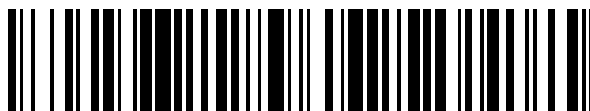


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 644**

51 Int. Cl.:

C01B 3/24 (2006.01)

C01B 32/40 (2007.01)

C01B 3/28 (2006.01)

C10J 3/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.08.2014** **E 14002871 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.02.2020** **EP 2987769**

54 Título: **Procedimiento para la producción de gas de síntesis y energía eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.09.2020

73 Titular/es:

BASF SE (100.0%)
Carl-Bosch-Strasse 38
67056 Ludwigshafen am Rhein, DE

72 Inventor/es:

MAASS, HANS-JÜRGEN;
MACHHAMMER, OTTO;
BODE, ANDREAS y
KOLIOS, GRIGORIOS

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 784 644 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la producción de gas de síntesis y energía eléctrica

La invención se refiere a un procedimiento para la producción de gas de síntesis, en el que carbono e hidrógeno son obtenidos a partir de hidrocarburo por descomposición térmica, en el que al menos una parte del carbono obtenido es oxidado y al menos una parte del hidrógeno obtenido se hace reaccionar con dióxido de carbono por cambio inverso de gas de agua a monóxido de carbono y agua, en el que el carbono obtenido por la descomposición térmica del hidrocarburo es usado como combustible en un procedimiento de central eléctrica para producir energía eléctrica, y el dióxido de carbono resultante de la combustión del carbono es usado en el cambio inverso del gas de agua, en el que el gas de síntesis producido en el cambio inverso del gas de agua es convertido en metanol y/o dimetil éter y/o hidrocarburos, y el calor residual resultante de la conversión del gas de síntesis es usado en el tratamiento del dióxido de carbono para el cambio inverso del gas de agua.

Como gas de síntesis se entiende una mezcla de gases que contiene hidrógeno y monóxido de carbono que puede ser usado como un químico básico en un gran número de procedimientos industriales. Dependiendo de su uso, los gases de síntesis tienen diferentes proporciones de hidrógeno y monóxido de carbono.

Es conocido un procedimiento del tipo genérico a partir de la Solicitud de Patente Internacional WO2014/097142, que propone transferir el hidrógeno formado en una primera zona de reacción a una segunda zona de reacción a una temperatura entre 800 y 1400°C, a fin de usar su contenido de calor para la conversión de hidrógeno y dióxido de carbono mediante el cambio inverso de agua-gas a agua y monóxido de carbono. La solicitud proporciona la liberación del carbono obtenido de la descomposición de hidrocarburos como producto que es usado, por ejemplo, en la metalurgia como carbón para inyección, aditivo de carbón coquizable o coque de alto horno y es oxidado en el procedimiento. El procedimiento permite producir gas de síntesis en gran medida sin liberar a la atmósfera dióxido de carbono, que es perjudicial para el clima, dado que el dióxido de carbono producido durante la provisión del calor de reacción y suministrado como materia prima está aproximadamente equilibrado. Debido al gran número y cantidad de sustancias difíciles de separar en las mezclas de gases producidas por el uso propuesto del carbono, el dióxido de carbono sólo puede ser obtenido con considerable dificultad y a un alto costo en una forma que permita su reciclado o secuestro. Por lo tanto, el dióxido de carbono será liberado a la atmósfera a más tardar cuando el producto de carbono sea usado en la metalurgia como es propuesto.

En el documento DE10 2013 021 418 es descrito un procedimiento en múltiples etapas para la generación de energía de bajo dióxido de carbono usando el denominado exceso de electricidad. En una primera etapa, el carbono y el hidrógeno son producidos en una descomposición térmica de hidrocarburos. El carbono puede ser almacenado como almacenamiento de energía y, si es necesario, ser convertido en una segunda etapa en una reacción de gasificación y/o combustión. En una tercera etapa, el dióxido de carbono producido en la reacción de combustión puede ser convertido en metano con el hidrógeno producido en la primera etapa, por lo que el calor de la reacción de formación de metano puede ser usado para la generación de electricidad.

El documento US 2012/0241676 desvela un procedimiento para la producción de gas de síntesis mediante una reacción de gasificación y, en la segunda etapa, una descomposición térmica de los hidrocarburos resultantes y una posterior reacción de desplazamiento del gas de reserva de agua para convertir el dióxido de carbono e hidrógeno en monóxido de carbono y agua. El carbono obtenido en la descomposición térmica es usado como educto para la conversión de dióxido de carbono en monóxido de carbono o como combustible para proporcionar el calor necesario para la reacción inicial de gasificación.

El objeto de la presente invención es especificar un procedimiento de naturaleza genérica mediante el que puedan ser superados los inconvenientes del estado de la técnica y que, en particular, permita la producción de gas de síntesis sin liberación o al menos una liberación significativamente menor de dióxido de carbono a la atmósfera de lo que es posible de acuerdo con el estado de la técnica.

Esto objeto es logrado dado que el carbono obtenido por descomposición térmica de hidrocarburos es usado como combustible en un procedimiento de central eléctrica para producir energía eléctrica, y el dióxido de carbono producido durante la combustión del carbono es usado en el cambio inverso de gas de agua, en el que el gas de síntesis producido en el cambio inverso de gas de agua es convertido en metanol y/o dimetil éter y/o hidrocarburos, y el calor residual resultante de la conversión del gas de síntesis es usado en el tratamiento del dióxido de carbono para el cambio inverso de gas de agua.

Al llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención, el carbono obtenido de la descomposición de hidrocarburos es quemado, por ejemplo, en la cámara de combustión de la caldera de una central eléctrica de carbón o lignito a las presiones y temperaturas típicas de esas centrales eléctricas para producir vapor a alta presión que después es expandido en una turbina acoplada a un generador de energía. Para compensar un posible valor calorífico más alto del carbono producido de acuerdo con la invención en comparación con la hulla o el lignito, es propuesto separar el dióxido de carbono de la mezcla de gas que contiene el dióxido de carbono obtenido durante la combustión del carbono y devolverlo a la cámara de combustión.

Dependiendo de si el carbono obtenido por descomposición térmica de hidrocarburos es quemado solo o junto con otro combustible, tal como hulla o lignito, es formada una mezcla gaseosa que contiene dióxido de carbono con una proporción más o menos grande de sustancias, tal como compuestos de azufre, que tienen un efecto desfavorable en el curso del cambio inverso de gas de agua o que contaminarían el gas de síntesis producido. Por lo tanto, es necesario separar estas sustancias de la mezcla de gases que contiene dióxido de carbono para poder usar el dióxido de carbono obtenido en el cambio inverso del gas del agua. Para esto, la mezcla de gas que contiene dióxido de carbono es sometida preferentemente a un procedimiento de depuración de gases químicos y/o físicos, tal como es conocido en el estado actual de la técnica. Cabe mencionar en la presente memoria el procedimiento de depuración de aminas, en el que son usados preferentemente los derivados de las etanolaminas como agentes de depuración. Si para la producción de carbono sólo es usada una materia prima que contiene hidrocarburos sin azufre, tal como gas natural desulfurado, el carbono producido tampoco tiene azufre o sólo tiene cantidades muy pequeñas, de modo que durante la combustión es obtenida una mezcla de gas prácticamente libre de azufre que contiene dióxido de carbono y una etapa de desulfuración puede ser omitida en el procedimiento de depuración del gas. Si dicho carbono es quemado en un proceso de oxicombustible con un agente oxidante que consiste en oxígeno y monóxido de carbono, el gas de combustión producido consiste prácticamente exclusivamente en dióxido de carbono, por lo que el lavado de gases puede ser omitido por completo si es necesario.

El procedimiento de acuerdo con la invención permite una producción de gas de síntesis en la que el dióxido de carbono es reciclado y no es liberado a la atmósfera. Dependiendo en particular de la forma en que es suministrada la energía térmica requerida, la cantidad total de dióxido de carbono producida puede ser consumida nuevamente en el procedimiento. El exceso de dióxido de carbono puede ser puesto a disposición como fuente de carbono para otros procedimientos consumidores de carbono. También es concebible operar el procedimiento de tal manera que sea consumido más dióxido de carbono del que es producido. En este caso, el dióxido de carbono tiene que ser suministrado desde el exterior, lo que hace que el procedimiento actúe como un sumidero de dióxido de carbono.

El hidrocarburo, que por ejemplo es metano, etano, propano o butano, es alimentado ventajosamente a la descomposición del hidrocarburo en forma de un gas que contiene hidrocarburos. El gas natural es usado preferentemente como gas que contiene hidrocarburos, cuyo contenido de metano suele oscilar entre 75 y 99%, de acuerdo con el depósito de gas natural y el tipo de procesamiento.

La generación de gas de síntesis de acuerdo con la invención puede ser llevada a cabo sin presión o bajo presión. Preferentemente, es llevada a cabo a presiones entre 1000 y 2500 kPa, particularmente preferentemente - excepto para las pérdidas de presión - a la presión más alta bajo la que un insumo que contiene hidrocarburos está disponible para la producción de carbono. Esta puede ser, por ejemplo, la presión bajo la que puede ser obtenido gas natural de una red de gas natural como insumo.

La energía térmica requerida para la producción de gas de síntesis de acuerdo con la invención puede ser generada, por ejemplo, por oxidación u oxidación parcial de un combustible compuesto de hidrocarburos y/o hidrógeno. El aire y/o el aire enriquecido con oxígeno y/o el oxígeno técnicamente puro son usados preferentemente como agentes oxidantes. La oxidación y la oxidación parcial pueden ser llevadas a cabo fuera de una zona de reacción en la que la descomposición térmica de los hidrocarburos y/o el desplazamiento inverso del gas del agua son llevados a cabo mezclando el combustible con un oxidante y haciéndolo reaccionar. Después, el gas caliente resultante es introducido en la zona de reacción, en la que desprende parte de su calor sensible directa o indirectamente sobre las sustancias a reaccionar. Sin embargo, el agente oxidante también puede ser introducido en la zona de reacción, en la que es mezclado con un combustible presente, que puede ser hidrógeno obtenido por descomposición de hidrocarburos, y se hace reaccionar.

Como alternativa o adicionalmente a los procedimientos oxidativos descritos, la energía térmica también puede ser generada por medio de la corriente eléctrica y puesta a disposición para la producción de gas de síntesis de acuerdo con la invención. Para esto, por ejemplo, pueden estar dispuestos uno o varios elementos calefactores eléctricamente conductores en una zona de reacción de manera que entren en contacto térmico directo o indirecto con las sustancias a reaccionar. Un elemento calefactor eléctricamente conductivo es fijo o móvil dentro de la zona de reacción. Por ejemplo, el elemento calefactor puede formar parte de un lecho móvil o fluidizado de un sólido granular, conductor de la electricidad, tal como carbono, que es desplazado a través de la zona de reacción.

Para calentarlo, un elemento calefactor conductor de electricidad es conectado a una fuente de energía a través de la que la corriente eléctrica pasa por el elemento calefactor. También es posible generar calor por inducción electromagnética. Para esto está dispuesta una bobina de inducción fuera de las dos zonas de reacción, que suministra un campo magnético alterno tan pronto le es aplicado un voltaje eléctrico alterno. Un elemento calefactor conductor de electricidad, que está aislado eléctricamente de la bobina de inducción, está dispuesto de tal manera que las corrientes de remolino pueden ser inducidas en este por el campo magnético alterno, lo que lleva a un calentamiento del elemento calefactor debido a las pérdidas óhmicas. Si el elemento calefactor está fabricado con un material ferromagnético, como tal una aleación de hierro-silicio o hierro-níquel o μ -metal, las pérdidas de remagnetización también contribuyen a calentar el elemento calefactor y, por lo tanto, a la formación de un gradiente de temperatura entre un elemento calefactor y su entorno.

Una variante preferente del procedimiento de acuerdo con la invención es usar la electricidad producida usando carbono obtenido por descomposición térmica de hidrocarburos para proveer energía térmica para la producción de gas de síntesis. Sin embargo, este procedimiento sólo es aplicado sensatamente si la electricidad no puede ser alimentada en la red eléctrica pública o sólo puede ser alimentada en esta en condiciones desfavorables, de modo que la cantidad de electricidad disponible para la producción de gas de síntesis está sujeta a fuertes fluctuaciones temporales. Por lo tanto, la energía térmica también es generada por otros medios, en particular por oxidación, y es alimentada a la producción de gas de síntesis con una potencia que fluctúa a lo largo del tiempo de tal manera que la potencia térmica total disponible para la conversión del hidrocarburo siempre corresponde o es aproximada a un valor de referencia. Esta variante del procedimiento permite operar tanto la producción de gas de síntesis como el procedimiento de la central eléctrica siempre en condiciones óptimas con una capacidad cercana a la capacidad nominal respectiva y, sin embargo, administrar la electricidad generada a la red pública de manera flexible y con un alto valor añadido.

Dependiendo de la forma en que es suministrada la energía térmica requerida para la producción de gas de síntesis, son obtenidos diferentes balances de masa. Sin embargo, para poder operar la descomposición térmica del carbono así como la oxidación del carbono y la depuración de la mezcla de gas que contiene dióxido de carbono producida en el procedimiento en condiciones constantes, es propuesto almacenar temporalmente el carbono y el dióxido de carbono que no pueden ser usados en el procedimiento y devolverlos al procedimiento si es necesario. Preferentemente, el dióxido de carbono es almacenado temporalmente en forma líquida.

Además, es propuesto que el carbono que no pueda ser usado en el procedimiento sea vendido a los consumidores como materia prima no sólo temporalmente sino también de manera permanente. Por ejemplo, el carbono puede ser usado en la metalurgia como carbón para inyección, como aditivo para el carbón coquizable o como coque de alto horno.

El gas de síntesis es convertido en una sustancia valiosa, tal como metanol y/o dimetil éter y/o hidrocarburos. La respectiva etapa de conversión es integrada energéticamente en el procedimiento global. Si el gas de síntesis es convertido en hidrocarburos, por ejemplo, mediante el procedimiento Fisher-Tropsch, el calor residual producido en este procedimiento es usado para calentar un depurador químico en el que la mezcla de gas que contiene dióxido de carbono, resultante de la combustión del carbono, es tratada para obtener dióxido de carbono para el cambio inverso del gas del agua. Además, el calor residual también puede ser usado para generar vapor, que puede ser empleado en el procedimiento de la central eléctrica para producir electricidad, por ejemplo.

Una corriente de material que contiene hidrocarburos que resulta de la reacción del gas de síntesis, tal como el gas de desecho de un procedimiento Fischer-Tropsch, es recirculada preferentemente y, si es necesario, después de una etapa de purificación, es alimentada a la descomposición térmica de los hidrocarburos.

En comparación con el estado de la técnica, el procedimiento de acuerdo con la invención permite obtener productos a partir de gas de síntesis con una "huella de dióxido de carbono" considerablemente menor, lo que indica la cantidad total de dióxido de carbono liberado directa o indirectamente a la atmósfera durante el procedimiento de producción, por ejemplo durante la extracción, procesamiento y transporte de los hidrocarburos usados. Por ejemplo, en la producción de productos Fischer-Tropsch a partir de gas natural, la huella es reducida de 4 a menos de $2t_{CO_2}/t$.

Es propuesto que el procedimiento de acuerdo con la invención sea desarrollado más adelante llevando a cabo la descomposición térmica de los hidrocarburos en una primera zona de reacción y pasando el hidrógeno producido en el procedimiento de la primera zona de reacción a una segunda zona de reacción, en la que se hace reaccionar con el dióxido de carbono mediante el cambio inverso de gas de agua a agua y monóxido de carbono. Preferentemente, la energía necesaria para la descomposición térmica de los hidrocarburos es alimentada a la primera zona de reacción de la segunda zona de reacción.

Esto hace posible llevar a cabo la descomposición térmica de hidrocarburos que tiene lugar en la primera zona de reacción, en gran medida independientemente de otras reacciones y así controlarla de manera comparativamente fácil y satisfactoria. Por ejemplo, la proporción de hidrocarburo descompuesto y no descompuesto puede ser ajustada principalmente por medio de la temperatura, y así puede ser controlada la cantidad de hidrógeno producido en la primera zona de reacción. Por lo tanto, a una temperatura de aproximadamente $800^{\circ}C$ sólo la mitad del hidrocarburo usado es descompuesta, mientras que a aproximadamente $1200^{\circ}C$ la conversión es completa.

Para convertir el hidrógeno con dióxido de carbono en agua y monóxido de carbono por medio de un cambio inverso agua-gas, generalmente son necesarias temperaturas más altas que las de la descomposición térmica de hidrocarburos, de manera que pueda ser establecido un gradiente de temperatura entre la segunda y la primera zona de reacción, que es usado convenientemente para suministrar a la primera zona de reacción la energía necesaria para la descomposición térmica de hidrocarburos en forma de calor. Preferentemente toda la energía necesaria para la descomposición térmica de los hidrocarburos de la segunda zona de reacción es alimentada a la primera zona de reacción.

Dependiendo de las condiciones de reacción, sólo una parte del hidrocarburo es descompuesta en hidrógeno y carbono en la primera zona de reacción durante la realización del procedimiento de acuerdo con la invención, por lo

que no puede ser retirado el hidrocarburo completamente descompuesto de la primera zona de reacción. Una realización particularmente preferente del procedimiento de acuerdo con la invención proporciona pasar hidrocarburos que no han sido descompuestos o no lo han sido completamente de la primera a la segunda zona de reacción y ser convertidos allí mediante reformado con vapor de agua para dar hidrógeno y dióxido de carbono. Es conveniente que el agua necesaria para la conversión sea agua obtenida en la segunda zona de reacción por la reacción del hidrógeno con el oxígeno y/o el dióxido de carbono. Sin embargo, no debe ser excluido el suministro de agua desde el exterior.

Un diseño adecuado del procedimiento de acuerdo con la invención establece que la descomposición térmica de los hidrocarburos sea llevada a cabo en presencia de un sólido granular. En esta condición, el carbono formado en la primera zona de reacción no plantea problemas, dado que es depositado en el sólido granular y puede ser retirado de la primera zona de reacción junto con este, si es necesario. El sólido granular actúa como un filtro, de modo que el hidrógeno en particular, pero también otros gases, en gran parte libres de partículas de carbono, puedan ser retirados de la primera zona de reacción y, por ejemplo, llevados a la segunda zona de reacción. El carbono, que a pesar del efecto de filtro descrito anteriormente llega a la segunda zona de reacción, reacciona con el oxígeno presente allí para formar un óxido de carbono, que forma parte del gas de síntesis directamente o después de un cambio inverso agua-gas.

El sólido granular es preferentemente pasado a través de la primera zona de reacción como un lecho móvil, por lo que el hidrocarburo a ser convertido es ventajosamente pasado en contracorriente a los gránulos. La primera zona de reacción está dispuesta en un eje vertical, de modo que el movimiento del lecho móvil sólo es causado por la gravedad. Sin embargo, el sólido granular también puede pasar a través de la primera zona de reacción como un lecho fluidizado. Ambas variantes permiten un funcionamiento continuo o casi continuo.

Ventajosamente, las reacciones que tienen lugar en la segunda zona de reacción también son llevadas a cabo en presencia de un sólido granular, que preferentemente es pasado a través de la zona de reacción como un lecho móvil. Preferentemente, las primeras y segundas zonas de reacción están conectadas por un lecho móvil que consiste en un sólido granular, que abarca completamente ambas zonas de reacción y que es desplazado de la segunda a la primera zona de reacción. Para esto, las dos zonas de reacción están sensiblemente dispuestas una encima de la otra en una cámara de reacción diseñada como un eje vertical, de modo que el movimiento del lecho móvil es logrado únicamente bajo el efecto de la gravedad. La conexión de las dos zonas de reacción a través del lecho móvil permite usar el sólido granular como medio de transferencia de calor, con el que el calor es transportado de la segunda a la primera zona de reacción.

Si el sólido granular es pasado a través de las dos zonas de reacción como un lecho móvil, otra variante preferente del procedimiento de acuerdo con la invención proporciona que el sólido sea introducido en la cámara de reacción a temperatura ambiente, en la que en primer lugar es calentado hasta la temperatura máxima de la segunda zona de reacción y después es transferido a la primera zona de reacción, en la que pone parte de su calor a disposición de las reacciones que tienen lugar allí y es enfriado en el procedimiento. Después de salir de la primera zona de reacción, ocurre un nuevo enfriamiento, que es llevado a cabo convenientemente a una temperatura ambiente cercana, de modo que no es necesario el enfriamiento o la extinción del sólido granular retirado de la cámara de reacción. Para formar y mantener el perfil de temperatura descrito, es propuesto introducir una mezcla de gas que contenga hidrocarburos a temperatura ambiente en la cámara de reacción y guiarla en contracorriente a través del lecho móvil. En su trayectoria a través de la cámara de reacción, la mezcla de gas intercambia calor en contacto directo con el lecho móvil. Hasta llegar a la primera zona de reacción, la mezcla de gas es calentada a más de 1200°C y el lecho móvil es enfriado al mismo tiempo. El gas que sale de la primera zona de reacción es alimentado en contracorriente a través del lecho móvil a la segunda zona de reacción y es calentado allí en intercambio directo de calor. Los gases calientes que salen de la segunda zona de reacción son enfriados en intercambio directo de calor contra el lecho móvil, de modo que pueden ser retirados de la cámara de reacción a una temperatura entre 50 y 500°C.

Para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención, como sólido granular puede ser usado un granulado consistente en corindón (Al_2O_3) o vidrio de cuarzo (SiO_2) o mullita ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) o cordierita ($(\text{Mg,Fe})_2(\text{Al}_2\text{Si})(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{18})$) o esteatita ($\text{SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$). Preferentemente, sin embargo, es usado un granulado rico en carbono que es formado a partir de granos sólidos que consisten total o predominantemente en carbono, los cuales están presentes en un tamaño de grano de 0,5 a 80 mm, pero preferentemente de 1 a 50 mm. Esos gránulos pueden, por ejemplo, consistir total o parcialmente en polvo de coque, que no es adecuado para su uso en los altos hornos debido a su pequeño tamaño de grano. Sin embargo, también son concebibles granulados que consisten total o parcialmente en coque de coquería de bajo valor a base de lignito o hulla y/o coque obtenido a partir de biomasa. Preferentemente, el granulado consiste en carbono, que es producido en el procedimiento por descomposición térmica de hidrocarburos y es reciclado.

El procedimiento de acuerdo con la invención permite producir gas de síntesis a partir de hidrocarburos, en particular a partir de metano, sin liberación o con muy poca liberación de dióxido de carbono en la atmósfera. Al mismo tiempo, el procedimiento permite que las centrales eléctricas de carbón y lignito existentes o de nueva construcción funcionen en gran medida sin la emisión de contaminantes, lo que debe aumentar considerablemente su aceptación por la población. Además, una central eléctrica alimentada con carbón y lignito puede ser usada de manera mucho

más flexible que con la tecnología más avanzada, de acuerdo con la que sólo sirve para cubrir la carga base de energía eléctrica, dado que puede funcionar a una potencia constante y la energía eléctrica que no puede ser vendida a la red pública puede ser usada para producir gas de síntesis.

5 A continuación será explicada la invención con más detalle mediante un ejemplo de ejecución que es mostrado esquemáticamente en la **Figura 1**.

La Figura 1 muestra una realización preferente del procedimiento de acuerdo con la invención, en el que es usado un reactor para la producción de gas de síntesis, a través de cuya cámara de reacción es pasado un lecho móvil de un sólido granular, que comprende una primera y una segunda zona de reacción.

10 A través de la alimentación 1, un sólido granular, que es, por ejemplo, el carbono producido en el procedimiento por la descomposición térmica de hidrocarburos, es introducido a temperatura ambiente desde arriba en la cámara de reacción R del reactor K, a través de la que es posteriormente guiado hacia abajo bajo el efecto de la gravedad en un lecho móvil W. Un gas de alimentación 2 que contiene hidrocarburos, que es preferentemente gas natural, es introducido simultáneamente desde abajo en la cámara de reacción R y sube en contracorriente a través del lecho móvil W. El gas de alimentación 2, que está a temperatura ambiente cuando entra en la cámara de reacción R, es
15 calentado en su trayectoria hacia arriba por intercambio directo de calor con el lecho móvil W hasta que alcanza la temperatura de descomposición del hidrocarburo en la primera zona de reacción Z1, que en estas condiciones es descompuesto en hidrógeno y carbono en una reacción endotérmica. La mayor parte del carbono formado en este procedimiento es adherida al sólido granular del lecho móvil W. Junto con el hidrocarburo no reaccionado o sólo parcialmente reaccionado, el hidrógeno caliente formado fluye hacia la segunda zona de reacción Z2 dispuesta sobre la primera, en la que es calentado en forma adicional por intercambio de calor directo con el lecho móvil W. En la segunda zona de reacción Z2, parte del hidrógeno es quemado con el oxígeno, que es suministrado por la línea 3, y por lo tanto proporciona el calor de reacción requerido para la producción de gas de síntesis. Alternativa o adicionalmente, el calor de la reacción también puede ser introducido en la segunda zona de reacción Z2 a través de la corriente eléctrica 17. Al menos parte del hidrógeno es convertido en hidrógeno y monóxido de carbono con el dióxido de carbono suministrado por la línea 4. El hidrocarburo que no es descompuesto o no es completamente descompuesto en la primera zona de reacción Z1 es reformado con agua en la segunda zona de reacción Z2 a hidrógeno y monóxido de carbono, de modo que un gas de síntesis sale de la segunda zona de reacción Z2, que es enfriado en contracorriente al lecho móvil W y es retirado por la línea 5 a una temperatura de aproximadamente 50 a 500°C en el extremo superior del reactor K. El gas de síntesis 5 es alimentado entonces a la unidad de síntesis S, en la que es convertido en productos 13, tal como metanol, dimetil éter o hidrocarburos. Cualquier gas residual 20 que contenga hidrocarburos producido en la unidad de síntesis S es devuelto al reactor K para descomponer los hidrocarburos asimismo térmicamente.

En el extremo inferior del reactor K, el sólido granular 6 es extraído a una temperatura cercana a la temperatura ambiente y es alimentado a un dispositivo de procesamiento A para su procesamiento separando el carbono depositado en la primera zona de reacción Z1 y devolviéndolo a la cámara de reacción R a través de la línea 7. El carbono 8 separado es alimentado a la central eléctrica D, en la que es quemado con un oxidante 9, que es aire u oxígeno enriquecido u oxígeno técnicamente puro, para producir electricidad 10, de la que entre 0 y 100% es alimentada a la red pública según sea requerido. La electricidad 17 no alimentada a la red pública es usada para proporcionar calor de reacción para las reacciones que tienen lugar en la segunda zona de reacción Z2. Para la separación del dióxido de carbono, el gas de combustión que contiene dióxido de carbono 11 resultante de la combustión es alimentado a una unidad de separación B, que es, por ejemplo, un depurador de aminas, para cuyo funcionamiento la parte 18 del calor residual 12 es alimentada a la unidad de síntesis S. Otra parte 19 del calor residual 12 es alimentada a la central eléctrica D, en la que es usado para generar vapor para la producción de electricidad. Después, la parte 4 del dióxido de carbono separado 14 es introducida en la segunda zona de reacción Z2, mientras que el resto 15 es mezclado con el oxidante 9, de modo que cualquier gas residual 16 que pueda ser producido pueda ser liberado a la atmósfera en gran medida libre de dióxido de carbono.

Dependiendo de la forma en que es proporcionada la energía térmica requerida para la producción de gas de síntesis, resultan diferentes balances de masa. Sin embargo, para poder operar la descomposición térmica del carbono así como la oxidación del carbono 8 y la depuración de la mezcla de gas que contiene dióxido de carbono 11 generada en el procedimiento en condiciones constantes, es propuesto almacenar temporalmente el carbono 21 no utilizable y el dióxido de carbono 22 no utilizable y devolverlos al procedimiento si es necesario. Preferentemente, el dióxido de carbono 22 es almacenado temporalmente en forma líquida.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de producción de gas de síntesis (5), en el que el carbono y el hidrógeno son obtenidos a partir de un hidrocarburo (2) por descomposición térmica, en el que al menos parte del carbono (8) obtenido es oxidado y al menos una parte del hidrógeno obtenido se hace reaccionar con dióxido de carbono por cambio inverso de gas de agua a monóxido de carbono y agua **caracterizado porque** el carbono (8) obtenido por la descomposición térmica del hidrocarburo es usado como combustible en un procedimiento de central eléctrica (D), para producir corriente eléctrica (17), y el dióxido de carbono (4) producido durante la combustión del carbono (8) es usado en el cambio inverso del gas del agua, en el que el gas de síntesis producido (5) es convertido en metanol y/o dimetil éter y/o hidrocarburos (13) y el calor residual (12) producido durante la conversión del gas de síntesis es usado en el tratamiento (B) del dióxido de carbono para el cambio inverso del gas del agua.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la energía térmica requerida para la producción de gas de síntesis es generada por oxidación de hidrógeno y/o por corriente eléctrica (17).
3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** la descomposición térmica de los hidrocarburos es llevada a cabo en una primera zona de reacción (Z1) y el hidrógeno producido en el procedimiento pasa de la primera zona de reacción (Z1) a una segunda zona de reacción (Z2), en la que se hace reaccionar con el dióxido de carbono para formar agua y monóxido de carbono.
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado porque** la energía requerida para la descomposición térmica de los hidrocarburos en la primera zona de reacción (Z1) es suministrada desde la segunda zona de reacción (Z2).
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 o 4, **caracterizado porque** en la primera zona de reacción (Z1), el hidrocarburo que no ha sido descompuesto o no lo ha sido completamente pasa a la segunda zona de reacción (Z2) y se hace reaccionar allí con agua para formar hidrógeno y dióxido de carbono.
6. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, **caracterizado porque** ambas zonas de reacción (Z1, Z2) están conectadas por un lecho móvil (W) formado por material sólido granular, que es movido desde la segunda (Z2) a la primera zona de reacción (Z1).
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** el gas que sale de la segunda zona de reacción (Z2) es conducido en contracorriente al lecho móvil (W) y, por lo tanto, es enfriado en el intercambio directo de calor con el mismo.
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado porque** el hidrocarburo (1) es introducido en la primera zona de reacción (Z1) en contracorriente al lecho móvil (W) y es calentado allí en intercambio térmico directo.
9. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizado porque** el carbono depositado en el sólido granular es separado (A) corriente abajo de la primera zona de reacción (Z1) y es retirado del lecho móvil (W).
10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, **caracterizado porque** como sólido granular es usado corindón (Al_2O_3) o vidrio de cuarzo (SiO_2) o mullita ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) o cordierita ($(\text{Mg,Fe})_2(\text{Al}_2\text{Si})[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{18}]$) o esteatita ($\text{SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$) o carbón o coque o carbono producido en el procedimiento por descomposición térmica de hidrocarburos.

