento. Las proporciones del primer material 102 de alimentación y el segundo material 103 de alimentación pueden ser cualquier proporción deseada, dependiendo del producto en polvo que se desea fabricar.

El segmento 120 de precalentamiento puede ser reemplazado por un segmento 170 de precalentamiento reactivo, en el que el precursor 102' experimenta una reacción química. La reacción puede ser provocada por la presión, la temperatura, la introducción de un gas o un catalizador. La reacción puede unir partículas de las alimentaciones primera y segunda molidas que se usaron para formar el precursor 102'. Opcionalmente, la primera corriente de gas puede inyectarse en el precalentador de reactivos y/o en el separador de polvo de gas.

Después de calcinar total o parcialmente un precursor y separar la segunda corriente 132 de gas del polvo calcinado (precursor calcinado), se puede inyectar un polvo nanoactivo en el reactor 101. El polvo nanoactivo puede seleccionarse de entre; MgO , CaO , $\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3$, $\text{MgO} \cdot \text{CaO}$, AgO , ZnO , CuO , TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , Mn_3O_4 y más generalmente cualquier óxido metálico. Se apreciará que se puede inyectar cualquier otro polvo, catalizador o reactivo deseado en el reactor 101. La inyección del polvo nanoactivo puede provocar una reacción química entre el material precursor calcinado y el polvo nanoactivo. El polvo nanoactivo y el precursor calcinado pueden denominarse en el presente documento como un polvo mixto, independientemente de si el material nanoactivo y el precursor calcinado

experimentan una reacción química. El polvo mezclado luego se somete a una tercera corriente 142 de gas en un reactor 140 de procesamiento posterior. La tercera corriente 142' de gas usada también se puede extraer del reactor 140 de procesamiento posterior antes de que el polvo mixto procesado se expulse del reactor 101 y se enfríe ISO. Nuevamente, el enfriamiento puede ser un paso de procesamiento adicional, o se puede dejar que el producto se enfríe a temperatura ambiente. Después de enfriar, el producto puede transportarse y/o embolsarse. Nuevamente, el enfriamiento puede ser un paso de procesamiento adicional, o se puede dejar que el producto se enfríe a temperatura ambiente. Después de enfriar, el producto puede transportarse y/o embolsarse. Se apreciará que el reactor 145 de procesamiento posterior se puede reemplazar con un segmento de procesamiento pirotécnico (no mostrado).

Volviendo ahora a la Figura 4, se muestra otra realización del sistema 100. Similar a la Figura 3, el sistema puede aceptar al menos un precursor de material de alimentación múltiple. Sin embargo, en esta realización, el segmento precalentador de reactivo es un segmento 120 precalentador similar a las realizaciones ilustradas en las Figuras 1 y 2.

Aunque las Figuras 3 y 4 ilustran solo dos materiales de alimentación, se puede usar cualquier número de materiales de alimentación para formar el material precursor. Además, los materiales de alimentación se pueden moler a diferentes tamaños de micrómetros para reaccionar de manera diferente dentro del reactor.

Los pasos de procesamiento de la realización de la Figura 1 se basan en la premisa de que el material nanoactivo se producirá a partir de un único material de alimentación.

Los ejemplos de compuestos y materiales que pueden ser materiales nanoactivos, o pueden estar dotados con propiedades nanoactivas, son; MgO, CaO, MgO.CaCO₃, MgO.CaO, AgO, ZnO, CuO, TiO₂, SiO₂, Al₂O₃, Mn₃O₄ y más generalmente cualquier óxido metálico. Todos los compuestos y/o materiales antes mencionados pueden ser adecuados para ser procesados por el sistema. Los materiales 102 de alimentación para tales productos son hidratos metálicos, hidróxidos, carbonatos, aminas, nitratos, acetatos, oxalatos y, más generalmente, cualquier precursor que se descomponga cuando se calienta hasta el intervalo de 900 °C a 1.300 °C, pero más preferiblemente de manera aproximada 1.000 °C. La descomposición puede acelerarse por reacción, por ejemplo, con aire (gas altamente oxigenado) u otro gas de procesamiento de entrada para producir gases oxidados tales como CO₂, H₂O y NO₂. Para fabricar materiales nanoactivos, los precursores se eligen de modo que el volumen molecular de los átomos constituyentes que se eliminan por calcinación sea una fracción relativamente grande del volumen molecular del precursor. Así, la eliminación de estos átomos por la reacción de calcinación, sin colapso de la estructura formada por los átomos restantes (no volátiles), conduce a un material que tiene una alta porosidad. Preferiblemente, la alta porosidad está en el intervalo de 0,4 a 0,6. Un área superficial alta por peso puede estar en el intervalo de 60 m²/g a 150 m²/g, pero más preferiblemente está en el intervalo de 100 m²/g a 125 m²/g. La producción de un producto de alta porosidad se puede usar para reacciones químicas rápidas, ya que el área de superficie relativamente más grande del compuesto/mineral/producto puede permitir tiempos de reacción acelerados.

La formación de un área superficial alta del producto se basa en minimizar el tiempo donde se limita la difusión de estos átomos no volátiles. Preferiblemente, la porosidad está en el intervalo de 0,4-0,6. Por encima de la cantidad, el material puede fragmentarse durante la calcinación porque los átomos residuales no pueden reconfigurarse lo suficientemente rápido como para producir una estructura nanoactiva fuertemente unida. Esto no es necesariamente un impedimento, y es posible que los sistemas de manipulación de productos deban utilizarse para manipular grandes volúmenes de polvo con tamaños de partículas inferiores a aproximadamente 1 micrómetro. Generalmente, se observa una cantidad relativamente pequeña de tal decrepitación. El tiempo de residencia del polvo en el reactor calcinador debe ser lo suficientemente largo para permitir que el material forme una estructura ligada, pero lo suficientemente corto para que la difusión de los átomos no lleve al cierre de los pequeños poros, en la escala nanométrica, lo que eliminaría las nanoestructuras materiales que son responsables de la nanoactividad. Preferiblemente, dicho tiempo de residencia es inferior a 50 segundos. El proceso y el reactor que se describen a continuación establecen las condiciones necesarias para la producción de materiales nanoactivos.

Si bien los óxidos son ejemplos genéricos, el control de la atmósfera permite la formación de materiales nanoactivos compuestos. En una realización, el sistema permite el procesamiento de materiales precursores que contienen compuestos orgánicos, con bajo contenido de oxígeno, en gases inertes que pueden conducir a la producción de materiales nanoactivos compuestos de óxido de metal-carbono como ejemplo. En otra realización, los precursores se forman mezclando materiales nanoactivos y otros compuestos, separando el polvo reaccionado y volviendo a calcinar el producto en un nuevo material nanoactivo. Un ejemplo es la formación de adsorbentes con base en MgO activados con álcali para capturar CO₂. En otra aplicación de realización, la sílice amorfa nanoactiva se puede preparar a partir de cáscaras de arroz, hojas de maíz u otros subproductos agrícolas mediante procesamiento en aire, vapor u oxígeno o mezclas donde los componentes orgánicos se eliminan mediante gasificación y especies sin llama que son no accesible a la reacción de una solución. Los ejemplos pueden incluir minerales tales como arcillas, crandallita y glauconita. En tales ejemplos, se ha encontrado que el proceso de calcinación habilitado por el reactor descrito en el presente documento elimina las especies volátiles del agua de cristalización y los hidróxidos en la matriz mineral, creando nanoestructuras y nanoporos locales. Para la crandallita y la glauconita, estas nanorregiones permiten el acceso a los fertilizantes P y K deseados, respectivamente, mediante ácidos débiles en los suelos. El mineral permanece relativamente inerte y no se ve muy afectado por el proceso de calcinación, por lo que el cambio de

porosidad general del mineral es pequeño, pero los poros a escala nanométrica en las regiones nanoactivas del mineral proporcionan nanoactividad local cerca del nutriente.

El sistema de la Figura 1 y el sistema de reactor de la Figura 2 pueden usarse con el siguiente proceso y sistemas asociados. Paso 1; molienda del precursor para producir polvos que tienen tamaños en el intervalo de 1-100 micrómetros. Paso 2; opcionalmente, dividir la alimentación en una serie de corriente con diferentes proporciones. Paso 3 ; precalentar las corrientes de polvo por medios convencionales, tales como el calentamiento del calor residual en los productos producidos por el sistema y/o los gases de combustión. Preferiblemente, las proporciones de polvo a calentar se adaptan a los flujos másicos y la energía térmica del calor del producto y/o los gases de combustión para extraer el calor deseado. Etapa 4; inyección directa de las corrientes de polvo en el precalentador reactivo. Opcionalmente, la inyección directa es en diferentes puntos del precalentador de reactivo de manera que el calor que se va transferir al reactor sea lo más eficiente posible. Por ejemplo, el calor puede inyectarse transversalmente al flujo de partículas o puede inyectarse en una dirección generalmente similar al flujo de partículas en el reactor. Paso 5; precalentamiento instantáneo reactivo del polvo, opcionalmente con una corriente de gas inyectada, en el segmento precalentador de reactivo. Preferiblemente, la temperatura se eleva para eliminar las impurezas ya sea por volatilización y/o provocar una reacción con el gas inyectado; sin embargo, la temperatura se mantiene generalmente por debajo de la temperatura de calcinación, de modo que el proceso de reacción primaria pueda tener lugar en el corto tiempo de residencia del segmento del calcinador instantáneo. Preferiblemente, el tiempo de residencia es de 30 segundos o menos, y más preferiblemente de menos de 15 segundos. El calor para el precalentamiento y la reacción puede transferirse a través de las paredes del segmento, y el gas en el reactor se produce a partir de reacciones de calcinación, y el tiempo de residencia en el reactor suele ser inferior a 5 a 10 segundos para que el proceso de reacción primaria pueda tener lugar en el corto tiempo de residencia del segmento del calcinador instantáneo. Preferiblemente, el tiempo de residencia es de 30 segundos o menos, y más preferiblemente de menos de 15 segundos. El calor para el precalentamiento y la reacción puede transferirse a través de las paredes del segmento, y el gas en el reactor se produce a partir de reacciones de calcinación, y el tiempo de residencia en el reactor suele ser inferior a 5 a 10 segundos para que las reacciones de impurezas tengan suficiente tiempo para que ocurra, pero tiempo insuficiente para que la reacción de calcinación avance en un grado significativo, tal como por debajo del 5 % de calcinación en peso, o 5 % por área superficial, o 5 % por volumen. Paso 6; separación del polvo y los gases de proceso para permitir la inyección de polvo en el segmento del reactor calcinador para garantizar que los gases de proceso cargados de impurezas no se inyecten significativamente en el reactor calcinador. Tal separación puede lograrse haciendo fluir el gas hacia arriba contra los sólidos que caen. Paso 7; calcinación del polvo en el segmento del reactor calcinador, en el que el calor de la reacción puede transferirse a través de las paredes del segmento, y al gas del reactor que se produce a partir de la calcinación. Opcionalmente, el tiempo de residencia en el reactor es típicamente inferior a 50 segundos para que las partículas de polvo tengan tiempo suficiente para producirse, mientras que el tiempo es insuficiente para que las nanoestructuras se agoten o destruyan por sinterización. Preferiblemente, las superficies metálicas de la cámara de combustión o calentador eléctrico (para el precalentador) están protegidas de la acumulación de incrustaciones mediante placas de metal de sacrificio si los materiales tienen propensión a formar incrustaciones. Los elementos calefactores están configurados de modo que se pueda lograr una distribución de temperatura de pared deseable para producir el grado requerido de calcinación y la nanoactividad requerida. En determinados ejemplos, se puede introducir un gas de proceso en el segmento del Reactor Calcinador. Paso 8; separación de materiales nanoactivos no sinterizados de la corriente de gas de proceso puro o relativamente puro en un proceso de separación rápido mediante el cual inhibe el proceso de sinterización. Tal separación puede lograrse haciendo fluir el gas hacia arriba contra los sólidos que caen. Paso 9; Enfriamiento parcial instantáneo reactivo del polvo no sinterizado en el segmento del reactor de procesamiento posterior. Opcionalmente, el calor del polvo es consumido por la finalización de la reacción de calcinación, que es posible mediante el cambio de la presión parcial del gas de proceso de calcinación a través de la inyección de un gas de proceso neutro, de modo que la temperatura cae a un nivel en el que se suprime la sinterización. Paso 10; separación de los materiales nanoactivos parcialmente enfriados de la mezcla del gas de proceso y el gas neutro usando sistemas convencionales de separación de polvo. Paso 11; opcionalmente, el enfriamiento convencional del polvo nanoactivo a condiciones cercanas a las ambientales para envasarlo como un producto, incluyendo los pasos de precalentamiento descritos anteriormente.

En otra realización más, el polvo de alimentación se introduce en el sistema y se deja caer a través de al menos un segmento del reactor por gravedad y la fricción del gas, en un flujo vertical descendente a través de los elementos reactivos o composiciones. El tiempo de residencia en los segmentos se controla de manera que las reacciones y la sinterización de los materiales ingresan al sistema como materiales nanoactivos no contaminados. La inyección de una corriente de polvo en al menos un segmento utiliza preferiblemente la inyección directa de manera que se minimiza o elimina la inyección de gases externos, tales como gases externos del transporte neumático. El precalentamiento de las corrientes de polvo inyectado puede extraer energía (calor) de al menos uno de; los gases de combustión, los gases de proceso y las corrientes de productos de sólidos calientes (corrientes de polvo) utilizando procesos convencionales para optimizar la eficiencia térmica del proceso global. Esto puede incluir el uso de contracorriente de los sólidos que fluyen hacia abajo con corrientes de gas ascendentes. Los gases pueden inyectarse en diversos segmentos del reactor según se requiera para promover una reacción respectiva en un segmento respectivo. A continuación, los gases pueden expulsarse de esos segmentos con cualquier gas de proceso, de modo que haya una contaminación mínima por estos gases en el segmento situado relativamente por debajo del segmento que recibe el gas inyectable.

El calentamiento de los polvos en los segmentos reactivos puede realizarse calentando externamente una pared del segmento del reactor para garantizar que el gas de combustión no reaccione con los polvos ni agregue impurezas a las corrientes de gas de proceso. El medio preferible de calefacción es mediante el uso de una serie de sistemas de combustión sin llama y/o elementos de calefacción eléctrica que proporcionan calor radiante a través de paredes de metal o cerámica. De esta forma, el proceso para fabricar un producto con los segmentos del reactor puede separarse del gas de combustión, si se usa un gas de combustión. Estos sistemas de calefacción tienen una alta eficiencia térmica que puede reducir los costos operativos generales de los segmentos del sistema. Las superficies de estos elementos radiativos pueden protegerse de la acumulación de incrustaciones mediante el uso de recubrimiento o elementos de acero delgados no estructurales que resisten la acumulación. Los sistemas de separación pueden incluir al menos uno de; un contraflujo y un ciclón para mantener el flujo de polvo en línea.

Los sistemas de la Figura 3 y la Figura 4 son generalmente similares a los sistemas de las Figuras 1 y 2, sin embargo, los sistemas de las Figuras 3 y 4 pueden permitir el consumo de uno o más de los materiales nanoactivos en un pirosegmento de procesamiento (no mostrado). El consumo de uno o más materiales nanoactivos puede ocurrir en una reacción entre dos o más materiales de partículas diferentes en la alimentación molida y por una introducción opcional de una corriente de gas de procesamiento. La Figura 3 muestra dos de estos materiales, pero se pueden mezclar tantos materiales como sea necesario para el proceso de producción. Opcionalmente, se puede colocar un segmento de piroprocesamiento cerca de la parte superior del reactor de modo que los materiales de alimentación reaccionen antes de calcinarse en el segmento de calcinación.

El sistema de la Figura 3 y/o la Figura 4 puede permitir la fabricación de cemento Portland. Por ejemplo, la cal nanoactiva del segmento del calcinador puede reaccionar con silicatos y aluminatos en un reactor de alta temperatura, en el intervalo de aproximadamente 1.000 °C a 1.500 °C, pero más preferiblemente a aproximadamente 1.400 °C. El reactor de alta temperatura es un reactor de procesamiento posterior. La cal nanoactiva reacciona más rápido que la cal convencional, por lo que se puede reducir el tamaño y el coste de este segmento del reactor. Otra ventaja del uso de un precalentador de reactivo es que los compuestos de azufre, carbono, humedad y nitrógeno en la harina de cemento crudo se descomponen mediante la introducción de una pequeña corriente de aire en el reactor y se eliminan del reactor, de modo que el gas CO₂ producido en el segmento del reactor calcinador es muy puro. Esto es importante de manera que el coste de la captura de CO₂ en la producción de cemento, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, puede reducirse mediante la reducción de los procesos de limpieza de gases necesarios para producir CO₂ que pueden cumplir con los requisitos de secuestro.

El sistema también puede ser adecuado para la producción de magnesio metálico a partir de la reducción de MgO utilizando un reductor tal como ferrosilicio. En el proceso Pidgeon (proceso común para producir magnesio metálico), el MgO se produce por la calcinación de rocas de dolomita MgCO₃.CaCO₃ para producir dolima MgO+CaO, y este material se enfría, se muele y se mezcla con ferrosilicio molido para formar briquetas que luego se piroprocesan en un horno a temperaturas superiores a aproximadamente 1.200 °C para producir vapor de magnesio metálico y una escoria de silicato de calcio.

En esta realización, la dolomita y el ferrosilicio se muelen juntos y se procesan como se describe en un proceso de dos etapas utilizando un segmento precalentador para eliminar las impurezas y un segmento del calcinador para producir dolima como MgO.CaO y una corriente de gas puro de CO₂. La producción de una corriente limpia de CO₂ también es un beneficio para el secuestro y puede reducir la huella de carbono lo suficiente como para que el magnesio metálico liviano se pueda usar en aleaciones para vehículos. Un beneficio adicional es que el proceso de calcinación ocurre lo suficientemente rápido como para que el MgO y el CaO no hayan comenzado a separarse en fases en materiales de MgO y CaO, lo que ocurre como un proceso de sinterización reactiva debido a que MgO.CaO es termodinámicamente inestable. Otro beneficio adicional es que la etapa de procesamiento posterior reactivo permite la producción de dolima con muy poco carbonato residual. Cualquier carbonato residual que ingrese al segmento de procesamiento posterior conduce a la reoxidación del magnesio metálico por la reducción del CO₂ liberado para formar CO. Además, la gran superficie específica de la dolima promueve la reacción entre la dolima no sinterizada y el reductor para formar el vapor de Mg, de modo que no se requiere el paso de formar briquetas de dolima y el reductor, en comparación con el proceso Pidgeon convencional. El beneficio es un tiempo de piroprocesamiento más corto y el potencial de transformar el proceso de producción de un proceso por lotes a un proceso continuo.

Otro ejemplo es la producción de materiales para baterías en los que se utilizan materiales nanoactivos, preferiblemente de óxidos mixtos seleccionados para brindar durabilidad durante múltiples ciclos de carga y descarga, donde la nanoactividad crea las estructuras mesoporosas deseadas para facilitar el transporte rápido de iones y electricidad en el producto. En tales casos, el uso de procesamiento posterior de calcinación se puede usar para intercalar previamente los iones conductores, así como también para producir vías conductoras de electrones en carbones nanoactivos producidos al recalcar materiales en los que los precursores mesoporosos han sido dopados con materiales orgánicos que se gasifican parcialmente para producir vías de carbón conductor a través de los materiales calcinados. Por lo tanto, utilizando una combinación de procesos descritos en el presente documento, se puede producir un material de batería con rutas de carga y descarga rápidas tanto para iones como para electrones. Los reactores descritos anteriormente se pueden escalar en rendimiento mediante el uso de conjuntos de segmentos de reactores, o "módulos" que son un sistema de segmentos de reactores. Estos módulos pueden compartir diversos elementos descritos anteriormente, y la forma de los elementos del segmento debe seleccionarse de manera que el

módulo sea compacto y fácil de construir y fácil de ampliar la capacidad. Preferiblemente, dichos módulos deben construirse en una matriz cuadrada o rectangular. Los elementos de segmento pueden ser tubos, o preferiblemente placas soldadas en configuración cuadrada o rectangular para facilitar dicha expansión.

Los sistemas de generación de los productos mostrados en las Figuras 1 y 4 pueden estar configurados para la recuperación o captación de energía térmica mediante intercambiadores de calor. Los intercambiadores de calor se pueden usar para pasar energía térmica para precalentar los materiales y, por lo tanto, para reducir la cantidad de energía del calor indirecto requerida para alcanzar la temperatura deseada, no se ilustra un intercambiador de calor en las Figuras 1 a 4.

Si bien se han descrito realizaciones y aplicaciones particulares, será evidente para los expertos en la técnica que la presente invención se puede realizar en otras formas y aplicaciones específicas sin apartarse de la invención. Se entenderá además que cualquier referencia en el presente documento al estado de la técnica conocido no constituye, a menos que aparezca una indicación en contrario, una admisión de que dicho estado de la técnica es comúnmente conocido por los expertos en la técnica a la que se refiere la invención.

Los resultados recientes han establecido que existen ventajas en el uso de procesos de calcinación instantánea para fabricar dichos materiales nanoactivos, en comparación con los procesos de síntesis a baja temperatura que fabrican nanopartículas del mismo material con un área de superficie equivalente. Esto se relaciona con las morfologías de los cristallitos que forman la calcinación instantánea del producto con hojas de enfriamiento rápido expuso las superficies cristalinidad de muy alta energía que a menudo son la fuente de los estados defectuosos que son el origen de la nanoactividad deseable. Si bien los pequeños cristallitos de los nanomateriales también contendrán superficies de alta energía con base simplemente en el análisis dimensional, por el contrario, los materiales nanoactivos de enfriamiento rápido pueden contener las superficies de energía más alta y, en algunos casos, las estructuras se describen mejor como materiales amorfos. Por ejemplo, la superficie de los óxidos metálicos enfriados rápidamente puede contener peróxidos estables en las superficies de alta energía, originados por defectos de oxígeno en el esqueleto del nanomaterial resultantes de la calcinación instantánea y el enfriamiento rápido de los nanocristales formados. Puede haber una mayor concentración superficial de tales defectos que las nanopartículas equivalentes formadas a bajas temperaturas debido a que la energía de activación para producir estos defectos inhibe su formación a bajas temperaturas. La calcinación de nanopartículas puede fusionar las nanopartículas, pero puede no crear los defectos deseados y, en general, el calentamiento induce la sinterización que elimina dichos defectos. Los resultados sugieren que las propiedades deseadas se crean en la formación a alta temperatura de las nanoestructuras.

Es decir, las propiedades de un nanomaterial no solo están determinadas por la escala física nanométrica de los materiales, sino que también se diferencian en su actividad por los medios por los cuales se producen los materiales.

En otra realización más, el producto generado puede tener el recíproco del área superficial en m^2/m^3 y debe ser del orden de nanómetros para lograr tales propiedades nanoactivas. Las áreas superficiales específicas típicas para tales materiales nanoactivos están preferiblemente en el intervalo de 200-300 m^2/g , y más preferiblemente en el intervalo de 300-500 m^2/g .

En otra realización más, los materiales precursores contienen constituyentes volátiles, que incluyen la mayoría de los materiales orgánicos, carbonatos, hidróxidos y similares, de modo que los constituyentes no volátiles residuales, tal como los óxidos metálicos que quedan, pueden reorganizarse durante el proceso de calcinación para fabricar los materiales nanoactivos porosos deseados. Los materiales precursores pueden ser minerales o materiales sintetizados. El precursor debe estar en forma de partículas con una distribución de tamaño del orden de micrómetros, típicamente menos de 100 micrómetros, y preferiblemente de 1 a 10 micrómetros, con una distribución de tamaño que sea preferiblemente compatible con el uso final de los materiales. Las partículas impermeables grandes pueden calcinarse de forma incompleta, dejando núcleos sin reaccionar, por lo que el límite del tamaño de partícula para fabricar productos nanoactivos depende de las propiedades del precursor y la aplicación. El proceso de calcinación debe eliminar los constituyentes volátiles para dejar un producto que contenga los constituyentes no volátiles con una distribución de tamaño de partícula que preferiblemente no cambia con respecto a la distribución de tamaño del precursor y, por lo tanto, una porosidad cercana al volumen relativo de los constituyentes volátiles. La calcinación puede tener lugar en medio gaseoso, oxidante, reductor o neutro, de modo que los productos obtenidos puedan estar en el estado de oxidación preferente.

Este proceso calcina instantáneamente un material en polvo precursor que libera un gran volumen de especies volátiles, tal como vapor, CO_2 , amoníaco o compuestos orgánicos cuando se calienta. A altas temperaturas, el proceso de calcinación debe ser rápido para suprimir la sinterización dentro de una partícula y la unión entre partículas. Una ruta alternativa, es decir, la calcinación al vacío a baja temperatura generalmente no es escalable a la producción industrial.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a ejemplos específicos, los expertos en la técnica apreciarán que la invención se puede realizar de muchas otras formas, de acuerdo con la invención reivindicada en el presente documento.

La presente invención y las realizaciones preferidas descritas incluyen específicamente al menos una característica que es aplicable industrialmente.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir un material en polvo nanoactivo en un sistema de reactor, comprendiendo el material en polvo nanoactivo un polvo que tiene nanoactividad debida a nanoestructuras, comprendiendo el método:
 - a. una primera etapa del inyector de polvo en el que se inyecta el polvo precursor de entrada molido al reactor; y
 - b. una etapa de precalentador calentado externamente en la que el polvo precursor se calienta a una temperatura de reacción de calcinación; y
 - c. etapa de reactor calcinador calentado externamente en la que los constituyentes volátiles del precursor primario se eliminan rápidamente mediante la reacción de calcinación como una corriente de gas de alta pureza para producir un producto nanoactivo; ycaracterizado por
 - d. una etapa de reactor de procesamiento posterior en la que se produce un cambio en la composición de la corriente de gas para producir un producto en polvo caliente con base en la nanoactividad del producto nanoactivo producido por el reactor calcinador; y
 - e. una etapa de eyector de polvo en la que el producto de polvo caliente se expulsa del reactor; y
 - f. se usa un intercambiador de calor para transferir calor del producto en polvo caliente desde la etapa del eyector de polvo a una primera porción del polvo precursor, de modo que la primera porción calentada del polvo se inyecta debajo de una segunda porción del polvo precursor para calentar la segunda porción de precursor en polvo;en el que las partículas de entrada fluyen hacia abajo por gravedad progresivamente a través de las etapas.
2. El método de la reivindicación 1, en el que el tiempo de residencia del polvo en una cualquiera de las etapas es menor a 30 segundos por etapa para minimizar la sinterización del polvo inyectado, en el que se conservan las propiedades deseadas del material nanoactivo.
3. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la corriente de gas de alta pureza liberada desde al menos la etapa del reactor calcinador calentado externamente y/o la etapa del reactor de posprocesamiento sube hacia arriba a través de la etapa del precalentador calentado externamente y hacia la etapa del inyector de polvo, de manera que el calor de la corriente de gas de alta pureza precalienta el polvo que cae.
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el calor externo para el calcinador calentado externamente se genera en un horno usando sistemas de combustión atemporales, que incluyen quemadores regenerativos.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el calor externo para el calcinador calentado externamente se genera a partir de elementos de energía eléctrica incrustados en materiales refractarios.
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las etapas del reactor son espaciadas y adaptadas para expandirse y contraerse cuando están en uso; y/o agregadas en una matriz, en el que las etapas de la matriz están estrechamente empaquetadas y la matriz tiene una forma rectangular.
7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los materiales precursores son compuestos con componentes volátiles en el intervalo de 30-60 % del volumen atómico, de modo que los componentes volátiles pueden extraerse durante la calcinación de los materiales.
8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la calcinación del material precursor tiene al menos una propiedad seleccionada del grupo de una porosidad en el intervalo de 0,3 a 0,6, un área superficial relativamente alta en relación con el diámetro del micrómetro del material, una estructura cristalina, una estructura amorfa y una distribución de tamaño de partícula precursora en el intervalo de 0,4 a 100 micrómetros de diámetro.
9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se introduce un segundo material en polvo en la etapa del reactor de procesamiento posterior y es un material nanoactivo producido en un proceso separado utilizando el método de la reivindicación 1.
10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el grado de calcinación es superior al 90 % y el tamaño medio de partícula del producto en polvo caliente es inferior al 10 %, y el área superficial del producto en polvo es superior a 120 m²/g.

- 5 11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los materiales nanoactivos se seleccionan del grupo de: MgO, CaO, MgO.CaCO₃, MgO.CaO, AgO, ZnO, CuO, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, TiO₂, SiO₂, Al₂O₃, MnO, Mn₃O₄, sulfatos metálicos mixtos, hidratos metálicos mixtos, hidróxidos, carbonatos, nitratos, acetatos, oxalatos y cualquier otro óxido metálico adecuado.
- 10 12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la calcinación del material precursor produce una región local en la que la porosidad local, el área superficial y la escala de longitud de la estructura en la región son tales que la región de la partícula es una región nanoactiva en virtud de estas propiedades.
- 15 13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el material molido comprende una mezcla de dos o más polvos diferentes, en el que al menos uno de dichos polvos es un material nanoactivo calcinado, siendo inyectados los dos o más polvos diferentes en la etapa del reactor de procesamiento posterior, donde los polvos de entrada reaccionan para formar un producto mediante una reacción mejorada mediante el uso de nanomateriales altamente reactivos formados en la etapa del reactor calcinador calentado externamente.
- 20 14. El método como se reivindica en la reivindicación 13, en el que el sistema del reactor está adaptado para producir clínker de cemento a partir de una mezcla de piedra caliza, sílice y arcillas, en el que el reactor calcinador produce cal nanoactiva y metaarcilla nanoactiva, y el procesamiento en la etapa del reactor de posprocesamiento produce clínker de cemento con la inclusión de calor adicional para elevar la temperatura y efectuar reacciones de clínker entre materiales nanoactivos.
- 25 15. El método como se reivindica en la reivindicación 13, en el que el magnesio metálico se produce a partir de una mezcla de dolomita y un reductor, tal como ferrosilicio, en el que la etapa del reactor calcinador produce dolima nanoactiva, y el procesamiento en la etapa del reactor de procesamiento posterior produce vapor de magnesio metálico con la inclusión de calor adicional para elevar la temperatura del material para inducir la reacción de reducción.
- 30 16. El método como reivindica en la reivindicación 12, en el que el método produce materiales de batería a partir de materiales de óxido, sulfato o fosfato de metal, o mezclas de tales materiales, y con iones conductores tales como litio, sodio o magnesio de modo que estos iones conductores se intercalan uniformemente en los materiales
- 35 17. El método como se reivindica en la reivindicación 12, en el que al menos uno de los materiales ha sido calcinado a partir de un precursor para generar carbono en los poros del material para proporcionar también una vía para la conducción electrónica a través del material.
- 40 18. Un sistema de reactor para producir un material en polvo nanoactivo que comprende un polvo que tiene nanoactividad debida a nanoestructuras, comprendiendo el sistema de reactor:
- 45 a. un inyector de polvo configurado para inyectar polvo precursor de entrada molido en el reactor;
- b. un precalentador calentado externamente configurado para calentar el polvo precursor a la temperatura de una reacción de calcinación;
- 50 c. un reactor calcinador calentado externamente configurado para eliminar rápidamente los constituyentes volátiles precursores primarios mediante la reacción de calcinación como una corriente de gas de alta pureza para producir un producto nanoactivo;
- d. un reactor de procesamiento posterior configurado para cambiar la composición de la corriente de gas para producir un producto de polvo caliente con base en la nanoactividad del producto nanoactivo producido por el reactor calcinador;
- 55 e. un eyector de polvo configurado para expulsar el producto de polvo caliente del reactor; y
- f. un intercambiador de calor configurado para transferir calor del producto en polvo caliente desde el eyector de polvo a una primera porción del polvo precursor, de manera que la primera porción calentada del polvo se inyecta debajo de una segunda porción del polvo precursor para calentar la segunda porción del polvo precursor;
- 60 en el que las partículas de entrada fluyen hacia abajo por gravedad progresivamente a través del sistema del reactor.







