

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 597 082**

51 Int. Cl.:

B09C 1/06 (2006.01)

B29B 17/02 (2006.01)

F27B 7/00 (2006.01)

C10B 47/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2013** **E 13001994 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.07.2016** **EP 2783764**

54 Título: **Instalación de pirólisis y procedimiento para recuperar fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, y fibras de carbono recuperadas**

30 Prioridad:

28.03.2013 EP 13001625

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

13.01.2017

73 Titular/es:

**ELG CARBON FIBRE INTERNATIONAL GMBH
(100.0%)
Kremerskamp 16
47138 Duisburg, DE**

72 Inventor/es:

**GEHR, MARCO;
WILCOX, LEE;
STREHLKE, INGO KURT y
ALSOP, STEWART**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 597 082 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

Instalación de pirólisis y procedimiento para recuperar fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, y fibras de carbono recuperadas

5 La presente invención se refiere al campo técnico de la recuperación (reciclaje) de fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (también denominados polímeros reforzados con fibra de carbono, abreviado PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono o reforzados con fibra de carbono.

10 En particular, la presente invención se refiere a una instalación de pirólisis para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (denominados PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono, y también a su uso para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono.

15 Además, la presente invención se refiere a un procedimiento para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono o reforzados con fibra de carbono, y también a las fibras de carbono recicladas obtenibles mediante este procedimiento y a su uso.

20 La presente invención se refiere, además, a materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos que comprenden fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención o que han sido producidos utilizando fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención.

25 Por último, la presente invención se refiere a cuerpos conformados (por ejemplo, elementos constructivos), formas y materiales planos (por ejemplo, materiales no tejidos), en particular en forma de materiales compuestos o materiales mixtos que comprenden fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención, o que han sido producidos utilizando fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención.

30 En general, a los materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (también denominados, de manera sinónima, por las siglas PRFC) se les puede describir como materiales mixtos de fibra y material sintético, en donde se han incluido como refuerzo un gran número de fibras de carbono, preferiblemente en varias capas, en una matriz, por ejemplo de material sintético. Como matriz de material sintético se pueden utilizar durómeros, por ejemplo resinas epoxídicas, acrilatos y poliuretanos, y también termoplastos, por ejemplo acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), poliamida (PA), polilactato (PLA), poli(metacrilato de metilo) (PMMA), policarbonato (PC), poli(tereftalato de etileno) (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli(éter-éter-cetona) (PEEK) y poli(cloruro de vinilo) (PVC). Sin embargo, también es posible incluir fibras de carbono en una matriz de cerámica (lo que también se denomina, de manera sinónima, "materiales mixtos fibrosos cerámicos") para obtener elementos constructivos que soportan cargas térmicas muy elevadas, tales como discos de freno.

35 Los materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC) presentan una elevada resistencia y rigidez, a la vez que un escaso peso, y se utilizan preferiblemente en campos en los que se requieren elevadas resistencia y rigidez específicas por unidad de peso. Por ejemplo, se utilizan PRFC en la industria aeronáutica y espacial, en la industria de la energía eólica, en la construcción de vehículos o para equipos deportivos, por ejemplo cuadros de bicicleta, patines de velocidad, raquetas de tenis, flechas deportivas y cañas de pescar. En la construcción, se pueden adherir superficialmente materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC), en forma de láminas, sobre la superficie de elementos constructivos, con el fin de reforzar las construcciones.

45 En general, la resistencia y la rigidez de los materiales o elementos constructivos producidos a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC) son, al igual que en otros materiales mixtos de matriz y fibra, significativamente más elevadas en la dirección de la fibra que transversalmente a la dirección de la fibra. Así, por ejemplo, transversalmente a las fibras de carbono la resistencia puede ser menor que la resistencia del material de matriz utilizado. Para asegurar una resistencia y rigidez uniformes de los materiales o elementos constructivos de PRFC en todas las direcciones del espacio, se colocan capas individuales de fibras en varias direcciones. Por ejemplo, en el caso de elementos constructivos de altas prestaciones, las direcciones de las fibras se pueden determinar mediante cálculos de ordenador, por ejemplo la teoría clásica de estratificados, para lograr la resistencia y rigidez prescritas.

55 Las fibras de carbono primarias (también denominadas de manera sinónima "fibras vírgenes") utilizadas para producir PRFC se producen predominantemente de manera industrial a partir de materiales de partida que contienen carbono, en particular poliacrilonitrilo (PAN), mediante reacciones de estabilización en el aire, posterior pirólisis en atmósfera inerte y grafitización subsiguiente. En este caso, durante el proceso de producción se pueden controlar de manera deliberada la rigidez y la resistencia de las fibras de carbono primarias por medio del pretensado, y también a través de las temperaturas durante la carbonización y la grafitización, de modo que se encuentran disponibles comercialmente diversos tipos de fibras. Debido a su bajo costo de producción, se utilizan predominantemente como

5 fibras de carbono primarias las fibras HT (fibras de alta resistencia) y también las fibras IM (fibras de módulo intermedio). Para incrementar la adherencia de las fibras de carbono primarias después de la grafitización, se puede llevar a cabo una oxidación de la superficie de las fibras de carbono primarias por medio de un tratamiento electroquímico. En general, a las fibras de carbono primarias se las aplica posteriormente un agente de apresto, por ejemplo una resina epoxídica, y se recogen juntas para formar las denominadas "mechas". En un último paso, se devanan estas mechas sobre husillos textiles convencionales.

10 Dependiendo de la longitud de fibra de las fibras de carbono primarias utilizadas, para producir materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC) se pueden utilizar distintos procedimientos. En general, las piezas de PRFC con fibras de carbono primarias largas se pueden producir por medio de procedimientos de inyección de resina (también denominados moldeo por transferencia de resina (RTM, por sus siglas en inglés)). En un primer paso del procedimiento de inyección de resina, se producen las denominadas preformas, que se componen de una capa o de varias capas de fibras de carbono primarias tejidas, a fin de garantizar una resistencia y rigidez constantes en todas las direcciones espaciales. En un segundo paso, se añade a estas preformas, en un molde de colada cerrado, una matriz licuada compuesta de material sintético y eventualmente endurecedor. Después del endurecimiento de la matriz y de eliminar el material del borde en exceso, se obtienen los correspondientes elementos constructivos de PRFC.

20 La producción de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC) que tienen fibras de carbono primarias cortas, en particular fibras de carbono primarias desmenuzadas, se efectúa generalmente por medio de procedimientos de moldeo por inyección. Para ello se mezclan por lotes las fibras de carbono primarias desmenuzadas con una matriz licuada de uno o varios materiales sintéticos, se extruyen y, a continuación, se elaboran por medio de moldeo por inyección para proporcionar elementos constructivos de PRFC.

25 Sin embargo, el empleo de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC) conduce, en comparación con el empleo de elementos constructivos similares a base de metales ligeros, tales como el aluminio, magnesio y titanio, a costes considerablemente más altos en lo tocante al producto final acabado. Esto está relacionado, en particular, con la laboriosa y costosa producción de fibras de carbono primarias a partir de materiales de partida que contienen carbono, en particular poliacrilonitrilo (PAN). Además, el consumo mundial de fibras de carbono primarias para la producción de elementos constructivos de PRFC está aumentando fuertemente, de modo que no cabe esperar ninguna reducción significativa de los costes en el uso de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono, debido a la alta demanda mundial de fibras de carbono primarias.

30 A pesar de la gran demanda de fibras de carbono primarias, grandes cantidades de fibras de carbono primarias sin procesar, pero que ya han sido preimpregnadas con un material sintético (denominadas fibras preimpregnadas o, en inglés, "prepregs"), en las que ya se ha endurecido el material sintético o bien se ha superado la fecha de almacenamiento, se desechan como residuo que contiene PRFC.

35 También en la producción de piezas para aeronaves y piezas para turbinas eólicas, y también como consecuencia de moldes de modelado para desechar, restos de producción, prototipos, lotes incorrectos y los denominados "elementos constructivos al final de su vida útil", se originan grandes cantidades de residuos de material sintético que contiene PRFC, que deben ser eliminados.

40 Sin embargo, la eliminación de residuos de material sintético que contienen PRFC en vertederos resulta antieconómica, debido a las valiosas fibras de carbono presentes en los mismos. Además, por lo general se puede esperar que los residuos de material sintético que contienen PRFC, debido a su inercia química, permanezcan inalterados durante un largo período de tiempo, y no puedan degradarse en los vertederos. Además, debido a las prescripciones legales en muchos países europeos no es posible sin más, o incluso está prohibido, el vertido ilimitado de residuos que contienen PRFC.

45 Por tanto, existe una gran demanda de instalaciones de pirólisis y procedimientos económicos y eficaces para recuperar o reciclar fibras de carbono a partir de residuos que contienen PRFC, particularmente en vista de la demanda existente a nivel mundial de fibras de carbono para la producción de elementos constructivos de PRFC.

50 En el estado de la técnica, se recuperan o se reciclan fibras de carbono a partir de material que contiene PRFC (material de PRFC) mediante pirólisis. Se entiende por pirólisis, en particular, una escisión termoquímica de compuestos orgánicos en la que, por medio de elevadas temperaturas, por ejemplo en el intervalo de 300 a 1.000°C, se escinden moléculas orgánicas de gran tamaño en moléculas orgánicas más pequeñas. En general, en la pirólisis no se introduce oxígeno. Por lo tanto, hasta ahora ha sido necesario el uso de instalaciones de pirólisis estancueizadas y complejas, y también complicados procesos para asegurar una atmósfera inerte o bien el uso de vacío durante la eliminación de la matriz de material sintético. Sin embargo, los procesos de pirólisis a veces también funcionan en atmósferas que contienen oxígeno, en particular en condiciones controladas.

55 En el documento EP 0 636 428 A1 se describe una instalación de pirólisis de este tipo. Allí se utiliza un horno de gas protector para llevar a cabo la pirólisis, en la que se piroliza, bajo una atmósfera de gas protector, material que contiene PRFC. Sin embargo, la pirólisis se lleva a cabo durante un largo período de tiempo, por lo que el reciclaje no resulta económico y no es adecuado para la escala industrial. Además, se prevé un laborioso tratamiento

posterior de los materiales reciclados, con pasos de pirólisis adicionales, para obtener cuerpos conformados que contienen carbono.

5 Además, en las instalaciones de pirólisis conocidas que utilizan hornos de cinta, y en los procedimientos llevados a cabo en las mismas para recuperar fibras de carbono a partir de material de PRFC, no es posible la rotación del material de PRFC. No se produce, por tanto, mezcladura del material de PRFC y, en consecuencia, tampoco calentamiento uniforme de todas las zonas del material de PRFC que se encuentra sobre la cinta transportadora. El resultado son considerables residuos de pirólisis y de resina sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas, que pueden afectar negativamente a la incorporación en una matriz de material sintético.

10 En el documento DE 10 2008 002 846 B4 y en el equivalente de familia de patentes EP 2 282 879 A1, por ejemplo, se describe una instalación de pirólisis de ese tipo. La pirólisis de la matriz de material sintético se lleva a cabo en una instalación de pirólisis que comprende un horno de cinta, en donde primeramente se deben preclasificar los residuos que contienen PRFC y después desmenuzarlos en trozos pequeños. Además, es necesario un postratamiento de las fibras de carbono recicladas, para evitar el enredamiento de las fibras de carbono recicladas.

15 Además, en el documento WO 2010/075952 A1 se describe una instalación de pirólisis que comprende una cámara de proceso en forma de un horno de cinta. La cámara de proceso tiene, además de fuentes de calor en forma de entradas de aire caliente y calefactores de resistencia eléctrica, también fuentes de radiación de microondas, por lo que en consecuencia es necesario un dispositivo complicado para llevar a cabo el reciclaje.

20 Por último, la memoria EP 2 152 487 B1 describe una instalación de pirólisis con un horno de cinta, en donde la proporción de oxígeno en el horno de cinta se regula de forma selectiva por medio de dispositivos de control, de manera que esencialmente se lleva a cabo una pirólisis y no una combustión o gasificación de la matriz de material sintético.

25 Además, las instalaciones y procedimientos de pirólisis antes mencionados conducen, además de a una gran cantidad de residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas, también a costes elevados para la recuperación (reciclaje) de fibras de carbono a partir de residuos que contienen PRFC, debido a su complejidad. Por otra parte, en las instalaciones de pirólisis y los procedimientos antes mencionados las superficies de los residuos que contienen PRFC no se tratan de manera uniforme debido a que no se entremezclan de manera óptima. Por otra parte, las fibras de carbono recicladas también muestran con frecuencia fluctuaciones de calidad.

Además, los residuos que contienen PRFC deben pretratarse de una manera laboriosa, en particular por medio de procedimientos mecánicos y/o químicos, antes de la recuperación (reciclaje).

30 Por esta razón, hasta ahora el uso de fibras de carbono recicladas en elementos constructivos de PRFC ha sido posible solamente a escala limitada, debido a los inconvenientes antes descritos.

También se conocen en el estado de la técnica procedimientos a escala de laboratorio para reciclar fibras de carbono a partir de residuos que contienen PRFC. Sin embargo, a menudo estos procesos son también complejos e inadecuados para el reciclaje de fibras de carbono a escala industrial.

35 El documento JP 2008-032300 A se refiere a un horno rotatorio calentado indirectamente para la quema de residuos orgánicos.

El documento JP 2001-200266 A se refiere a la carbonización de residuos sólidos.

El documento EP 2 152 487 B1 se refiere a un dispositivo y un procedimiento para reciclar fibras de carbono a partir de materiales de PRFC.

40 El documento WO 03/089212 A1 se refiere asimismo a un procedimiento y un dispositivo para reciclar fibras de carbono o fibras de vidrio a partir de materiales compuestos respectivos, en particular a un procedimiento para reciclar fibras de carbono o fibras de vidrio a partir de materiales compuestos reforzados con fibra, por tratamiento térmico en un procedimiento en dos etapas en donde, en un primer paso de procedimiento, se somete al material compuesto reforzado con fibra a una pirólisis, a la cual sigue, en un segundo paso de tratamiento subsiguiente, un tratamiento adicional de "mejora".

El artículo técnico de Pimenta S. *et al.*: "Recycling carbon fibre reinforced polymers for structural applications: Technology review and market outlook", *Waste Management*, Elsevier, Nueva York, NY, EE. UU., vol. 31, n.º 2, 1 de febrero de 2011, páginas 378 a 392, XP027542673, ISSN: 0956-053X, ofrece una visión general de los procedimientos existentes en el año 2010 para el reciclaje de fibras de carbono a partir de PRFC.

50 El artículo técnico de Heil J.P. *et al.*: "Mechanical and Wetting Behavior of Recycled Carbon Fibers Recovered from Pyrolysis Processes", *International SAMPE Technical Conference 2012*, describe las propiedades mecánicas y de humectación de fibras de carbono recicladas producidas pirólicamente.

Por último, el artículo técnico de Jiang G. *et al.*: "Measurement of Surface Energy of Recycled Carbon Fibers Using a Capillary Intrusion Method", *18th International Conference on Composite Materials*, 21 de agosto de 2011 - 26 de

agosto de 2011, Jeju, Corea del Sur, se refiere a la medición de la energía superficial de fibras de carbono recicladas por medio del denominado método de intrusión capilar.

5 Por tanto, la presente invención tiene por objeto poner a disposición una instalación de pirólisis y también un procedimiento correspondiente para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibras de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono, en los cuales se deben evitar al menos en gran parte, o como mínimo reducirse, los inconvenientes mencionados en lo que antecede, asociados con el estado de la técnica.

10 En particular, es un objeto de la presente invención poner a disposición una instalación de pirólisis y un procedimiento correspondiente para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibras de carbono, donde la instalación de pirólisis o, respectivamente, el procedimiento deben asegurar un calentamiento uniforme del material que contiene PRFC durante la descomposición de la matriz de material sintético. Además, la instalación de pirólisis o, respectivamente, el procedimiento debe permitir una recuperación (reciclaje) de fibras de carbono económica y que se pueda realizar a escala industrial. Además, mediante el empleo
15 de la instalación de pirólisis o, respectivamente, el procedimiento se deben obtener fibras de carbono recicladas que estén al menos esencialmente libres de residuos de pirólisis o de carbonización y presenten una buena facilidad de incorporación en materiales sintéticos.

El solicitante ha hallado ahora, sorprendentemente, que el planteamiento del problema esbozado en lo que antecede se puede resolver de una manera eficiente si, para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales
20 sintéticos que contienen fibra de carbono, se emplea una instalación de pirólisis que tiene, entre otras cosas, un horno tubular rotatorio calentado indirectamente, con aberturas de salida. Mediante el empleo del horno tubular rotatorio calentado indirectamente, con aberturas de salida, se posibilita una atmósfera exactamente especificada dentro del horno tubular rotatorio, ya que a través de las aberturas de salida se puede retirar de una manera controlada el gas de pirólisis formado y mediante esta retirada se puede controlar, en particular, el contenido de
25 oxígeno dentro del horno tubular rotatorio calentado indirectamente. Además, gracias al entremezclado uniforme del material de PRFC como consecuencia del horno tubular rotatorio se asegura un calentamiento uniforme y, con ello, una pirólisis uniforme de la matriz de material sintético. Debido a la pirólisis uniforme de la matriz de material sintético se obtienen fibras de carbono recicladas que están al menos esencialmente libres por completo del material de matriz y esencialmente no presentan residuos de pirólisis (en adelante denominados también, de manera
30 sinónima, residuos de coque de pirólisis) sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas y, por tanto, una mejor facilidad de incorporación en materiales sintéticos, en comparación con fibras de carbono primarias y fibras de carbono recicladas convencionalmente.

Para resolver el problema esbozado en lo que antecede, la presente invención propone, por tanto, una instalación de
35 pirólisis para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales compuestos que contienen fibra de carbono y/o materiales compuestos reforzados con fibra de carbono según la reivindicación 1. Además, son objeto de las reivindicaciones dependientes pertinentes, referidas a la instalación de pirólisis, otras propiedades ventajosas de la instalación de pirólisis según la invención.

40 Otro objeto de la presente invención es el uso de la instalación de pirólisis según la presente invención para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibras de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono, según la reivindicación 8.

45 Asimismo, es otro objeto de la presente invención un procedimiento para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibras de carbono (PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono, según la reivindicación 9.

50 Además, son objeto de la presente invención las fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención, conforme a la reivindicación 10. Además, son objeto de las reivindicaciones dependientes pertinentes, referidas a las fibras de carbono recicladas, otras propiedades ventajosas de las fibras de carbono recicladas según la invención.

55 Asimismo, es otro objeto de la presente invención el uso según la invención de las fibras de carbono recicladas, tal como se describe o se define en las reivindicaciones de uso correspondientes.

Son objeto de la presente invención, además, materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos según la reivindicación 14, que comprenden fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención o que se han producido utilizando fibras de carbono recicladas obtenibles

mediante el procedimiento según la invención.

5 Por último, son objeto de la presente invención cuerpos conformados (por ejemplo, elementos constructivos), formas y materiales planos (por ejemplo, materiales no tejidos), en particular en forma de materiales compuestos o materiales mixtos, conforme a la reivindicación 15, que comprenden fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención o que se han producido utilizando fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención.

No hace falta decir que las configuraciones y formas de realización particulares que se describan sólo en relación con un aspecto de la invención también se aplican de forma análoga, sin que ello se indique expresamente, en lo tocante a los otros aspectos de la invención.

10 Por lo demás, un experto en la técnica puede, para una aplicación o un caso individual, desviarse de las cifras, los valores o los intervalos indicados en lo que sigue, sin salirse del marco de la presente invención.

15 Por lo tanto, según un primer aspecto de la presente invención es objeto de la presente invención una instalación de pirólisis para recuperar fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono, preferiblemente a partir de materiales mixtos que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono,

con un horno de pirólisis alargado, que trabaja de forma continua mientras está en funcionamiento, para la pirólisis continua de material de PRFC,

20 con una estación de carga en uno de sus extremos para cargar en el horno de pirólisis material de PRFC a procesar, con una estación de descarga en su otro extremo para descargar del horno de pirólisis material de fibra de carbono recuperado,

con un dispositivo de extracción de gas para gas de pirólisis producido en el horno de pirólisis y

con un dispositivo de control, en particular para regular al menos componentes individuales del gas del horno de pirólisis, en particular para regular la proporción de oxígeno en el gas del horno de pirólisis,

25 en donde el horno de pirólisis es un horno tubular rotatorio calentado indirectamente, que tiene al menos los siguientes componentes:

un tubo rotatorio alargado que forma el alojamiento para el material de PRFC a procesar y está conectado a la estación de carga y a la estación de descarga, en donde el tubo rotatorio está provisto en su pared, al menos en una parte de su longitud, de aberturas de salida para evacuar gas de pirólisis formado en la pirólisis, y

30 una carcasa, aislada del exterior y que al menos en parte rodea al tubo rotatorio, con pasos para la estación de carga y eventualmente también para la estación de descarga y con conductos de evacuación, en particular para el gas de pirólisis, estando previstos en la carcasa, a lo largo del tubo rotatorio, varios sectores con temperaturas de gas distintas o bien regulables de manera distinta entre sí;

en donde las aberturas de salida del tubo rotatorio están previstas al menos en el sector que tiene la temperatura de gas más elevada;

35 en donde el horno de pirólisis tiene distintos sectores, a saber, al menos una zona de calentamiento, una primera zona de pirólisis, una segunda zona de pirólisis y una zona de enfriamiento, y la composición del gas y la temperatura en el horno de pirólisis en los distintos sectores del tubo rotatorio son regulables de manera distinta, en concreto con una proporción definida de oxígeno y con una temperatura definida en la primera zona de pirólisis y con una proporción definida de oxígeno y con una temperatura definida en la segunda zona de pirólisis; y

40 en donde la instalación de pirólisis comprende además un dispositivo de desmenuzamiento, dispuesto delante o aguas arriba de la estación de carga en la dirección de proceso, para desmenuzar el material de PRFC a procesar.

45 En el sentido de la presente invención, un horno tubular rotatorio es, en particular, un horno para procesos continuos de la ingeniería de procesos en donde se aporta calor. En contraste con un horno tubular rotatorio calentado directamente en el que el aporte de calor tiene lugar dentro del horno, en el caso de un horno tubular rotatorio calentado indirectamente, el calor se transfiere desde el exterior del espacio de reacción, a través de la pared del tubo rotatorio. En general, el horno tubular rotatorio calentado indirectamente tiene una estación de carga, con frecuencia en forma de un tornillo de alimentación o de una cinta de alimentación, el tubo rotatorio que forma el núcleo del horno tubular rotatorio, una estación de descarga en el extremo del horno tubular rotatorio para descargar el material procesado, un cojinete del tubo rotatorio y un accionamiento para el tubo rotatorio o bien varios accionamientos a lo largo del tubo rotatorio y, finalmente, una carcasa aislada del exterior, que rodea el tubo rotatorio, y en donde la cantidad de calor necesaria para el interior del tubo rotatorio se introduce o se genera de cualquier manera.

El horno tubular rotatorio calentado indirectamente empleado según la invención tiene al menos los siguientes componentes:

5 Un tubo rotatorio alargado que forma el alojamiento para el material de PRFC a procesar, que está conectado a la estación de carga y a la estación de descarga, en donde el tubo rotatorio está provisto en su pared, al menos en una parte de su longitud, de aberturas de salida para evacuar gas de pirólisis formado en la pirólisis, y una carcasa, aislada del exterior y que rodea al tubo rotatorio, con pasos para la estación de carga y la estación de descarga y con conductos de evacuación, en particular para el gas de pirólisis.

10 Según la invención, el tubo rotatorio del horno tubular rotatorio empleado como horno de pirólisis está en este caso configurado de una manera particular: concretamente tiene en su pared, al menos en una parte de su longitud, aberturas de salida para evacuar gas de pirólisis formado durante la pirólisis. Con ello, el horno de pirólisis en forma de un horno tubular rotatorio está particularmente bien adaptado a las peculiaridades de la pirólisis. El gas de pirólisis debe ser capaz de escapar lo más inmediatamente posible del tubo rotatorio en el lugar en el que se genera, con el fin de dificultar en la menor medida posible el proceso de pirólisis.

15 En un horno de cinta convencional del estado de la técnica, el material de PRFC en el horno de pirólisis está ciertamente libre en dirección hacia arriba y el gas de pirólisis formado puede escapar en dirección ascendente en cualquier punto, pero no hay suficiente rotación y entremezclado del material de PRFC a tratar. Por el contrario, si se utiliza un tubo rotatorio convencional en un horno tubular rotatorio del estado de la técnica, el gas de pirólisis formado no puede escapar en una dirección ascendente, de modo que el gas de pirólisis rodearía al material de PRFC y obstaculizaría la pirólisis ulterior. Aunque un horno tubular rotatorio convencional del estado de la técnica
20 tendría ciertamente algún efecto en cuanto a la mezcladura y la rotación del material de PRFC, este sería contrarrestado por considerables inconvenientes en lo referente a la falta de capacidad para evacuar el gas de pirólisis formado durante la pirólisis. Sólo el uso según la invención o la disposición según la invención de las aberturas de salida en la pared al menos en una parte de su longitud, concretamente al menos allí donde se forma una cantidad particularmente elevada de gas de pirólisis, conduce a una solución apropiada para una instalación de pirólisis destinada a recuperar (reciclar) materiales sintéticos que contienen fibra de carbono.
25

Mediante el empleo de la instalación de pirólisis según la invención, que comprende un horno tubular rotatorio calentado indirectamente que tiene aberturas de salida, se posibilita por una parte una mezcladura, rotación y calentamiento uniformes del material de PRFC en el horno de pirólisis, y por otra parte se posibilita al mismo tiempo una evacuación eficaz de los gases de pirólisis a través de las aberturas de salida en la pared del tubo rotatorio. Esto
30 se traduce en condiciones óptimas de pirólisis y, por lo tanto, en una eliminación selectiva de solamente la matriz de material sintético, sin destruir las fibras de carbono a recuperar, en cualquier lugar del horno tubular rotatorio, de modo que al menos esencialmente no quedan residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas, después de la eliminación completa de la matriz de material sintético.

Además, mediante las aberturas de salida del horno tubular rotatorio calentado indirectamente de la instalación de pirólisis según la invención se hace posible la regulación de la atmósfera, en particular del contenido de oxígeno, dentro del horno tubular rotatorio. En combinación con el calentamiento indirecto del horno tubular rotatorio, por medio del cual se evitan fluctuaciones de temperatura, se hace posible una eliminación selectiva y al menos esencialmente completa de la matriz de material sintético sin que se destruyan las fibras de carbono recicladas, en particular se dañen fuertemente y/o se oxiden excesivamente, ya que esto daría lugar a unas propiedades mecánicas de las fibras de carbono recicladas significativamente disminuidas.
40

La combinación de un calentamiento y mezcladura uniformes del material que contiene PRFC y la regulación específica del contenido de oxígeno y/o de la temperatura, que se hace posible mediante el uso de la instalación de pirólisis según la invención que tiene el horno tubular rotatorio calentado indirectamente con aberturas de salida, conduce a fibras de carbono recicladas de alta calidad constante que, por una parte, no presentan al menos esencialmente residuos de pirólisis o de coquización en su superficie. Por otra parte, la antedicha combinación da como resultado una oxidación parcial solamente de la superficie de las fibras de carbono recicladas, esto es, una superficie, en particular hidrófila, más áspera y que muestra mayor afinidad para la unión, y un incremento de grupos que contienen oxígeno, tales como grupos hidroxilo, aldehído, carboxilo, etc., sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas resultantes. La oxidación parcial de la superficie de las fibras de carbono recicladas resultantes
50 de la combinación de la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento conduce, gracias a la superficie más áspera y funcionalizada, en particular más hidrófila, de las fibras de carbono recicladas, a una humectabilidad incrementada y, por tanto, también a una mejor facilidad de incorporación en materiales sintéticos, en comparación con fibras de carbono primarias o fibras de carbono recicladas convencionalmente.

55 En consecuencia, con la instalación de pirólisis según la invención que tiene un horno tubular rotatorio calentado indirectamente, con aberturas de salida en la pared del tubo rotatorio, en combinación con la regulación específica del contenido de oxígeno y/o de la temperatura, se consigue que las fibras de carbono recicladas ya no presenten, al menos esencialmente, residuos de pirólisis, sin que las propiedades mecánicas y eléctricas de las fibras de carbono recicladas se vean afectadas, o lo sean solo de manera no significativa, por el reciclaje. Además, debido a la oxidación parcial de la superficie de las fibras de carbono recicladas, las fibras de carbono recicladas presentan
60

una humectabilidad mejorada y, por consiguiente, una facilidad mejorada de incorporación en materiales sintéticos.

Otras ventajas, propiedades, aspectos y características de la presente invención se derivan de la siguiente descripción de ejemplos de realización preferidos, representados en los dibujos. También se pueden combinar entre sí, en caso necesario, las características descritas en lo que antecede y/o en las reivindicaciones y/o en las siguientes descripciones de las Figuras, aunque ello no se describa expresamente en detalle.

- 5
- En las Figuras:
- la Figura 1 muestra esquemáticamente un corte longitudinal del tubo rotatorio, no seccionado, según una forma de realización preferida de la instalación de pirólisis según la invención;
- 10 la Figura 2 muestra en sección una representación ampliada de la instalación de pirólisis de la Figura 1 en la zona de su extremo derecho, es decir, en la zona de la estación de carga;
- la Figura 3 muestra esquemáticamente una representación de una sección transversal a través de la instalación de pirólisis de la Figura 1 en la zona inicial del horno de pirólisis;
- la Figura 3A muestra esquemáticamente una representación de un elemento mezclador e impulsor según una forma de realización preferida de la presente invención;
- 15 la Figura 3B muestra esquemáticamente una ampliación en sección del elemento mezclador e impulsor representado en la Figura 3A;
- la Figura 4 muestra esquemáticamente una disposición de esclusa para la estación de carga según una forma de realización preferida de la instalación de pirólisis según la invención;
- 20 la Figura 5 muestra esquemáticamente un desarrollo del procedimiento según la invención para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, según una forma de realización preferida del procedimiento según la invención;
- la Figura 6A muestra esquemáticamente una representación de una fibra de carbono primaria del estado de la técnica, que tiene una superficie lisa;
- 25 la Figura 6B muestra esquemáticamente una representación de una fibra de carbono reciclada del estado de la técnica, obtenida con un procedimiento que no es según la invención, que presenta residuos de pirólisis o de coquización y también surcos; y
- la Figura 6C muestra esquemáticamente una representación de una fibra de carbono reciclada, obtenida mediante el procedimiento según la invención, que presenta surcos.

30 La instalación de pirólisis representada en las Figuras 1 a 3 sirve, en el ejemplo de realización representado, para recuperar fibras de carbono a partir de materiales sintéticos reforzados con fibras de carbono (PRFC). En lo referente al fundamento completo de esta técnica de recuperación, se remitirá a las fuentes del estado de la técnica citadas al principio.

35 Las Figuras 1 a 3 muestran una instalación de pirólisis según la invención para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono, que tiene un horno 1 de pirólisis alargado, que trabaja de forma continua mientras está en funcionamiento, para la pirólisis continua de material 2 de PRFC, que tiene en uno de sus extremos una estación 3 de carga para cargar en el horno 1 de pirólisis material 2 de PRFC a procesar, que tiene en su otro extremo una estación 6 de descarga para descargar del horno 1 de pirólisis material 7 de fibra de carbono recuperado, con un dispositivo 8 de extracción de gas para gas 9 de pirólisis producido en el horno 1 de pirólisis, que puede ser conducido después a un dispositivo de tratamiento de gas de salida, en particular una poscombustión, y con un dispositivo 10 de control, en particular para regular al menos componentes individuales del gas del horno 1 de pirólisis, en particular para regular la proporción de oxígeno (contenido de oxígeno) del gas del horno 1 de pirólisis. El horno 1 de pirólisis es un horno tubular rotatorio calentado indirectamente que tiene al menos los siguientes componentes: un tubo rotatorio alargado 11 que forma el alojamiento para el material 2 de PRFC a procesar y está conectado con la estación 3 de carga y la estación 6 de descarga, en donde el tubo rotatorio 11 está dotado en su pared, al menos en parte de su longitud, de aberturas 12 de salida para evacuar el gas 9 de pirólisis formado durante la pirólisis, y una carcasa 13, aislada del exterior, que rodea al menos en parte el tubo rotatorio 11 y tiene pasos para la estación 3 de carga y eventualmente también para la estación 6 de descarga y tiene conductos 14 de evacuación, en particular para el gas 9 de pirólisis.

40

45

50

La instalación de pirólisis representada esquemáticamente en sección longitudinal en la Figura 1 tiene como núcleo un horno 1 de pirólisis alargado, que trabaja de forma continua, para la pirólisis continua de material 2 de PRFC. A la derecha de la Figura 1 se ve una estación 3 de carga para cargar el material 2 de PRFC a procesar. En la Figura 1, este material 2 de PRFC se vierte por medio de una tolva 4 sobre una cinta transportadora continua 5 que luego

transporta el material 2 de PRFC al interior del horno 1 de pirólisis por uno de sus extremos.

5 A la izquierda de la Figura 1 se encuentra una estación 6 de descarga para la descarga de material 7 de fibras de carbono recuperado o respectivamente fibras de carbono recicladas, fuera del horno 1 de pirólisis. Allí, la estación 6 de descarga se representa como una simple cuba colectora móvil. La instalación de pirólisis tiene un dispositivo 8 de extracción de gas para gas 9 de pirólisis que se produce en el horno 1 de pirólisis. En la Figura 1, el gas 9 de pirólisis que fluye se indica mediante flechas curvadas.

Por último, la instalación de pirólisis tiene un dispositivo 10 de control para regular la atmósfera gaseosa en el horno 1 de pirólisis, en particular para regular componentes individuales del gas del horno 1 de pirólisis, preferiblemente para regular la proporción de oxígeno o contenido de oxígeno.

10 En el marco de la presente invención, se prefiere que durante la pirólisis de la matriz de material sintético del material de PRFC se ajuste subestequiométricamente la proporción de oxígeno en el gas del horno 1 de pirólisis, con respecto a la cantidad requerida para la descomposición completa de la matriz de material sintético. Además, se prefiere ajustar sobreestequiométricamente, en otra zona del horno 1 de pirólisis o después de efectuada la pirólisis de la matriz de material sintético, el contenido de oxígeno con respecto a la cantidad necesaria para la descomposición de la matriz de material sintético, con el fin de eliminar, al menos esencialmente por completo, cualesquiera residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas y oxidar al menos parcialmente la superficie.

Para comprender la enseñanza de la invención, se deben considerar ahora en conjunto las Figuras 1, 2 y 3, ya que permiten apreciar adecuadamente distintos aspectos de la enseñanza de la invención.

20 Según la invención, el horno 1 de pirólisis es un horno tubular rotatorio calentado indirectamente. Este horno tubular rotatorio calentado indirectamente presenta en primer lugar un tubo rotatorio alargado 11 que forma el alojamiento para el material 2 de PRFC a procesar. Este está conectado con la estación 3 de carga por una parte y con la estación 6 de descarga por otra. El tubo rotatorio, como es en sí habitual en un horno tubular rotatorio (véase, por ejemplo, el documento DE 10 2004 036 109 A1), está montado de manera que puede girar, por ejemplo, ya sea sobre rodillos o sobre cojinetes de bolas adecuados. Además, existe un accionamiento de giro para el tubo rotatorio 11, que no está representado en la Figura 1. Se observa que, a la derecha, la estación 3 de carga con su cinta transportadora 5 penetra un poco en el tubo rotatorio 11 y que, a la izquierda, el recipiente colector de la estación 6 de descarga está directamente debajo de la salida del tubo rotatorio 11.

30 Es esencial, según la invención, que el tubo rotatorio 11 esté provisto en su pared, en al menos parte de su longitud, de aberturas 12 de salida para evacuar gas 9 de pirólisis formado en la pirólisis. Estas aberturas 12 de salida se ven en la Figura 1 en diversos lugares. En la Figura 3, las aberturas 12 de salida del tubo rotatorio 11 están indicadas mediante las flechas de flujo del gas 9 de pirólisis allí representadas.

35 Es esencial que el gas 9 de pirólisis pueda ser evacuado de manera continuamente del tubo rotatorio 11 cerca del lugar donde se origina. De esta manera, como se ha explicado al principio, se puede controlar de manera específica el contenido de oxígeno dentro del tubo rotatorio 11.

40 La Figura 2 muestra, en representación ampliada, el extremo derecho del horno 1 de pirólisis, orientado hacia la estación 3 de carga. De manera complementaria a la Figura 1, se ven en la parte inferior de la Figura 2 cojinetes 11' de rodillos del tubo rotatorio 11. Estos cojinetes 11' de rodillos soportan el tubo rotatorio de manera que se permiten dilataciones en dirección longitudinal, debidas a la temperatura. Entre estos cojinetes 11' de rodillos se encuentra en cada caso una corona dentada 11" en la que engrana un accionamiento de rotación correspondiente.

45 Otro componente esencial según la invención de la instalación de pirólisis es, en el horno 1 de pirólisis, una carcasa 13, aislada del exterior y que rodea el tubo rotatorio 11, con un paso para la estación 3 de carga. En la Figura 1 se ve, a la derecha, el paso para la estación 3 de carga, muy aislado del tubo rotatorio 11. El aislamiento tiene en cuenta el hecho de que este es el final "caliente" del tubo rotatorio 11. Por el contrario, a la izquierda de la Figura 1 la estación 6 de descarga está ya fuera de la carcasa 13. Sobre esta peculiaridad se discutirá nuevamente más adelante.

Por último, en la carcasa 13 se encuentran también conductos 14 de evacuación por los que se evacúa, en particular, el gas 9 de pirólisis.

50 El ejemplo de realización preferido de una instalación de pirólisis según la invención, representado en la Figura 1, se caracteriza, según una particularidad adicional, por que el tubo rotatorio 11 tiene una primera sección 15 de calentamiento, que se extiende desde la estación 3 de carga, y una segunda sección 16 de enfriamiento a continuación de esta y que conduce a la estación 6 de descarga. En la Figura 1 se ve la sección 15 de calentamiento del tubo rotatorio 11 a la derecha, allí donde también está prevista la carcasa 13. Esta rodea el tubo rotatorio 11 sólo en la sección 15 de calentamiento. Sólo allí es necesario el aislamiento del exterior, ya que sólo allí se necesita un elevado aporte de calor. También se encuentran allí los conductos 14 de evacuación para el gas 9 de pirólisis. Algo a la izquierda del centro de la representación de la instalación de pirólisis de la Figura 1, se ve el paso del tubo rotatorio 11 a la sección 16 de enfriamiento. Por lo tanto, el paso en la carcasa 13 no se encuentra en la estación 6

de descarga sino en el centro del horno 1 de pirólisis entre la sección 15 de calentamiento y la sección 16 de enfriamiento.

La Figura 2 muestra el extremo derecho de la sección 15 de calentamiento del horno 1 de pirólisis.

5 El ejemplo de realización representado y preferido deja claro que, en el ejemplo de realización mostrado, en la sección 16 de enfriamiento se enfría el tubo rotatorio 11 con agua, que se distribuye desde arriba a través de boquillas 17 de rociado y se recoge bajo la sección 16 de enfriamiento del tubo rotatorio 11 en una cuba colectora 18. Así es posible que en la estación 6 de descarga se puedan descargar las fibras de carbono recicladas 7 a una temperatura ya relativamente baja.

En todo caso, se recomienda que el tubo rotatorio 11 no tenga aberturas de salida en la sección 16 de enfriamiento.

10 En cuanto a la configuración del tubo rotatorio 11 en la sección 15 de calentamiento del horno 1 de pirólisis, está previsto que las aberturas 12 de salida estén distribuidas esencialmente de manera regular sobre la circunferencia del tubo rotatorio 11. En las Figuras 1 y 2 solamente se insinúan algunas de las aberturas 12 de salida dispuestas repartidas por el perímetro. Sin embargo, se debe comprender que esto es válido, solamente a modo de ejemplo, para toda la circunferencia del tubo rotatorio 11. Una distribución por toda la circunferencia es útil, aunque no sea por
15 otra razón que por el hecho de que el tubo rotatorio 11 gira de manera continua.

Se puede apreciar en las Figuras 1 y 2 que, en el ejemplo de realización allí representado, el tamaño de las aberturas 12 de salida no es el mismo en todas partes. En el primer sector, más a la derecha, las aberturas 12 de salida son todavía relativamente pequeñas. Allí, el material 2 de PRFC aún no se ha calentado muy intensamente, de modo que solamente se desprenden pequeñas cantidades de gas 9 de pirólisis. Se comienzan a formar grandes
20 cantidades de gas 9 de pirólisis en los dos sectores siguientes de la sección 15 de calentamiento, de modo que allí las aberturas 12 de salida del tubo rotatorio 11 también tienen un diámetro sustancialmente mayor. En el siguiente sector, las aberturas de salida vuelven a disminuir, tanto en densidad como en tamaño, debido a que allí ya ha terminado en gran parte la pirólisis.

Evidentemente, el tamaño de las aberturas 12 de salida o los distintos tamaños de las aberturas 12 de salida deben adecuarse al tamaño del material 2 de PRFC, así como a las fibras de carbono contenidas en el mismo, de modo que el material 2 de PRFC o las fibras de carbono ya recicladas no caigan del tubo rotatorio 11 hacia fuera, a la carcasa 13. Esto no debería ocurrir en un grado considerable, ya que de lo contrario contrarrestaría el aspecto de
25 recuperación.

En una variante no representada de la enseñanza de la invención, puede estar previsto también adaptar el tubo rotatorio 11 a distintos materiales 2 de PRFC, de manera que las aberturas 12 de salida del tubo rotatorio 11 estén realizadas de manera ajustable.

Las Figuras 1 y 2 muestran una particularidad adicional más de la construcción de la instalación de pirólisis según la invención en este ejemplo de realización. Se aprecia que los conductos 14 de evacuación para el gas de pirólisis se encuentran en la carcasa 13 en la sección 15 de calentamiento y allí, una vez más, en su extremo orientado hacia la
35 estación 3 de carga. Con esta disposición en el primer tercio de la carcasa 13 orientado hacia la estación 3 de carga se consigue que el gas 9 de pirólisis especialmente caliente, que se encuentra más atrás en la carcasa 13, fluya en contra de la dirección de marcha del material 2 de PRFC, en dirección a la estación 3 de carga y contribuya allí, además, al calentamiento del material 2 de PRFC. Por tanto, con este "flujo contrario" se consigue una distribución de calor más uniforme hasta el extremo de carga del horno 1 de pirólisis.

40 Ya se ha indicado anteriormente que el tubo rotatorio 11 del horno 1 de pirólisis de la instalación de pirólisis según la invención también debe estar configurado de una manera particular en cuanto a la calefacción. Según la invención, conforme a la enseñanza preferida se prevén disponer en la carcasa 13, a lo largo del tubo rotatorio 11, varios sectores 19 con distintas temperaturas de gas, y que se dispongan las aberturas 12 de salida en el tubo rotatorio 11 al menos en el sector que tiene la temperatura de gas más elevada.

45 Algo se ha dicho ya, más arriba, sobre la diferente formación de gas 9 de pirólisis en los distintos sectores 19 de la sección 15 de calentamiento del tubo rotatorio 11. En una realización adicional de la enseñanza de la invención recién explicada, se recomienda que el horno 1 de pirólisis presente varios sectores 19, en particular al menos una zona 19.1 de calentamiento, una primera zona 19.2 de pirólisis, una segunda zona 19.3 de pirólisis y una zona 19.4 de enfriamiento.

50 Además, según la presente invención la composición del gas en el horno 1 de pirólisis se regula de manera diferente en los distintos sectores 19 del tubo rotatorio 11, en concreto especialmente con una baja proporción de oxígeno (contenido de oxígeno) en una primera zona 19.2 de pirólisis y una proporción de oxígeno (contenido de oxígeno) mayor, en comparación con la primera zona 19.2 de pirólisis, en una segunda zona 19.3 de pirólisis.

55 Además, según la invención se prevé, preferiblemente, que la composición del gas y/o la temperatura en el horno 1 de pirólisis se regule de manera diferente en los distintos sectores 19 del tubo rotatorio 11, en concreto con una proporción G(B1) de oxígeno (contenido de oxígeno) definida y/o con una temperatura T(B1) definida, en una

primera zona 19.2 de pirólisis, y con una proporción G(B2) de oxígeno (contenido de oxígeno) definida y/o con una temperatura T(B2) definida, en una segunda zona 19.3 de pirólisis. En particular, en este caso se incrementa el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirolisis, y/o se incrementa la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis.

Los datos de temperatura, en particular los datos de las temperaturas T(B1) y T(B2) indicados, y los valores de temperatura concretos o intervalos de valores de temperatura que se indican a continuación en este contexto, se refieren en particular a las temperaturas que se alcanzan en el objeto a tratar o a reciclar.

La Figura 3 muestra, en sección transversal cerca de la estación 3 de carga en la sección 15 de calentamiento del horno 1 de pirólisis, a la derecha, una entrada 20 de aire que tiene una válvula 21 de control que sirve para introducir aire, y por lo tanto oxígeno, en el primer sector 19.1 de la sección 15 de calentamiento.

Las Figuras 1 y 2 permiten reconocer, de manera solo esbozada, que en el ejemplo de realización representado y preferido, el tubo rotatorio 11 está dispuesto inclinado hacia abajo desde la estación 3 de carga hacia la estación 6 de descarga. Solo con esta inclinación y la rotación del tubo rotatorio 11 alrededor de su eje longitudinal se produce ya un movimiento axial de transporte del material 2 de PRFC en el tubo rotatorio 11. Sin embargo, en el ejemplo de realización representado y preferido se prevé, además, que el tubo rotatorio 11 esté provisto adicionalmente en su interior de elementos mezcladores 22, en concreto las placas deflectoras fácilmente reconocibles en la Figura 3.

Las representaciones gráficas conforme a las Figuras 3A y 3B muestran una peculiaridad que se utiliza preferiblemente en el caso de un tubo rotatorio 11 empleado según la invención. En concreto, se prevé la combinación del elemento mezclador 22 por una parte y un elemento impulsor 26, preferiblemente en forma de un tornillo impulsor, en particular un tornillo impulsor que se mueve en forma de tornillo, de hélice o de rosca, preferiblemente un tornillo de Arquímedes, por la otra. Tal como se representa en representación en corte del elemento impulsor 26 según la Figura 3B, los elementos mezcladores 22 están dispuestos preferiblemente, según la invención, entre las espiras individuales del elemento impulsor 26 en forma de un tornillo impulsor, en particular un tornillo de Arquímedes. Así se realiza un transporte forzado del material 2 de PRFC en la dirección longitudinal del tubo rotatorio 11.

La Figura 4 muestra otra particularidad más, que no está representada en las otras Figuras de los dibujos. En una variante de la invención se puede prever, en concreto, que la estación 3 de carga no esté configurada de forma abierta, como se representa en la Figura 1, equipada con una cinta transportadora 5, sino que en lugar de ello esté configurada como una esclusa de carga. La esclusa 3 de carga según la Figura 4 funciona como un tipo de vestíbulo, por medio del cual se asegura que la inevitable entrada de oxígeno debida a la carga de material 2 de PRFC en el primer sector 19.1 de la sección 15 de calentamiento del horno 1 de pirólisis pueda ser controlada cuantitativamente. La esclusa permite en cualquier caso una introducción casi continua de material 2 de PRFC en "porciones" individuales. Sin embargo, esto constituye una gran ventaja para una regulación precisa por medio del dispositivo 10 de control.

A este respecto, las Figuras 1 a 3 muestran además que el calentamiento del horno 1 de pirólisis se efectúa mediante al menos un quemador 23 de gas dispuesto en el exterior, a través de conductos 24 de gas calefactor en la carcasa 13. En la Figura 3 se ve a la izquierda, bajo la conexión, el quemador externo 23, y las flechas indican el flujo del gas calefactor en los conductos 24 de gas calefactor en el interior de la cavidad de la carcasa 13 en la que gira el tubo rotatorio 11. Después, estos gases salen nuevamente de la carcasa 13, junto con el gas de pirolisis, a través de los conductos 14 de evacuación. En la Figura 1 se puede ver el aporte a través de los conductos 24 de gas calefactor, que están dispuestos transversalmente a la dimensión longitudinal del tubo rotatorio 11 en el suelo de la carcasa 13.

En la Figura 1 se reconoce, arriba a la derecha, además del conducto 14 de evacuación allí situado, una conexión 25 para un posquemador que de manera típica se conecta aquí. Mediante el mismo se aumenta en gran medida la temperatura de los gases en los conductos 14 de evacuación, de modo que se produce allí una poscombustión del gas 9 de pirólisis.

En la Figura 3 se observa una precombustión también en el lado de entrada, partiendo desde el quemador 23 de gas. Aquí, se inicia directamente una poscombustión, concretamente en un conducto 14 de evacuación a la salida del espacio que aloja el tubo rotatorio 11 en la carcasa 13.

Las temperaturas típicas en el tubo rotatorio 11 se sitúan en 200°C a 750°C, mientras que las temperaturas típicas en la parte superior, detrás de la conexión 25, se sitúan en 1.000 a 1.200°C. También a este respecto se remite a las explicaciones detalladas del estado de la técnica discutidas al principio.

Según un segundo aspecto de la presente invención, es un objeto adicional de la presente invención el uso de una instalación de pirólisis según la presente invención para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono.

Para obtener indicaciones más extensas acerca de este aspecto de la invención, se puede remitir a las indicaciones precedentes referentes a la instalación de pirólisis según la invención, que se aplican de manera análoga en lo tocante a este aspecto de la invención.

5 Según un tercer aspecto de la presente invención, es nuevamente un objeto adicional de la presente invención un procedimiento para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono (PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono,

10 en donde se somete un objeto a base de un material sintético que contiene fibras de carbono, que comprende fibras de carbono en una matriz de material sintético, a una pirólisis de varias etapas en presencia de oxígeno, en donde en la pirólisis se descompone el material sintético de la matriz de material sintético, obteniendo las fibras de carbono,

15 en donde la pirólisis se lleva a cabo en una instalación de pirólisis según la presente invención con un horno de pirólisis, en donde el horno de pirólisis comprende al menos las siguientes zonas de tratamiento, en concreto los siguientes sectores del tubo rotatorio, en el orden especificado a continuación, y el objeto recorre en este orden las siguientes zonas de tratamiento:

(A) una zona A de calentamiento, en la que se calienta a una temperatura T(A) definida el objeto a tratar y/o a reciclar,

20 (B1) a continuación, una primera zona B1 de pirólisis en la que se inicia y/o se lleva a cabo, a una temperatura T(B1) definida y un contenido G(B1) de oxígeno definido, una pirólisis del material sintético de la matriz de material sintético del objeto a tratar,

(B2) a continuación, una segunda zona B2 de pirólisis en la que se lleva a cabo, a una temperatura T(B2) definida y un contenido G(B2) de oxígeno definido, una pirólisis final del material sintético de la matriz de material sintético del objeto a tratar aún remanente tras la zona B1 de pirólisis, hasta la eliminación al menos esencialmente completa,

25 (C) a continuación, una zona C de enfriamiento para enfriar las fibras de carbono recicladas RF obtenidas de la segunda zona B2 de pirólisis,

en donde se incrementa el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis frente al contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis en 3% en volumen a 25% en volumen y en donde se incrementa la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis frente a la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis en 25°C a 300°C.

30 En la Figura 5 se representa el procedimiento según la invención, que puede llevarse a cabo en una instalación de pirólisis según la Figura 1. Se representa el procedimiento según la invención para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibras de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibras de carbono (PRFC o materiales PRFC), preferiblemente a partir de materiales mixtos (materiales compuestos) que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono, en donde se somete un objeto a base de un material sintético que contiene fibras de carbono, que comprende fibras de carbono en una matriz de material sintético, a una pirólisis de varias etapas en presencia de oxígeno, en donde en la pirólisis se descompone el material sintético de la matriz de material sintético, obteniendo las fibras de carbono, en donde la pirólisis se lleva a cabo en una instalación de pirólisis según una de las reivindicaciones precedentes con un dispositivo P de pirólisis, en particular un horno 1 de pirólisis, en donde el dispositivo P de pirólisis comprende al menos las siguientes zonas de tratamiento, en particular las siguientes secciones 19 del tubo rotatorio 11, en el orden especificado a continuación, y el objeto recorre en este orden las siguientes zonas de tratamiento:

(A) una zona A de calentamiento (corresponde al número de referencia 19.1 de la Figura 1) en la que se calienta a una temperatura T(A) definida el objeto a tratar y/o reciclar,

45 (B1) a continuación, una primera zona B1 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.2 de la Figura 1) en la que se inicia y/o se lleva a cabo, a una temperatura T(B1) definida y un contenido G(B1) de oxígeno definido, una pirólisis del material sintético de la matriz de material sintético del objeto a tratar,

(B2) a continuación, una segunda zona B2 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.3 de la Figura 1) en la que se lleva a cabo, a una temperatura T(B2) definida y un contenido G(B2) de oxígeno definido, una pirólisis final del material sintético de la matriz de material sintético del objeto a tratar aún remanente tras la zona B1 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.2 de la Figura 1), hasta la eliminación al menos esencialmente completa,

50 (C) a continuación, una zona C de enfriamiento (corresponde al número de referencia 19.4 de la Figura 1) para enfriar las fibras de carbono recicladas RF (corresponden al número de referencia 7 de la Figura 1) obtenidas de la segunda zona B2 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.3 de la Figura 1),

en donde se incrementa el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.3 de la Figura 1) frente al contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.2 de la Figura 1) y en donde se incrementa la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.3 de la Figura 1) frente a la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.2 de la Figura 1).

Los datos de temperatura, en particular los datos de las temperaturas T(B1) y T(B2), y los valores de temperatura concretos o intervalos de valores de temperatura que se indican a continuación en este contexto, se refieren en particular a las temperaturas que se alcanzan en el objeto a tratar o a reciclar.

La Figura 5 muestra esquemáticamente, según una forma de realización preferida de la invención, un desarrollo del procedimiento según la invención para recuperar (reciclar) fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibras de carbono, que se realiza en la instalación de pirólisis según la Figura 1. En primer lugar, en un dispositivo P de pirólisis se calienta a una temperatura definida la matriz de material sintético del material sintético PRFC que contiene fibra de carbono a tratar, en una zona A de calentamiento (corresponde al número de referencia 19.1 en la Figura 1) y, en el paso siguiente, se somete a una pirólisis selectiva a una temperatura definida y un contenido de oxígeno definido en una primera zona B1 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.2 en la Figura 1). En una segunda zona B2 de pirólisis (corresponde al número de referencia 19.3 en la Figura 1) que sigue a la primera zona B1 de pirólisis, se efectúan la pirólisis final de la matriz de material sintético aún remanente del material sintético PRFC que contiene fibra de carbono, hasta la eliminación al menos esencialmente completa de la matriz de material sintético y asimismo la eliminación completa de los residuos de pirólisis de la superficie de las fibras de carbono recicladas. Posteriormente, se realiza un enfriamiento en una zona C de enfriamiento (corresponde al número de referencia 19.4 en la Figura 1), de modo que finalmente se obtienen las fibras de carbono recicladas RF (corresponden al número de referencia 7 en la Figura 1) obtenidas de esta manera.

La Figura 6A muestra esquemáticamente una fibra de carbono primaria 1 del estado de la técnica, que tiene una estructura superficial lisa.

La Figura 6B muestra esquemáticamente una fibra de carbono reciclada 1' del estado de la técnica, que se obtiene mediante un procedimiento que no es según la invención. La superficie de la fibra de carbono reciclada 1' tiene surcos 2 que se originan por oxidación de la superficie de la fibra de carbono durante el reciclaje. Además, sobre la superficie de la fibra de carbono reciclada convencionalmente 1' está presente una cantidad significativa de residuos 3 de pirólisis o de coquización. Debido a la cantidad significativa de residuo 3 de pirólisis o de coquización, la facilidad de incorporación en materiales sintéticos de la fibra de carbono reciclada convencionalmente 1', que se ha obtenido por un procedimiento que no es según la invención, no es mejor, o no es significativamente mejor, que la facilidad de incorporación de la fibra de carbono primaria 1.

La Figura 6C muestra esquemáticamente una fibra de carbono reciclada 1'' que se obtiene mediante el procedimiento según la invención. La superficie de la fibra de carbono reciclada presenta surcos 2' a consecuencia de la oxidación de la fibra de carbono reciclada durante el reciclaje. Sin embargo, gracias a la ejecución según la invención del proceso, no existen residuos de pirólisis o de coquización sobre la superficie de la fibra de carbono reciclada 1'', según la invención. Por tanto, la fibra de carbono reciclada 1'' según la invención presenta, comparada con la fibra de carbono primaria 1, y también comparada con la fibra de carbono reciclada 1' que no es según la invención, una facilidad de incorporación en materiales sintéticos significativamente mejorada.

Las representaciones esquemáticas según las Figuras 6A, 6B y 6C corresponden a análisis microscópicos llevados a cabo por el solicitante sobre los productos correspondientes.

Se observará una peculiaridad de la presente invención, en particular, en que mediante la combinación de instalación de pirólisis según la invención, que comprende un horno tubular rotatorio calentado indirectamente con aberturas de salida, y la ejecución, según la invención, del proceso, en particular un aumento del contenido de oxígeno y/o de la temperatura en la segunda zona de pirólisis, se obtienen fibras de carbono recicladas que, sorprendentemente, no presentan al menos esencialmente residuos de pirólisis de ningún tipo y, además, en particular debido a la oxidación parcial de la superficie de las fibras de carbono, presentan una mejor humectabilidad en comparación con fibras de carbono primarias y con fibras de carbono recicladas convencionalmente.

Por lo tanto, la combinación de instalación de pirólisis según la invención y procedimiento según la invención permite una eliminación selectiva del material sintético de la matriz de material sintético, pero sin que se destruyan las fibras de carbono recicladas y, en consecuencia, no aparezca ningún deterioro significativo de las propiedades mecánicas, en particular de la resistencia a la tracción y del módulo de elasticidad, y propiedades eléctricas, de modo que las propiedades de material de las fibras de carbono recicladas corresponden al menos esencialmente a las de las fibras de carbono primarias.

Además, mediante la combinación de instalación de pirólisis según la invención y procedimiento según la invención se oxida ligeramente la superficie de las fibras de carbono recicladas, es decir, la superficie es más áspera y el número de grupos funcionales que contienen oxígeno sobre la superficie de las fibras de carbono, por ejemplo grupos fenol, carboxilo, carbonilo, aldehído, ceto, hidroxilo y/u oxo, es significativamente mayor que en el caso de

fibras de carbono primarias o fibras de carbono recicladas convencionalmente.

La aspereza y la mayor hidrofilia de las fibras de carbono recicladas que resulta de la superficie oxidada conducen a una humectabilidad mejorada y, por lo tanto, también a una facilidad mejorada de incorporación de las fibras de carbono recicladas en materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos.

5 Según la presente invención, se incrementa el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis al menos en 3% en volumen, en particular al menos en 5% en volumen, preferiblemente al menos en 7,5% en volumen, de manera particularmente preferible al menos en 10% en volumen, en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis. Para evitar la oxidación de las fibras de carbono en la primera zona B1 de pirólisis, se utiliza una cantidad de oxígeno menor que en la segunda zona B2 de pirólisis, en la que se efectúa la eliminación de eventuales residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas. Así, la descomposición de la matriz de material sintético tiene lugar, al menos esencialmente, en el primer sector B1 de pirólisis, con contenidos de oxígeno más bajos que los de la eliminación de residuos de pirólisis en la segunda zona B2 de pirólisis. La presencia de solamente pequeñas cantidades de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis se consigue, por una parte, por medio de la estación 3 de carga, en particular en forma de una esclusa de entrada, y por otra parte, en particular, también porque la atmósfera en la primera zona B1 de pirólisis está esencialmente saturada con vapor que se compone, en particular, de productos de descomposición gaseosos que se forman en la pirólisis de la matriz de material sintético y que tienen sólo una pequeña proporción de oxígeno.

A este respecto, se prevé que se incremente el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis, en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis, en 3% en volumen a 25% en volumen, en particular en 5% en volumen a 20% en volumen, preferiblemente en 7,5% en volumen a 17,5% en volumen, de manera particularmente preferible en 10% en volumen a 15% en volumen. Como ya se ha indicado en lo que antecede, se ajusta un contenido de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis mayor que en la primera zona B1 de pirólisis con el fin de eliminar, al menos esencialmente por completo, eventuales residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas.

25 En el marco según la presente invención, se obtienen resultados particularmente buenos cuando se ajusta el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis a valores en el intervalo de 0,1% en volumen a 12% en volumen, en particular en el intervalo de 0,5% en volumen a 10% en volumen, preferiblemente en el intervalo de 0,75% en volumen a 6% en volumen, de manera particularmente preferible en el intervalo de 1% en volumen a 4% en volumen, y se ajusta el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis a valores en el intervalo de 2% en volumen a 30% en volumen, en particular en el intervalo de 3% en volumen a 20% en volumen, preferiblemente en el intervalo de 5% en volumen a 17% en volumen, de manera particularmente preferible en el intervalo de 6% en volumen a 14% en volumen, pero con la condición de que se aumente el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis al menos en 3% en volumen, en particular al menos en 5% en volumen, preferiblemente al menos en 7,5% en volumen, de manera particularmente preferible al menos en 10% en volumen, en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis, y/o de que se aumente el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis en 3% en volumen a 25% en volumen, en particular en 5% en volumen a 20% en volumen, preferiblemente en 7,5% en volumen a 17,5% en volumen, de manera particularmente preferible en 10% en volumen a 15% en volumen, en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis.

40 En el marco de la presente invención puede preverse, en particular, que el contenido de oxígeno en la primera y segunda zonas B1 y B2 de pirólisis se controle y/o se regule de manera que el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis se ajuste subestequiométricamente con respecto a la matriz de material sintético a descomponer, y el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis se ajuste sobreestequiométricamente con respecto a la matriz de carbono a descomponer. Con ello se prefiere, según la invención, que la descomposición de la matriz de material sintético se lleve a cabo en presencia de cantidades menores de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis, y la eliminación de eventuales residuos de pirólisis se lleve a cabo en presencia de cantidades de oxígeno superiores, en la segunda zona B2 de pirólisis. En particular, se ajusta el contenido de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis de modo que está presente en una cantidad que es menor que la cantidad de oxígeno requerida para la combustión de los productos de descomposición gaseosos de la matriz de material sintético; la pequeña cantidad de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis es necesaria para evitar la oxidación de las fibras de carbono y, con ello, la destrucción parcial o completa de las fibras de carbono, lo que daría como resultado propiedades mecánicas y eléctricas significativamente empeoradas. Sin embargo, en la segunda zona B2 de pirólisis es necesario un contenido de oxígeno superior en la atmósfera, con respecto a la matriz de material sintético a descomponer, para una combustión completa de eventuales residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas.

Preferiblemente, según la invención puede preverse que se regule o se controle el contenido de oxígeno durante la pirólisis, preferiblemente durante todo el proceso, en particular el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis y el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis, preferiblemente mediante extracción de productos de descomposición procedentes de la descomposición de la matriz de material sintético, en particular productos de descomposición gaseosos, y/o mediante aporte de oxígeno, preferiblemente en forma de aire. Según la invención, el contenido de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis y en la segunda zona B2 de pirólisis se controla

mediante la extracción de los productos de descomposición gaseosos de la matriz de material sintético a través de las aberturas de salida del horno tubular rotatorio calentado indirectamente, de modo que el contenido de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis sea lo suficientemente alto para hacer posibles la descomposición y combustión parciales de la matriz de material sintético, pero por otro lado sea lo suficientemente bajo para limitar a un nivel mínimo, o evitar por completo, la destrucción de las fibras de carbono por oxidación. Además, según la invención se ajusta el contenido de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis de modo que se garantice la combustión de eventuales residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas y se produzca una oxidación parcial de la superficie de las fibras de carbono recicladas, pero sin destruir las fibras de carbono recicladas. El ajuste del contenido de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis y en la segunda zona B2 de pirólisis se realiza, según la invención, mediante extracción de los productos de descomposición gaseosos de la matriz de material sintético a través de las aberturas de salida del horno tubular rotatorio calentado indirectamente. Mediante la extracción de los gases de combustión se origina un efecto de succión, a consecuencia del cual fluye aire a través de la instalación de pirólisis preferiblemente abierta, a la zona respectiva del horno tubular rotatorio calentado indirectamente. De este modo resulta muy fácil, desde el punto de vista de la ingeniería de procesos, la regulación y/o el control del contenido de oxígeno en la zona de pirólisis respectiva, y no requiere el uso de gases costosos, tales como el oxígeno.

A este respecto, se puede prever que el contenido de oxígeno durante la pirólisis, preferiblemente durante todo el proceso, en particular el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis y el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis, se puede medir por medio de dispositivos medidores de oxígeno, en particular sensores y/o sondas de presión sensibles al oxígeno. De este modo, en particular por medio de los dispositivos medidores de oxígeno, se puede controlar y/o regular el contenido de oxígeno mediante la extracción de productos de descomposición procedentes de la descomposición de la matriz de material sintético, preferiblemente por medio de un dispositivo extractor de gas, y/o mediante el aporte de oxígeno. En el marco de la presente invención, se puede medir el contenido de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis y en la segunda zona B2 de pirólisis por medio de sensores y/o sondas de presión, tales como tubos de Pitot. El contenido de oxígeno determinado sirve, en el marco de la presente invención, para regular el dispositivo de extracción de gas, en función del contenido de oxígeno determinado y del valor de consigna del contenido de oxígeno en la respectiva zona de pirólisis. Así, se puede incrementar el contenido de oxígeno mediante la extracción de gases de combustión gaseosos en la primera y segunda zonas de pirólisis a través de las aberturas de salida del horno tubular rotatorio calentado indirectamente, ya que mediante la extracción de los productos de descomposición gaseosos, y en virtud del efecto de succión resultante y la instalación de pirólisis abierta utilizada según la invención, fluye aire desde el ambiente a la zona de pirólisis respectiva. Mediante el aumento del contenido de oxígeno en la atmósfera de la zona de pirólisis respectiva se favorece la combustión tanto de la matriz de material sintético como también de eventuales residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas. Sin embargo, también se produce una oxidación acrecentada de la superficie de las fibras de carbono recicladas.

Según una realización preferida de la presente invención, el contenido de oxígeno durante la pirólisis, preferiblemente durante todo el proceso, en particular el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis y el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis, se regula y/o controla de manera que en la primera zona B1 de pirólisis se piroliza de manera al menos esencialmente selectiva solamente la matriz de material sintético, y en la segunda zona B2 de pirólisis se eliminan de manera al menos esencialmente selectiva solamente la matriz de material sintético todavía remanente después de la primera zona B1 de pirólisis y residuos (de coque) de pirólisis, y se oxida al menos parcialmente la superficie de las fibras de carbono así recicladas. Mediante el control del contenido de oxígeno en la primera y segunda zonas B1 y B2 de pirólisis se puede pirolizar selectivamente la matriz de material sintético, es decir, descomponerla térmicamente de manera selectiva en presencia de un cierto contenido de oxígeno, pero sin que tenga lugar una oxidación excesiva de la superficie de las fibras de carbono recicladas. La descomposición térmica de la matriz de material sintético no se ve afectada por la cantidad reducida de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis, pero tiene lugar una combustión reducida de los productos de descomposición gaseosos del material sintético de la matriz de material sintético, así como solamente una pequeña oxidación de las fibras de carbono. En la segunda zona B2 de pirólisis se ajusta el contenido de oxígeno de manera que se elimina la matriz de material sintético remanente y también residuos de pirólisis formados sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas en la primera zona B1 de pirólisis. Debido a la mayor cantidad de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis, tiene lugar allí, además, una oxidación al menos parcial de la superficie de las fibras de carbono recicladas, lo que conduce al mismo tiempo a una humectabilidad mejorada, como consecuencia de la superficie más hidrófila y más áspere.

Como se ha descrito más arriba, se puede prever según la invención que la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis esté incrementada en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis.

A este respecto, se puede prever según la invención que la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis esté incrementada al menos en 25°C, en particular al menos en 50°C, preferiblemente al menos en 75°C, de manera particularmente preferible al menos en 100°C, de manera aún más preferible al menos en 125°C, de manera muy particularmente preferible al menos en 150°C, en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis. Para asegurar la eliminación esencialmente completa de los residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas en la segunda zona B2 de pirólisis, se puede seleccionar en la segunda zona B2 de pirólisis un temperatura T(B2) mayor que en la primera zona B1 de pirólisis ya que, a temperaturas elevadas, en

particular en combinación con mayores contenidos de oxígeno, se asegura una eliminación al menos esencialmente completa de eventuales residuos (de coque) de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas. Sin embargo, la temperatura no debe exceder de un cierto valor máximo, puesto que de lo contrario se oxidan en exceso las fibras de carbono recicladas y, en consecuencia, la destrucción al menos parcial de las fibras de carbono recicladas que se produce podría reducir significativamente también su estabilidad mecánica.

En particular, se puede prever que la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis pueda incrementarse en 25°C a 300°C, en particular en 50°C a 250°C, preferiblemente en 75°C a 200°C, de manera particularmente preferible en 100°C a 175°C, en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis.

Preferiblemente, se puede prever según la invención ajustar la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis en el intervalo de 375°C a 475°C, en particular en el intervalo de 390°C a 465°C, preferiblemente en el intervalo de 415°C a 455°C, de manera particularmente preferible en el intervalo de 430°C a 445°C, y ajustar la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis en el intervalo de 450°C a 750°C, en particular en el intervalo de 480°C a 690°C, preferiblemente en el intervalo de 510°C a 675°C, de manera particularmente preferible en el intervalo de 515°C a 650°C, pero con la condición de que la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis esté incrementada al menos en 25°C, en particular al menos en 50°C, preferiblemente al menos en 75°C, de manera particularmente preferible al menos en 100°C, aún más preferiblemente al menos en 125°C, de manera muy particularmente preferible al menos en 150°C, en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis y/o que la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis esté incrementada en 25°C a 300°C, en particular en 50°C a 250°C, preferiblemente en 75°C a 200°C, de manera particularmente preferible en 100°C a 175°C, en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis. La zona primera B1 de pirólisis sirve para descomponer selectivamente la matriz de material sintético y quemar al menos parcialmente los productos de descomposición gaseosos resultantes de ello, con el oxígeno presente en la atmósfera de la zona B1 de pirólisis; debido a la pequeña cantidad de oxígeno en la atmósfera de la primera zona B1 de pirólisis, se produce una descomposición retardada de la matriz de material sintético, de modo que se pueden formar residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono. Estos residuos de pirólisis deben ser eliminados en una segunda zona B2 de pirólisis a temperaturas más altas que en la primera zona B1 de pirólisis, evitándose una oxidación excesiva de las fibras de carbono recicladas, como se ha indicado más arriba, mediante el ajuste de una temperatura definida y un contenido de oxígeno definido.

A este respecto, se puede prever que la temperatura durante la pirólisis, preferiblemente durante todo el proceso, en particular la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis y la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis, se regule y/o se controle, preferiblemente por medio de dispositivos de medición de temperatura, en particular sensores sensibles a la temperatura. El control de la temperatura en la primera y la segunda zonas B1 y B2 de pirólisis por medio de sensores sensibles a la temperatura es recomendable con el fin de, por una parte, garantizar la pirólisis selectiva de la matriz de material sintético en la primera zona B1 de pirólisis y, por otra, asegurar la eliminación completa de eventuales residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas en la segunda zona B2 de pirólisis. A este respecto, se debería garantizar, por tanto, una regulación definida de las temperaturas T(B1) y T(B2) en la primera y segunda zonas B1 y B2 de pirólisis, para evitar una oxidación y/o destrucción excesivas de las fibras de carbono, lo que daría como resultado una estabilidad mecánica significativamente reducida de las fibras de carbono recicladas.

Según la invención, preferiblemente se puede prever que la temperatura durante la pirólisis, preferiblemente durante todo el proceso, en particular la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis y la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis, se regulen y/o controlen de manera que en la primera zona B1 de pirólisis se pirolíce al menos de manera esencialmente selectiva solamente la matriz de material sintético y en la segunda zona B2 se eliminen al menos de manera esencialmente selectiva solamente la matriz de material sintético todavía remanente después de la primera zona B1 de pirólisis y residuos (de coque) de pirólisis, y se oxide al menos parcialmente la superficie de las fibras de carbono así recicladas.

Según la invención, se incrementa el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis, y se incrementa la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis. A este respecto se prefiere, según la presente invención, que se ajuste el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis a valores en el intervalo de 0,1% en volumen a 12% en volumen, en particular en el intervalo de 0,5% en volumen a 10% en volumen, preferiblemente en el intervalo de 0,75% en volumen a 6% en volumen, de manera particularmente preferible en el intervalo de 1% en volumen a 4% en volumen, y se ajuste el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis a valores en el intervalo de 2% en volumen a 30% en volumen, en particular en el intervalo de 3% en volumen a 20% en volumen, preferiblemente en el intervalo de 5% en volumen a 17% en volumen, de manera particularmente preferible en el intervalo de 6% en volumen a 14% en volumen, pero con la condición de que se incremente el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis al menos en 3% en volumen, en particular al menos en 5% en volumen, preferiblemente al menos en 7,5% en volumen, de manera particularmente preferible al menos en 10% en volumen, en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis y/o que se incremente el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis en 3% en volumen a 25% en volumen, en particular en 5% en volumen a 20% en volumen, preferiblemente en 7,5% en volumen a 17,5% en volumen, de manera particularmente preferible en 10%

en volumen a 15% en volumen, en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis. Además, se prefiere a este respecto, según la presente invención, que se ajuste la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis en el intervalo de 375°C a 475°C, en particular en el intervalo de 390°C a 465°C, preferiblemente en el intervalo de 415°C a 455°C, de manera particularmente preferible en el intervalo de 430°C a 445°C, y se ajuste la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis en el intervalo de 450°C a 750°C, en particular en el intervalo de 480°C a 690°C, preferiblemente en el intervalo de 510°C a 675°C, de manera particularmente preferible en el intervalo de 515°C a 650°C, pero con la condición de que se incremente la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis al menos en 25°C, en particular al menos en 50°C, preferiblemente al menos en 75°C, de manera particularmente preferible al menos en 100°C, aún más preferiblemente al menos en 125°C, de manera muy particularmente preferible al menos en 150°C, en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis y/o que se incremente la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis en 25°C a 300°C, en particular en 50°C a 250°C, preferiblemente en 75°C a 200°C, de manera particularmente preferible en 100°C a 175°C, en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis.

En el marco de la presente invención se prevé que se incremente el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis, y se incremente la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis. A este respecto, se prevé además que se ajuste el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis en el intervalo de 0,75% en volumen a 6% en volumen y se ajuste el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis en el intervalo de 6% en volumen a 14% en volumen, pero con la condición de que se incremente el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 de pirólisis al menos en 3% en volumen a 13% en volumen, en comparación con el contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 de pirólisis. Además, a este respecto se prefiere, según la invención, que se ajuste la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis en el intervalo de 375°C a 475°C y se ajuste la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis en el intervalo de 450°C a 750°C, pero con la condición de que se incremente la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis en 50°C a 250°C en comparación con la temperatura T(B1) en la primera zona B1 de pirólisis.

Como ya se ha explicado más arriba, la combinación de la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento, en particular el incremento controlado del contenido G(B2) de oxígeno y/o de la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 de pirólisis del horno tubular rotatorio calentado indirectamente con aberturas de salida, conduce a fibras de carbono recicladas que al menos esencialmente ya no presentan residuos de pirólisis y que, debido a una oxidación parcial de la superficie, presentan una superficie más hidrófila y más áspera en comparación con fibras de carbono primarias o fibras de carbono recicladas convencionalmente. Esto conduce a una mejor humectabilidad y facilidad de incorporación, en materiales sintéticos, de las fibras de carbono recicladas resultantes de la ejecución, según la invención, del procedimiento, en comparación con fibras de carbono primarias o fibras de carbono recicladas convencionalmente. No obstante, al mismo tiempo se regula específicamente según la invención la oxidación de la superficie de modo que las propiedades mecánicas, en particular la estabilidad mecánica, preferiblemente la rigidez y la resistencia a la tracción, de las fibras de carbono recicladas permanezcan esencialmente inalteradas en comparación con las de las fibras de carbono primarias.

Por lo general, el tiempo de residencia del objeto a reciclar puede variar dentro de amplios intervalos:

En particular, el tiempo VD(B1) de residencia del objeto a reciclar en la primera zona B1 de pirólisis se sitúa en el intervalo de 0,1 a 60 minutos, en particular en el intervalo de 0,5 a 30 minutos, preferiblemente en el intervalo de 0,75 a 15 minutos, de manera particularmente preferible en el intervalo de 1 a 10 minutos, de manera muy particularmente preferible en el intervalo de 1 a 8 minutos. El tiempo de residencia en la primera zona B1 de pirólisis es, en particular, suficiente para asegurar una eliminación al menos esencialmente completa de la matriz de material sintético; sin embargo, el tiempo de residencia en la primera zona B1 de pirólisis no debe exceder de un tiempo determinado, a fin de evitar la oxidación de las fibras de carbono, así como tiempos de proceso excesivamente largos y, por tanto, duraciones de proceso antieconómicas. El tiempo de residencia VD(B1) se puede ajustar, por ejemplo, por medio de la velocidad de transporte de los objetos a reciclar, dentro de la primera zona B1 de pirólisis, y/o por medio de la longitud o extensión espacial de la primera zona B1 de pirólisis.

Además, en particular se puede prever, según la invención, que el tiempo VD(B2) de residencia del objeto a reciclar en la segunda zona B2 de pirólisis se sitúe en el intervalo de 0,01 a 30 minutos, en particular en el intervalo de 0,1 a 12 minutos, preferiblemente en el intervalo de 0,5 a 7,5 minutos, de manera particularmente preferible en el intervalo de 1 a 6 minutos, de manera muy particularmente preferible en el intervalo de 2 a 5 minutos. Resulta ventajoso, según la invención, que se regule el tiempo de residencia en la segunda zona B2 de pirólisis de manera que, por una parte, se evite una oxidación excesiva de la superficie de las fibras de carbono recicladas, en caso de temperaturas elevadas, pero, por otra parte, se eliminen al menos esencialmente eventuales residuos de pirólisis. Dado que los tiempos de residencia dependen, en particular, de la temperatura y/o el contenido de oxígeno, con bajas temperaturas y/o bajos contenidos de oxígeno se debería utilizar un tiempo de residencia incrementado, mientras que temperaturas más altas y/o contenidos más altos de oxígeno dan como resultado un tiempo de residencia inferior. Además, el tiempo de residencia en las respectivas zonas B1 y B2 de pirólisis depende también, en particular, de las dimensiones o medidas del objeto a reciclar, así como de su composición. En particular, los objetos

5 voluminosos o los objetos impregnados con resina pueden conducir a un tiempo de residencia incrementado en las zonas primera y/o segunda B1 y B2 de pirólisis, a fin de garantizar, por una parte, la eliminación completa de la matriz de material sintético y, por otra, una eliminación completa de eventuales residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas. El tiempo VD(B2) de residencia se puede ajustar, por ejemplo, por medio de la velocidad de avance de los objetos a reciclar, dentro de la segunda zona B2 de pirólisis, y/o por medio de la longitud o extensión espacial de la segunda zona B2 de pirólisis.

10 A este respecto, se puede prever según la invención que la relación Q entre el tiempo VD(B1) de residencia del objeto a reciclar, en la primera zona B1 de pirólisis, y el tiempo VD(B2) de residencia del objeto a reciclar, en la segunda zona B2 de pirólisis, puede valer al menos 1,05, en particular al menos 1,1, preferiblemente al menos 1,2, más preferiblemente al menos 1,3, de manera particularmente preferible al menos 1,5, y/o como máximo 4, en particular como máximo 3,5, preferiblemente como máximo 3, más preferiblemente como máximo 2,75, de manera particularmente preferible como máximo 2,5. En particular, se pueden alcanzar tiempos de residencia mayores en la primera zona B1 de pirólisis en comparación con la segunda zona B2 de pirólisis haciendo que la zona B1 de pirólisis tenga una longitud o extensión espacial mayor que la zona B2 de pirólisis y/o que la velocidad de avance de los objetos a reciclar sea mayor en la primera zona B1 de pirólisis que en la segunda zona B2 de pirólisis.

15 Preferiblemente según la invención, la relación Q entre el tiempo VD(B1) de residencia del objeto a reciclar, en la primera zona B1 de pirólisis, y el tiempo VD(B2) de residencia del objeto a reciclar, en la segunda zona B2 de pirólisis, puede satisfacer la siguiente desigualdad:

$$1,05 \leq Q \leq 4, \text{ en particular } 1,1 \leq Q \leq 3,5, \text{ preferiblemente } 1,2 \leq Q \leq 3,$$

20 más preferiblemente $1,2 \leq Q \leq 2,75$, de manera particularmente preferible $1,2 \leq Q \leq 2,5$

Además, puede preverse según la invención que el tiempo de residencia del objeto a reciclar, en la zona A de calentamiento, se sitúe en el intervalo de 0,05 a 20 minutos, en particular en el intervalo de 0,1 a 15 minutos, preferiblemente en el intervalo de 0,5 a 10 minutos, de manera particularmente preferible en el intervalo de 1 a 5 minutos, de manera muy particularmente preferible en el intervalo de 1,5 a 4 minutos. A este respecto, se puede prever, según la invención, que la temperatura en la zona A de calentamiento se sitúe en el intervalo de 50°C a 350°C, en particular de 100°C a 325°C, preferiblemente de 150°C a 300°C, de manera particularmente preferible de 205°C a 295°C. El uso de una zona A de calentamiento resulta ventajoso, ya que se precalienta a una cierta temperatura determinada el material a reciclar y por tanto se consigue muy rápidamente en la primera zona B1 de pirólisis una temperatura uniforme del objeto a reciclar. Esto garantiza una eliminación uniforme de la matriz de material sintético con tiempos de residencia más cortos, y por lo tanto también una calidad constante de las fibras de carbono recicladas, ya que se evita una eliminación irregular de la matriz de material sintético a consecuencia de fuertes gradientes de temperatura. Además, mediante el uso de una zona A de calentamiento se pueden reducir significativamente los tiempos de proceso del procedimiento según la invención, puesto que mediante el calentamiento del objeto a reciclar a una temperatura determinada se posibilitan tiempos de residencia más cortos en la primera zona B1 de pirólisis.

Además, según la invención el tiempo de residencia de las fibras de carbono recicladas en la zona C de enfriamiento puede situarse en el intervalo de 0,1 a 30 minutos, en particular en el intervalo de 0,5 a 25 minutos, preferiblemente en el intervalo de 1 a 20 minutos, de manera particularmente preferible en el intervalo de 5 a 18 minutos, de manera muy particularmente preferible en el intervalo de 7,5 a 15 minutos. En este contexto, la temperatura en la zona C de enfriamiento se puede situar, en particular, en el intervalo de 10°C a 350°C, en particular de 20°C a 250°C, preferiblemente de 25°C a 200°C, de manera particularmente preferible de 30°C a 150°C. La zona C de enfriamiento sirve para preenfriar las fibras de carbono recicladas, por lo que se garantiza un rápido enfriamiento posterior de las fibras de carbono recicladas, en la sección 16 de enfriamiento y, por lo tanto, una elaboración, en particular desmenuzamiento, envasado y/o almacenamiento, más rápida. La zona C de enfriamiento se puede enfriar, por ejemplo, mediante aire que es introducido por soplado en la zona C de enfriamiento.

En cuanto a otros aspectos del procedimiento según la invención, el procedimiento según la invención se puede ejecutar, en principio, de forma continua o discontinua, preferiblemente de forma continua. La ejecución de forma continua del procedimiento según la invención permite un proceso ahorrador de energía, y por lo tanto económico, ya que el mantenimiento de una temperatura constante es más económico. Además, mediante una ejecución continua del procedimiento se evitan fluctuaciones térmicas en las zonas B1 y B2 de pirólisis, que podrían tener un influjo adverso sobre la calidad de las fibras de carbono recicladas y también sobre la vida útil del dispositivo P de pirólisis, en particular del horno 1 de pirólisis que tiene el horno tubular rotatorio 11 calentado indirectamente. Además, la ejecución continua del procedimiento permite una elaboración directa de los objetos a reciclar, sin costoso almacenamiento del material a reciclar.

55 Además, se puede prever según la presente invención que el dispositivo P de pirólisis que, en particular, está dispuesto entre la primera zona B1 de pirólisis y la segunda zona B2 de pirólisis presente al menos una zona adicional de pirólisis, en particular al menos dos zonas adicionales de pirólisis, preferiblemente al menos tres zonas adicionales de pirólisis. A este respecto también se prevé, según la invención, que el dispositivo P de pirólisis dispuesto en particular entre la primera zona B1 de pirólisis y la segunda zona B2 de pirólisis, presente de 1 a 10

zonas adicionales de pirólisis, en particular de 2 a 8 zonas adicionales de pirólisis, preferiblemente de 3 a 7 zonas adicionales de pirólisis, muy preferiblemente de 4 a 6 zonas adicionales de pirólisis.

5 Con respecto a la invención, se prefiere que una o más zonas del dispositivo P de pirólisis, preferiblemente todas las zonas del dispositivo de pirólisis, no estén separadas físicamente y/o una suceda a otra, sino que una o más zonas del dispositivo P de pirólisis, en particular, la primera zona B1 de pirólisis y la segunda zona B2 de pirólisis, estén físicamente separadas, en particular por medio de una o varias esclusas.

10 Además, en el marco de la presente invención puede preverse que el objeto a tratar y/o a reciclar pueda ser sometido a un pretratamiento, en particular un desmenuzamiento, antes de la zona A de calentamiento. Puede resultar ventajoso que el objeto a reciclar sea sometido a desmenuzamiento antes de la zona A de calentamiento, con el fin de que el tamaño máximo del objeto a reciclar se adapte a las dimensiones de la estación 3 de carga de la instalación de pirólisis. En particular, el tamaño del objeto a reciclar empleado depende, por tanto, de las dimensiones de la estación 3 de carga de la instalación de pirólisis. Sin embargo, también se puede prever que se desmenuce el objeto a reciclar a un tamaño menor que el que requeriría la estación 3 de carga de la instalación de pirólisis utilizada.

15 A este respecto, se puede prever además que las fibras recicladas resultantes del proceso y/o después de la sección de enfriamiento que sigue a la zona C de enfriamiento sean sometidas a un tratamiento posterior, en particular un desmenuzamiento, preferiblemente por corte, troceado, molienda y/o picadura y/o, en particular, una puesta en contacto con al menos un agente de tratamiento, preferiblemente seleccionado de agentes de apresto, agentes dispersantes, antiespumantes y aglutinantes, y también sus mezclas o combinaciones. El tratamiento posterior, en particular el desmenuzamiento, de las fibras de carbono recicladas se puede llevar a cabo en dispositivos de corte habituales para ello, en sí conocidos para el experto en la técnica, en donde el desmenuzamiento se puede llevar a cabo, en principio, por medio de procedimientos en húmedo o en seco. Mediante el desmenuzamiento múltiple, en particular el troceamiento múltiple, se pueden ajustar a la longitud de fibra deseada las longitudes de fibra de las fibras de carbono recicladas. A este respecto, también se puede prever que, para producir fibras de carbono recicladas molidas se utilicen fibras de carbono previamente troceadas; las fibras de carbono molidas se pueden obtener por molienda de las fibras de carbono troceadas, en particular utilizando molinos tales como molinos de martillos, molinos de discos de impacto, molinos de tambor perforado o similares. Además, se pueden tratar las fibras de carbono recicladas, en particular la superficie de las fibras de carbono recicladas, con un agente de tratamiento al fin de que las propiedades de las fibras de carbono recicladas concuerden con las propiedades de la matriz, y mejorar así su facilidad de incorporación en materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos.

Para obtener indicaciones más extensas acerca de este aspecto de la invención, se puede remitir a las indicaciones precedentes referentes a los otros aspectos de la invención, que se aplican de manera análoga en lo tocante a este aspecto de la invención

35 Según un cuarto aspecto de la presente invención, son nuevamente un objeto adicional de la presente invención fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención,

en donde las fibras de carbono recicladas:

- tienen una humectabilidad frente al agua, determinada como ángulo de contacto medido tensiométricamente por el método de Wilhelmy mediante medición sobre fibra única a $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ de, como máximo, 75° ,
- 40 • tienen una proporción de residuos de pirólisis inferior a 0,5% en peso, referida a las fibras de carbono recicladas y determinada gravimétricamente,
- tienen en su superficie grupos funcionales que contienen oxígeno, en concreto grupos polares y/o hidrófilos seleccionados de grupos fenol, carboxilo, carbonilo, aldehído, ceto, hidroxilo y/u oxo, determinados mediante espectroscopía electrónica para análisis químico (ESCA), preferiblemente mediante espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS), y
- 45 • tienen en su superficie surcos, estrías, oquedades, arrugas, arañazos o cráteres.

La combinación de la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento, se refleja directamente en las fibras de carbono recicladas resultantes. Debido al horno de pirólisis utilizado, en forma de un horno tubular rotatorio calentado indirectamente que tiene aberturas de salida, y también a la ejecución, según la invención, del procedimiento, en particular a la oxidación parcial de la superficie de las fibras de carbono recicladas producidas piróliticamente, las fibras de carbono recicladas resultantes de la combinación de la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento, no presentan esencialmente residuos de pirólisis, y también una superficie más áspera, en particular sin ranuras, estrías, arrugas, oquedades o similares. Además, debido a la oxidación parcial la superficie de las fibras de carbono recicladas según la invención es más hidrófila que la superficie de fibras de carbono primarias o de fibras de carbono recicladas convencionalmente. La superficie más áspera y más hidrófila de las fibras de carbono recicladas de la invención conduce, sorprendentemente, a una humectabilidad mejorada y, por tanto, también a una facilidad mejorada de

incorporación en materiales sintéticos, en comparación con fibras de carbono primarias o fibras de carbono recicladas convencionalmente.

5 Según la presente invención, las fibras de carbono recicladas presentan una humectabilidad frente al agua, determinada como ángulo de contacto medido tensiométricamente por el método de Wilhelmy mediante medición sobre fibra única a $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ de 75° como máximo, en particular 73° como máximo, preferiblemente 70° como máximo, de manera particularmente preferible 68° como máximo, aún más preferiblemente 65° como máximo, de manera muy particularmente preferible 60° como máximo.

10 A este respecto se puede prever, en particular, que las fibras de carbono recicladas tengan una humectabilidad frente al agua, determinada como ángulo de contacto medido tensiométricamente por el método de Wilhelmy mediante medición sobre fibra única a $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, en el intervalo de 30° a 75° , en particular 35° a 73° , preferiblemente 38° a 70° , de manera particularmente preferible 40° a 68° , aún más preferiblemente 45° a 65° , de manera muy particularmente preferible 50° a 60° .

15 La determinación de la humectabilidad de las fibras de carbono recicladas se lleva a cabo utilizando un tensiómetro por el método de Wilhelmy, mediante medición sobre fibra única a $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, frente al agua. En lo referente al método de Wilhelmy se puede remitir, en particular, a Abe K., Onishi S., Akijama H., Takiguchi H., Tamada K., Journal of the Surface Science Society of Japan, 2000, 21, páginas 643 a 650, y también a Baskom W.D., The Wetting Behavior of Fibers, en: Schrader M., Loeb G., Modern Approaches to Wettability: Theory and Applications; Plenum Press, New York 1992, páginas 359 a 373. Además, para una descripción detallada de las medidas del ángulo de contacto por el método de Wilhelmy también se remite a los siguientes ejemplos de
20 realización de la presente invención.

Con respecto a la invención, se prefiere que las fibras de carbono recicladas presenten una proporción de residuos de pirólisis (residuos de coquización) inferior a 5% en peso, en particular inferior a 4% en peso, preferiblemente inferior a 3% en peso, más preferiblemente inferior a 2% en peso, aún más preferiblemente inferior a 1% en peso, de
25 manera particularmente preferible inferior a 0,9% en peso, lo más preferiblemente inferior a 0,5% en peso, referida a las fibras de carbono recicladas.

Se puede prever en particular, según la invención, que las fibras de carbono recicladas tengan una proporción de residuos de pirólisis (residuos de coquización) en el intervalo de 0,001 a menos de 0,5% en peso, en particular en el intervalo de 0,01 a menos de 0,5% en peso, preferiblemente en el intervalo de 0,05 a menos de 0,5% en peso, preferiblemente en el intervalo de 0,1 a menos de 0,5% en peso referida a las fibras de carbono recicladas, en
30 particular determinada gravimétricamente, preferiblemente por medio de termogravimetría. Por el contrario, una elevada proporción de residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas conduciría, por una parte, a una facilidad de incorporación empeorada en materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos y, por otra, a una reducción significativa de las propiedades eléctricas de las fibras de carbono recicladas. Por esta razón se prevé, según la invención, que las fibras de carbono recicladas presenten una
35 proporción extremadamente pequeña de residuos de pirólisis, con el fin de obtener una excelente facilidad de incorporación y excelentes propiedades eléctricas. Los residuos de pirólisis se pueden determinar por medio de análisis gravimétrico, en particular por medio de análisis termogravimétrico (TGA), siendo preferido el análisis termogravimétrico (TGA). Para una descripción detallada del análisis gravimétrico y el análisis termogravimétrico (TGA), se puede remitir a los ejemplos de realización según la invención.

40 Se puede prever además, en el marco de la presente invención, que las fibras de carbono recicladas tengan en su superficie grupos funcionales que contienen oxígeno, en particular grupos polares y/o hidrófilos, en particular seleccionados de grupos fenol, carboxilo, carbonilo, aldehído, ceto, hidroxilo y/o oxo, en particular determinados mediante espectroscopia electrónica para análisis químico (ESCA), preferiblemente mediante espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS). Los grupos funcionales que contienen oxígeno en la superficie de las fibras de
45 carbono recicladas, que resultan de la combinación de la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento, conducen a una superficie más hidrófila de las fibras de carbono recicladas, que a su vez presenta una mejor humectabilidad en comparación con fibras de carbono primarias o fibras de carbono recicladas convencionalmente, más hidrófobas. Los grupos funcionales que contienen oxígeno en la superficie de las fibras de carbono recicladas se pueden determinar, en particular, mediante espectroscopia electrónica para análisis químico (ESCA), preferiblemente mediante espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS). Para informaciones más detalladas con respecto a la ejecución de las mediciones de ESCA y XPS, se puede remitir a Levsen K., Physikalische Methoden der Chemie: ESCA, Chemie in unserer Zeit, 10, 1976, páginas 48 a 53, y también a los ejemplos de realización según la invención.

55 Se prevé, además, que las fibras de carbono recicladas puedan tener en su superficie surcos, estrías, oquedades, arrugas, arañazos, cráteres o similares. La combinación de instalación de pirólisis según la invención y ejecución, según la invención, del procedimiento, da como resultado fibras de carbono recicladas que, contrariamente a las fibras de carbono primarias, no tienen una superficie lisa. Esto es debido, en particular, a la ejecución, según la invención, del procedimiento, en particular por la oxidación de la superficie de las fibras de carbono recicladas durante la eliminación de eventuales residuos de pirólisis. La superficie más áspera de las fibras de carbono
60 recicladas es, junto a la presencia de los grupos hidrófilos, una razón para la buena humectabilidad de las fibras de

carbono recicladas, que se obtiene mediante la combinación de instalación de pirólisis según la invención y ejecución del proceso según la invención.

5 Por lo general, la longitud de fibra de las fibras de carbono recicladas en el estado no desmenuzado puede variar dentro de amplios intervalos. En particular, las fibras de carbono recicladas en el estado no desmenuzado tienen una longitud de fibra en el intervalo de 0,01 a 5 m, en particular en el intervalo de 0,05 a 3 m, preferiblemente en el intervalo de 0,1 a 2 m, más preferiblemente en el intervalo de 0,2 a 1 m. Las dimensiones de las fibras de carbono recicladas obtenidas mediante el procedimiento según la invención dependen, en particular, del tamaño de la estación 3 de carga de la instalación de pirólisis utilizada para el reciclado, y de eventuales pasos de desmenuzamiento del objeto a reciclar, realizados antes del reciclaje. En cuanto a la determinación de la longitud de fibra y del diámetro de fibra, esto se puede llevar a cabo mediante procedimientos que son en sí bien conocidos para el experto en la técnica. En particular, la longitud de fibra y el diámetro de fibra se pueden determinar generalmente por procedimientos de determinación basados en la dispersión luminosa, en particular la difracción de rayos X y/o la difracción láser, pero también por microscopía óptica, microscopía electrónica o similar. Además, la determinación de las longitudes de fibra y diámetros de fibra en el rango milimétrico también se puede llevar a cabo mediante análisis por tamizado conforme a la norma DIN 66165. Los datos de tamaño antes indicados se refieren, en particular, a una estructura básica al menos esencialmente fibrosa. Además, para la determinación del tamaño se puede remitir a las indicaciones que figuran a continuación.

20 Se puede prever, además, que las fibras de carbono recicladas tengan una resistencia a la tracción en el intervalo de 1.000 a 6.000 MPa, en particular en el intervalo de 1.500 a 5.000 MPa, preferiblemente en el intervalo de 2.000 a 4.000 MPa, más preferiblemente en el intervalo de 2.500 a 3.500 MPa. La determinación de la resistencia a la tracción se puede realizar, en particular, conforme a la norma EN ISO 527-1.

25 Además, en el marco de la presente invención se puede prever que las fibras de carbono recicladas tengan un módulo de elasticidad en el intervalo de 20 a 1.000 GPa, en particular en el intervalo de 50 a 800 GPa, preferiblemente en el intervalo de 75 a 600 GPa, más preferiblemente en el intervalo de 100 a 400 GPa, aún más preferiblemente en el intervalo de 150 a 300 GPa. El módulo de elasticidad puede determinarse, en particular, conforme a la norma DIN EN 61.

30 Además, las fibras de carbono recicladas pueden tener un diámetro medio de fibra en el intervalo de 0,1 a 100 μm , en particular en el intervalo de 1 a 50 μm , preferiblemente en el intervalo de 2 a 25 μm , más preferiblemente en el intervalo de 3 a 15 μm , de manera particularmente preferible en el intervalo de 4 a 10 μm . La determinación del diámetro medio de fibra se puede realizar, por ejemplo, por métodos de determinación basados en la microscopía óptica y/o en la microscopía electrónica, como se ha indicado más arriba.

35 Conforme a una forma de realización preferida según la invención, las fibras de carbono recicladas pueden contener en su superficie al menos un agente de tratamiento, en particular seleccionado del grupo de (i) materiales sintéticos duroplásticos, en particular resinas epoxídicas; (ii) materiales sintéticos termoplásticos, en particular resinas de poliolefina; (iii) agentes dispersantes, en particular etoxilatos de amina grasa y/o dialquilenglicoles; (iv) antiespumantes, en particular polidialquilsiloxanos; y también sus mezclas y combinaciones. Para incorporar las fibras de carbono recicladas que se pueden obtener a partir de la combinación de instalación de pirólisis según la invención y ejecución, según la invención, del procedimiento, las fibras de carbono recicladas se pueden modificar, en particular en su superficie, con al menos un agente de tratamiento para mejorar las propiedades superficiales y con ello la facilidad de incorporación de las fibras de carbono recicladas en materiales sintéticos, materiales de construcción y sistemas cementosos, o para adaptar las propiedades superficiales de las fibras de carbono recicladas según la invención a la matriz correspondiente. La adaptación de las propiedades superficiales a la matriz correspondiente conduce a una incorporación homogénea de las fibras de carbono recicladas y con ello a una mejora o fortalecimiento eficaces de la matriz correspondiente.

45 Además, en el marco de la presente invención puede preverse que las fibras de carbono recicladas se presenten en forma desmenuzada, en particular en forma troceada y/o doblemente troceada y/o en forma molida. Como ya se ha indicado más arriba, el troceamiento de las fibras de carbono recicladas se puede llevar a cabo en un dispositivo de corte habitual para este propósito, en sí conocido para un experto en la técnica, con el que se pueda llevar a cabo el desmenuzamiento, en principio, por métodos húmedos o secos. Las longitudes de fibra de las fibras de carbono recicladas se pueden ajustar apropiadamente por medio de desmenuzamiento múltiple o troceamiento múltiple. Además, se puede prever que las fibras de carbono recicladas molidas se obtengan a partir de fibras de carbono recicladas previamente troceadas, por ejemplo utilizando molinos tales como molinos de martillos, molinos de discos de impacto o molinos de tambor perforado o similares.

55 A este respecto, se puede prever además que las fibras de carbono recicladas desmenuzadas tengan una longitud media de fibra en el intervalo de 0,01 a 200 mm, en particular en el intervalo de 0,1 a 150 mm, preferiblemente en el intervalo de 0,2 a 100 mm, más preferiblemente en el intervalo de 0,5 a 90 mm, de manera particularmente preferible en el intervalo de 1 a 80 mm, de manera muy particularmente preferible en el intervalo de 2 a 70 mm. La determinación de la longitud de fibra es posible, en particular, por los métodos de medida ilustrados en lo que antecede. Además, la longitud de fibra antes mencionada se refiere a fibras de carbono recicladas desmenuzadas una vez, que tienen una longitud de fibra mayor que las fibras de carbono recicladas múltiplemente desmenuzadas.

No obstante, esto es evidente para un experto en la técnica.

Además, puede estar previsto que las fibras de carbono recicladas desmenuzadas pueden tener una longitud media de fibra en el intervalo de 0,1 a 70 mm, en particular en el intervalo de 0,5 a 60 mm, preferiblemente en el intervalo de 1 a 50 mm, más preferiblemente en el intervalo de 2 a 40 mm, de manera particularmente preferible en el intervalo de 3 a 30 mm, de manera muy particularmente preferible en el intervalo de 5 a 20 mm. La longitud media de fibra de las fibras de carbono recicladas se puede determinar como se ha indicado más arriba. A este respecto, la longitud de fibra indicada más arriba se refiere a fibras de carbono recicladas doblemente desmenuzadas, que presentan una longitud de fibra más corta que las fibras de carbono recicladas desmenuzadas una vez.

Además, se puede prever que las fibras de carbono recicladas desmenuzadas tengan una longitud media de fibra en el intervalo de 0,1 a 1.000 μm , en particular en el intervalo de 1 a 900 μm , preferiblemente en el intervalo de 5 a 700 μm , más preferiblemente en el intervalo de 10 a 500 μm , de manera particularmente preferible en el intervalo de 25 a 400 μm , de manera muy particularmente preferible en el intervalo de 50 a 350 μm , aún más preferiblemente en el intervalo de 75 a 250 μm . La determinación de la longitud media de fibra de las fibras de carbono recicladas antes mencionadas se puede llevar a cabo con los métodos de determinación que se han indicado anteriormente. A este respecto, la longitud media de fibra antes mencionada de las fibras de carbono recicladas se refiere a fibras de carbono recicladas molidas.

Además, en lo que respecta a las fibras de carbono recicladas desmenuzadas, las fibras de carbono recicladas desmenuzadas pueden tener una densidad de fibra en el intervalo de 200 a 5.000 kg/m^3 , en particular en el intervalo de 300 a 4.500 kg/m^3 , preferiblemente en el intervalo 500 a 4.000 kg/m^3 , más preferiblemente en el intervalo de 700 a 3.500 kg/m^3 , de manera particularmente preferible en el intervalo de 1.000 a 3.000 kg/m^3 , de manera muy particularmente preferible en el intervalo de 1.200 a 2.500 kg/m^3 , aún más preferiblemente en el intervalo de 1.500 a 2.200 kg/m^3 . La determinación de la densidad de fibra de las fibras de carbono recicladas se puede llevar a cabo, en particular, conforme a la norma DIN 29971.

Para obtener indicaciones más extensas acerca de este aspecto de la invención, se puede remitir a las indicaciones precedentes referentes a los otros aspectos de la invención, que se aplican de manera análoga en lo tocante a este aspecto de la invención.

Según un quinto aspecto de la presente invención, es además un objeto adicional de la presente invención el uso de las fibras de carbono recicladas según la invención como aditivo, en particular como aditivo para materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos, o para producir materiales sintéticos que contienen fibra de carbono o para su incorporación en materiales sintéticos, en particular para la formación de materiales compuestos, o para producir cuerpos conformados (por ejemplo, elementos constructivos) que contienen fibra de carbono, formas y materiales planos (por ejemplo, materiales no tejidos).

En el marco de la presente invención se pueden emplear, preferiblemente, materiales sintéticos termoplásticos, mezclas de materiales sintéticos termoplásticos y materiales sintéticos duroplásticos. En particular, el material sintético se puede seleccionar del grupo de resinas de policarbonato, resinas de poliamida, resinas de poliéster saturadas, resinas de poliuretano, resinas de poliacetil, resinas de polisulfona, resinas de poliéster-sulfona (PES), resinas de poli(sulfuro de fenileno) (PPS), resinas de poliestireno (PS), resinas de poliolefina, resinas de poli(cloruro de vinilo), resinas de poliéster-éter-cetona (PEEK), resinas de poliéster-imida (PEI), resinas de poli(óxido de arileno), resinas de poliamidaimida, resinas de poliacrilato, resinas de poliimida y también sus mezclas y combinaciones.

A este respecto se puede prever, en particular, preparar materiales compuestos con las fibras de carbono recicladas según la invención, en particular para incorporación en materiales sintéticos. En particular, mediante la incorporación de las fibras de carbono recicladas según la invención se consigue un ennoblecimiento de los materiales sintéticos y/o, en particular, una mejora en las propiedades mecánicas.

Para obtener indicaciones más extensas acerca de este aspecto de la invención, se puede remitir a las indicaciones precedentes referentes a los otros aspectos de la invención, que se aplican de manera análoga en lo tocante a este aspecto de la invención

Según un sexto aspecto de la presente invención, son además un objeto adicional de la presente invención, materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos que comprenden fibras de carbono recicladas según la presente invención, como se ha descrito con detalle anteriormente, o que se han producido utilizando fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención, como se ha descrito con detalle anteriormente. Para obtener indicaciones más extensas acerca de este aspecto de la invención, se puede remitir a las indicaciones precedentes referentes a los otros aspectos de la invención, que se aplican de manera análoga en lo tocante a este aspecto de la invención.

Por último, según un séptimo aspecto de la presente invención, son nuevamente un objeto adicional de la presente invención, cuerpos conformados (por ejemplo, elementos constructivos), formas y materiales planos (por ejemplo, materiales no tejidos), en particular en forma de materiales compuestos o materiales mixtos, que comprenden fibras de carbono recicladas según la presente invención, tal como se ha descrito con detalle anteriormente, o que se han

producido utilizando fibras de carbono recicladas obtenibles mediante el procedimiento según la invención, como se ha descrito en detalle anteriormente. Para obtener indicaciones más extensas acerca de este aspecto de la invención, se puede remitir a las indicaciones precedentes referentes a los otros aspectos de la invención, que se aplican de manera análoga en lo tocante a este aspecto de la invención.

- 5 Como se ha bosquejado anteriormente, la presente invención está asociada a numerosas ventajas y particularidades, entre las que se destacarán a continuación, de manera no restrictiva, algunos aspectos:

10 Mediante el empleo de la instalación de pirólisis según la invención, que comprende un horno tubular rotatorio calentado indirectamente con aberturas de salida, se posibilita una mezclado, rotación y calentamiento uniformes del material de PRFC en el horno de pirólisis, con evacuación simultánea de los gases de pirólisis. Esto se traduce en condiciones óptimas de pirólisis y, por tanto, en una eliminación selectiva de la matriz de material sintético en cualquier lugar del horno tubular rotatorio, de modo que esencialmente no permanecen residuos (de coque) de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas después de la eliminación completa de la matriz de material sintético.

15 Además, mediante las aberturas de salida del horno tubular rotatorio calentado indirectamente de la instalación de pirólisis según la invención se posibilita el control de la atmósfera, en particular del contenido de oxígeno, dentro del horno tubular rotatorio. En combinación con el calentamiento indirecto del horno tubular rotatorio, por medio del cual se evitan fluctuaciones de temperatura, es posible una eliminación selectiva y esencialmente completa de la matriz de material sintético, sin que las fibras de carbono recicladas se dañen en un grado excesivo, en particular se oxiden en un grado excesivo, ya que esto daría como resultado propiedades mecánicas y eléctricas significativamente reducidas de las fibras de carbono recicladas.

20 La combinación de calentamiento y mezclado uniformes del material de PRFC, con el control específico del contenido de oxígeno y/o la temperatura, que se hace posible por el uso de la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento, conduce a fibras de carbono recicladas que, por una parte, no tienen al menos esencialmente residuos de pirólisis o de coquización en su superficie. Por otra parte, la combinación anterior da como resultado una oxidación parcial de la superficie de las fibras de carbono recicladas, es decir, una superficie más áspera y que muestra mayor afinidad de unión, en particular hidrófila, y un incremento de grupos que contienen oxígeno, por ejemplo grupos hidroxilo, aldehído, carboxilo, etc., en la superficie de las fibras de carbono recicladas resultantes. La oxidación parcial de la superficie de las fibras de carbono recicladas resultantes de la combinación de la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento, conduce, debido a la superficie más áspera y funcionalizada, en particular más hidrófila, de las fibras de carbono recicladas, a una humectabilidad incrementada y por tanto también a una facilidad mejorada de incorporación en materiales sintéticos, en comparación con fibras de carbono primarias o fibras de carbono recicladas convencionalmente.

30 Además, mediante la combinación de la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento, en particular mediante el control de la temperatura y del contenido de oxígeno durante toda la pirólisis, se evita una oxidación excesiva de las fibras de carbono recicladas, de manera que las fibras de carbono recicladas según la invención tienen propiedades mecánicas comparables a las de las fibras de carbono primarias.

35 Además, debido a la reacción fuertemente exotérmica del oxígeno con los productos de descomposición gaseosos de la matriz de material sintético, se requiere sustancialmente menos energía térmica para llevar a cabo el procedimiento según la invención, de modo que el procedimiento según la invención es extraordinariamente económico. Además, debido a la reacción fuertemente exotérmica también se pueden alcanzar muy rápidamente las temperaturas respectivas necesarias para la pirólisis, de modo que se originan tiempos de residencia cortos para los objetos a reciclar mediante el procedimiento según la invención. En consecuencia, con la instalación de pirólisis según la invención, en combinación con el procedimiento según la invención, se pueden reciclar en breve tiempo grandes cantidades de materiales sintéticos que contienen fibras de carbono.

40 Tampoco es necesario ningún pretratamiento mecánico y/o químico de los materiales sintéticos que contienen fibra de carbono a reciclar, antes de llevar a cabo el procedimiento según la invención en la instalación de pirólisis según la invención, de modo que también se pueden obtener fibras de carbono recicladas con gran longitud de fibra, a partir de las cuales, tras añadir una resina, se pueden producir, por ejemplo, los denominados preimpregnados. No obstante, también se pueden desmenuzar las fibras de carbono recicladas, con gran longitud de fibra, para obtener longitudes de fibra definidas tales como las utilizadas, por ejemplo, en la producción de materiales compuestos.

45 También es posible reciclar en el proceso de la invención bandas laminares de materiales sintéticos que contienen fibras de carbono y otros materiales de refuerzo, por ejemplo fibras de vidrio, sin costosa separación, ya que el procedimiento según la invención proporciona capas de tiras individuales de fibras de carbono recicladas, de las que se pueden retirar fácilmente otros materiales de refuerzo. Además, el procedimiento según la invención, que se lleva a cabo en la instalación de pirólisis según la invención, permite un funcionamiento continuo y una ejecución también a escala industrial.

Otras configuraciones, modificaciones y variaciones de la presente invención son fácilmente reconocibles y realizables por una persona experta en la técnica al leer la descripción, sin salirse del alcance de la presente invención.

5 La presente invención se ilustra por medio de los siguientes ejemplos de realización, los cuales, sin embargo, no deben limitar la presente invención.

Ejemplos de realización:

Las ventajas particulares de la invención se describen a continuación para el ejemplo de la recuperación (reciclaje) de fibras de carbono a partir de materiales que contienen fibra de carbono.

A) Procedimiento para reciclar materiales sintéticos que contienen fibra de carbono

10 Se emplean como materiales sintéticos que contienen fibra de carbono desechos de material sintético reforzado con fibra de carbono (desechos de PRFC) que se generan, por ejemplo, en la construcción de aeronaves (por ejemplo, superficies de sustentación de aeronaves) o de turbinas de energía eólica (por ejemplo, aspas). Si los desechos de PRFC tienen dimensiones mayores que la abertura de la estación de carga de la instalación de pirólisis, antes del reciclaje se lleva a cabo un desmenuzamiento de los desechos de PRFC por medio de aparatos de corte en sí conocidos para los expertos en la técnica.

15 El reciclaje de fibras de carbono a partir de los desechos que contienen fibra de carbono antes descritos, en forma de preimpregnados, se lleva a cabo en las instalaciones de pirólisis que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1: Instalaciones de pirólisis utilizadas para el reciclaje

N.º	Instalación de pirólisis
1	Instalación de pirólisis con un horno tubular rotatorio calentado indirectamente que tiene aberturas de salida y un sector o una zona de tratamiento
2*	Instalación de pirólisis con un horno tubular rotatorio calentado indirectamente que tiene aberturas de salida y dos sectores o dos zonas de tratamiento (véanse las Figuras 1 y 5)
3	Instalación de pirólisis con un horno tubular rotatorio calentado indirectamente, sin aberturas de salida y un sector o una zona de tratamiento
4	Instalación de pirólisis con un horno tubular rotatorio calentado indirectamente, sin aberturas de salida y dos sectores o zonas de tratamiento
5	Instalación de pirólisis con un horno de cinta, con una zona de tratamiento o un sector
* según la invención	

20 El reciclaje de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono se lleva a cabo en las instalaciones de pirólisis arriba descritas, ajustándose en cada caso, en la instalación de pirólisis respectiva, las condiciones de procedimiento descritas en la Tabla 2.

Tabla 2: Condiciones de procedimiento

N.º	Condiciones de procedimiento	
1	Temperatura:	500°C
	Contenido de oxígeno:	2 - 10% en volumen
	Tiempo de residencia:	60 min.
2*	Zona A de calentamiento:	205 - 295°C
	Temperatura de la zona B1 de pirólisis:	430 - 445°C
	Temperatura de la zona B2 de pirólisis:	515 - 650°C
	Contenido de oxígeno en la zona B1 de pirólisis:	2% en volumen
	Contenido de oxígeno en la zona B2 de pirólisis:	10% en volumen
	Tiempo de residencia en la zona B1 de pirólisis:	26 min.
	Tiempo de residencia en la zona B2 de pirólisis:	24 min.

N.º	Condiciones de procedimiento	
	Zona C de enfriamiento:	80 - 150°C
3	Temperatura:	500°C
	Contenido de oxígeno:	2% en volumen
	Tiempo de residencia:	60 min.
4	Zona A de calentamiento:	205 - 295°C
	Temperatura de la zona B1 de pirólisis:	430 - 445°C
	Temperatura de la zona B2 de pirólisis:	515 - 650°C
	Contenido de oxígeno en la zona B1 de pirólisis:	2% en volumen
	Contenido de oxígeno en la zona B2 de pirólisis:	5% en volumen
	Tiempo de residencia en la zona B1 de pirólisis:	26 min.
	Tiempo de residencia en la zona B2 de pirólisis:	24 min.
	Zona C de enfriamiento:	80 - 150°C
5	Temperatura:	500°C
	Contenido de oxígeno:	2 - 10% en volumen
	Tiempo de residencia:	60 min.
* según la invención		

La estructura superficial, la proporción de residuos de pirólisis y los grupos que contienen oxígeno sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas obtenidas mediante el reciclaje en distintas instalaciones de pirólisis se determinan por medio de los métodos de medida que se describen a continuación.

B) Métodos de medida y resultados

5 a) Examen mediante microscopía óptica de las fibras de carbono recicladas

El estado superficial y la presencia de residuos de pirólisis se investiga mediante microscopía electrónica de barrido (también denominada, abreviadamente, SEM, por sus siglas en inglés). Los microscopios electrónicos de barrido adecuados son bien conocidos para el experto en la técnica. En este caso se pueden utilizar, por ejemplo, microscopios electrónicos de barrido del tipo JEOL 6400 F o del tipo Hitachi S-3200. La resolución de los datos de la microscopía electrónica de barrido está determinada en este caso por la resolución del microscopio electrónico de barrido. En la Tabla 3 siguiente se presentan los resultados obtenidos para las distintas instalaciones de pirólisis por medio de la microscopía electrónica de barrido.

10

Tabla 3: Resultados del examen mediante microscopía electrónica de barrido

N.º	Resultado de los exámenes mediante microscopía electrónica de barrido
1	superficie áspera en forma de surcos y oquedades, sin daños visibles de la superficie de la fibra, sin residuos de pirólisis sobre la superficie de la fibra, matriz de material sintético completamente eliminada
2*	superficie áspera en forma de surcos y oquedades, sin daños visibles de la superficie de la fibra, sin residuos de pirólisis sobre la superficie de la fibra, matriz de material sintético completamente eliminada
3	apenas surcos u oquedades en la superficie, deterioro parcial de las fibras de carbono, numerosos residuos de pirólisis en la superficie de la fibra
4	apenas surcos u oquedades en la superficie, deterioro de las fibras de carbono, numerosos residuos de pirólisis en la superficie de la fibra
5	superficie áspera en forma de surcos y oquedades, sin deterioro de las fibras de carbono, residuos de pirólisis sobre la superficie de la fibra
* según la invención	

Se ha encontrado, sorprendentemente, que sólo cuando se utiliza la instalación de pirólisis según la invención que

tiene un horno tubular rotatorio calentado indirectamente, con aberturas de salida, en combinación con las condiciones del proceso según la invención, se obtienen fibras de carbono recicladas que no presentan daño significativo alguno de la superficie de la fibra, pero, a consecuencia de la oxidación durante el reciclaje, tienen una superficie áspera en forma de surcos y oquedades. Además, cuando se utilizan las instalaciones de pirólisis según la invención en combinación con la ejecución, según la invención, del procedimiento (véase la muestra n.º 2) las fibras de carbono recicladas no presentan residuos de pirólisis de ningún tipo, de modo que ni la facilidad de incorporación ni las propiedades mecánicas, en particular la rigidez y el alargamiento por tracción, ni las propiedades eléctricas, se ven influidas significativamente por el reciclaje (véase la muestra n.º 2). En particular, con la ejecución, según la invención, del procedimiento (véase la muestra n.º 2) las fibras de carbono recicladas tienen una rigidez prácticamente idéntica y un alargamiento que es sólo aproximadamente inferior en 5% a 10% al de las fibras de carbono primarias. El uso de una instalación de pirólisis que comprende un horno tubular rotatorio calentado indirectamente sin aberturas de salida da como resultado fibras de carbono recicladas que tienen una cantidad significativa de residuos de pirólisis (véase la muestra n.º 3); esto se debe achacar, en particular, al bajo contenido de oxígeno, ya que el gas de pirólisis no puede escapar del tubo rotatorio durante la pirólisis debido a la falta de aberturas de salida. También el empleo de una instalación de pirólisis que comprende un tubo rotatorio calentado indirectamente, sin aberturas de salida pero con dos zonas de tratamiento, da como resultado fibras de carbono recicladas que presentan una cantidad significativa de residuos de pirólisis (véase la muestra n.º 4). La presencia de grandes cantidades de gas de pirólisis directamente en las fibras de carbono recicladas evita una alta concentración de oxígeno en la superficie de las fibras de carbono recicladas, pero esto es necesario para eliminar los residuos de pirólisis y la oxidación parcial de la superficie de las fibras de carbono recicladas. Además, con cantidades superiores de oxígeno tiene lugar una combustión de los gases de pirólisis que, debido a la reacción fuertemente exotérmica, conduce a un aumento local de la temperatura y, por tanto, daña las fibras de carbono recicladas. El uso de una instalación de pirólisis con un horno de cinta da como resultado fibras de carbono recicladas que, debido a la temperatura demasiado baja, combinada con la insuficiente mezclado durante la pirólisis, presentan una cantidad significativa de residuos de pirólisis (véase la muestra n.º 5).

b) Medida del ángulo de contacto por el método de Wilhelmy

Las mediciones del ángulo de contacto sobre fibras de carbono recicladas, obtenidas con las distintas instalaciones de pirólisis, se determinan por medio de un tensiómetro, por ejemplo un tensiómetro K100SF de la empresa Krüss GmbH de Hamburgo, Alemania. Las mediciones del ángulo de contacto se llevan a cabo como mediciones sobre fibra única con respecto al agua.

Para ello, primeramente se desmenuzan las fibras de carbono recicladas respectivas, hasta una longitud de 0,8 a 1 cm. El desmenuzamiento de las respectivas fibras de carbono recicladas se puede realizar, por ejemplo, mediante troceado en un aparato de corte habitual para ello, en sí conocido para el experto en la técnica, pudiendo llevarse a cabo el desmenuzamiento, en principio, por métodos húmedos o secos.

Las fibras de carbono recicladas desmenuzadas se fijan, con ayuda de un soporte de muestra, al sensor de fuerza (sistema de pesaje) del tensiómetro, se vierte el líquido de ensayo, agua en el caso presente, en una probeta (de vidrio, diámetro 70 mm, volumen aproximadamente 70 ml) y se coloca en una unidad de atemperación del tensiómetro, bajo el sensor de fuerza.

En primer lugar se efectúa la determinación de la longitud de las fibras respectivas mojada frente al n-heptano. Los parámetros del líquido de ensayo n-heptano y del agua necesarios para la medición se reproducen en la siguiente Tabla.

Tabla 4: Parámetros de los líquidos de ensayo

Líquido de ensayo	σ [mN/m]	ρ [g/cm ³]
n-Heptano	20,4	0,684
Agua	72,80	0,998

La medida del ángulo de contacto y de la longitud mojada se lleva a cabo a una temperatura de $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, efectuándose la determinación del ángulo de contacto dinámico como ángulo progresivo. Para cada fibra de carbono reciclada se lleva a cabo una doble determinación.

La velocidad de detección es 6 mm/min., la velocidad de medición es 1 mm/min., la sensibilidad es 0,0004 mg y la profundidad (posición) de inmersión de las fibras es 5 mm.

El ángulo de contacto se determina o se calcula automáticamente a partir de los cambios, registrados en el sensor de fuerza, en la fuerza sobre la fibra de carbono reciclada, en contacto con el agua, y dependiendo de la posición, la tensión superficial del agua y la longitud mojada, previamente determinada, de la fibra carbono reciclada, por medio de un *software* (por ejemplo, Labdesk Software de la empresa Krüss GmbH de Hamburgo, Alemania), efectuándose

en el caso presente la determinación como ángulo de contacto en línea.

La longitud mojada de las fibras de carbono recicladas y los ángulos de contacto se reproducen en la Tabla 5 a continuación.

Tabla 5: Longitud mojada y ángulo de contacto de las fibras de carbono recicladas

N.º	Longitud mojada [mm]	Ángulo de contacto [°]
1	0,025 ± 0,000	69,26 ± 0,22
2*	0,025 ± 0,001	66,35 ± 0,11
3	0,023 ± 0,001	83,45 ± 0,04
5	0,025 ± 0,001	76,16 ± 0,82
* según la invención		

5 No se pudo determinar el ángulo de contacto para la muestra n.º 4 debido a la destrucción parcial de las fibras de carbono recicladas. Sorprendentemente, se ha encontrado además que, en un reciclaje en que se utiliza la instalación de pirólisis según la invención en combinación con la ejecución, según la invención, del procedimiento, tiene lugar una oxidación de la superficie, de modo que se origina una superficie hidrófila (muestra n.º 2). Esto se pone de manifiesto por el pequeño ángulo de contacto en comparación con la muestra n.º 3 que, debido al menor contenido de oxígeno durante la pirólisis, no presenta una superficie hidrófila. También la muestra n.º 5 presenta una superficie hidrófila, pero a causa del empleo de un horno de cinta se detectan por microscopía electrónica de barrido cantidades significativas de residuos de pirólisis sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas, como se ha indicado con anterioridad.

10 En conjunto se ha encontrado, sorprendentemente, que sólo cuando se emplea la instalación de pirólisis según la invención en combinación con la ejecución, según la invención, del procedimiento, tiene lugar una oxidación de la superficie de las fibras de carbono recicladas, pero sin dañarlas significativamente, de manera que se conservan las propiedades mecánicas de las fibras de carbono recicladas según la invención. A causa de la superficie más hidrófila se origina una mejor facilidad de incorporación en materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos, en comparación con fibras primarias de material sintético, que tienen un ángulo de contacto por encima de 75° (es decir, son más difícilmente mojables).

c) Análisis gravimétrico y termogravimétrico (TGA)

La determinación gravimétrica del residuo de pirólisis se puede llevar a cabo mediante la suspensión de una cantidad exactamente determinada de las respectivas fibras de carbono recicladas, en un disolvente tal como diclorometano, posterior tratamiento de la suspensión en un baño de ultrasonidos, filtración a través de un tamiz grueso, que retiene solamente las fibras de carbono y nueva pesada de las fibras de carbono recicladas secas. La proporción de residuos de pirólisis viene dada por la diferencia entre el peso de las fibras de carbono recicladas antes y después del tratamiento con el disolvente, por ejemplo diclorometano.

30 Sin embargo, en el presente caso la proporción de residuos de pirólisis se determinó por medio de análisis termogravimétrico (TGA). El análisis termogravimétrico (TGA) se puede llevar a cabo usando aparatos de medida que son en sí conocidos para el experto en la técnica. En el presente caso, en primer lugar se desmenuzan finamente las fibras de carbono recicladas obtenidas mediante el uso de distintas instalaciones de pirólisis, pudiéndose llevar a cabo el desmenuzamiento por métodos de desmenuzamiento en sí conocidos para el experto en la técnica, en particular mediante el uso de dispositivos de corte o molinos tales como molinos de martillos, molinos de discos de impacto, molinos de tambor perforado. Después del desmenuzamiento de la muestra respectiva, se transfiere al aparato de medición 1 mg de las fibras de carbono recicladas desmenuzadas, que se habían obtenido utilizando las distintas instalaciones de pirólisis, y se lleva a cabo el análisis termogravimétrico utilizando los siguientes parámetros: el caudal de aire es 20 cm³/s, la velocidad de calentamiento es 10°C/min. y la velocidad de registro es 1/s. Los residuos, vaporizados hasta aproximadamente 550°C, que son los residuos de pirólisis, se determinan pesando la muestra antes y después del análisis termogravimétrico. La determinación puede efectuarse, por ejemplo, por medio de una microbalanza.

45 En el caso de las muestras n.ºs 1 y 2 no se constataron pérdidas de peso, de modo que la instalación de pirólisis según la invención en combinación con la ejecución, según la invención, del procedimiento, no da lugar a cantidades significativas de residuos de pirólisis. En particular, las fibras de carbono recicladas producidas con la instalación de pirólisis según la invención y la ejecución, según la invención, del procedimiento, presentan residuos de pirólisis inferiores a 0,1% en peso (es decir, por debajo del límite de detección). Las muestras n.ºs 3 a 5, que no son según la invención, tienen cada una cantidades significativas de residuos de pirólisis, en cada caso superiores a 5% en peso, por lo cual poseen una peor facilidad de incorporación en materiales sintéticos. Además, la alta proporción de

residuos de pirólisis en las muestras n.^{os} 3 a 5 influye negativamente sobre las propiedades eléctricas de las fibras de carbono recicladas.

d) Espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS)

5 Por último, se determinó por medio de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) el tipo y la cantidad de grupos que contienen oxígeno en la superficie de las fibras de carbono recicladas producidas mediante el uso de diversas instalaciones de pirólisis.

10 Las respectivas fibras de carbono recicladas se aplican en haces sobre un espaciador de acero inoxidable, que tiene un diámetro de 1 cm y está provisto de cinta adhesiva de doble cara. A continuación se fijan al espaciador los extremos del haz de fibras de carbono recicladas, utilizando otra cinta adhesiva. Sobre este espaciador se colocan las seis muestras, a intervalos de aproximadamente 5 mm.

15 La espectroscopía de fotoelectrones de rayos X se puede llevar a cabo con instrumentos de medida adecuados para ello, por ejemplo un Kratos AXIS ULTRA, con una fuente monocromática de electrones de rayos X Al-K α (1.486,6 eV), una corriente de emisión de 15 mA y un potencial de ánodo de 10 kV. Los espectros se registran en el intervalo de 0 a 1.100 eV, ascendiendo la energía de transmisión a 80 eV y ajustándose el ancho de paso a 0,5 eV. Todos los espectros se registran utilizando un ángulo de reflexión de 90°. En cada caso, se miden tres posiciones en el centro de la muestra, teniendo la superficie de la muestra unas dimensiones, en cada caso, de 300 μ m x 700 μ m.

La composición de la superficie se calcula por medio de un software, por ejemplo CasaXPS.

20 Tal como ha comprobado sorprendentemente el solicitante, las fibras de carbono recicladas según la invención de las muestras n.^{os} 1 y 2 tienen concentraciones de grupos ceto y carboxilato sobre la superficie, más elevadas que las muestras n.^{os} 3 y 4, que no son según la invención. La muestra n.^o 5 tiene asimismo una mayor proporción de grupos ceto y carboxilato que las fibras de carbono recicladas de las muestras n.^{os} 3 y 4, que no son según la invención, pero, debido a la instalación de pirólisis utilizada, en combinación con la ejecución del proceso utilizada, sobre la superficie de las fibras de carbono recicladas de la muestra n.^o 5 se encuentran cantidades significativas de residuos de pirólisis que empeoran la facilidad de incorporación en materiales sintéticos y también influyen
25 negativamente sobre las propiedades eléctricas de las fibras de carbono recicladas.

La proporción incrementada de grupos que contienen oxígeno, en particular grupos ceto y carboxilato, conduce a una superficie más hidrófila de las fibras de carbono recicladas según la invención. Esta superficie más hidrófila conduce a una mejor facilidad de incorporación debido a la mejor humectabilidad de la superficie.

Lista de símbolos de referencia:

1	Horno de pirólisis	23	Quemador de gas
2	Material de PRFC	24	Conductos de gas calefactor
3	Estación de carga	25	Conexión
4	Tolva	26	Elemento impulsor
5	Cinta transportadora	P	Dispositivo de pirólisis
6	Estación de descarga	A	Zona de calentamiento
7	Material de fibra de carbono	B1	Primera zona de pirólisis
8	Dispositivo de extracción de gas	B2	Segunda zona de pirólisis
9	Gas de pirólisis	C	Zona de enfriamiento
10	Unidad de control	CFK	Material sintético que contiene fibra de carbono
11	Tubo rotatorio	RF	Fibras de carbono recicladas
12	Aberturas de salida	1	Fibras de carbono primarias (no según la invención)
13	Carcasa		
14	Conducto de evacuación	1'	Fibras de carbono recicladas (no según la invención)
15	Sección de calentamiento		
16	Sección de enfriamiento	1"	Fibras de carbono recicladas (según la invención)
17	Boquillas de rociado	2	Surcos de una fibra de carbono reciclada 1' (no según la invención)
18	Cuba colectora		
19	Corte	2'	Surcos de una fibra de carbono reciclada 1" (según la invención)
19.1	Zona A de calentamiento		
19.2	Primera zona B1 de pirólisis	3	Residuo de pirólisis o coquización
19.3	Segunda zona B2 de pirólisis		
19.4	Zona C de enfriamiento		
20	Entrada de aire		
21	Válvula de control		
22	Elementos mezcladores		

REIVINDICACIONES

1. Instalación de pirólisis para recuperar fibras de carbono a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en particular a partir de materiales sintéticos reforzados con fibra de carbono, preferiblemente a partir de materiales mixtos que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono,
- 5 con un horno (1) de pirólisis alargado, que trabaja de forma continua mientras está en funcionamiento, para la pirólisis continua de material (2) de PRFC,
- con una estación (3) de carga en uno de sus extremos para cargar en el horno (1) de pirólisis material (2) de PRFC a procesar,
- 10 con una estación (6) de descarga en su otro extremo para descargar del horno (1) de pirólisis material (7) de fibra de carbono recuperado,
- con un dispositivo (8) de extracción de gas para gas (9) de pirólisis producido en el horno (1) de pirólisis y
- con un dispositivo (10) de control, en particular para regular al menos componentes individuales del gas del horno (1) de pirólisis, en particular para regular la proporción de oxígeno en el gas del horno (1) de pirólisis,
- 15 en donde el horno (1) de pirólisis es un horno tubular rotatorio calentado indirectamente, que tiene al menos los siguientes componentes:
- un tubo rotatorio (11) alargado que forma el alojamiento para el material (2) de PRFC a procesar y está conectado a la estación (3) de carga y a la estación (6) de descarga, en donde el tubo rotatorio (11) está provisto en su pared, al menos en una parte de su longitud, de aberturas (12) de salida para evacuar gas (9) de pirólisis formado en la pirólisis, y
- 20 una carcasa (13), aislada del exterior y que al menos en parte rodea al tubo rotatorio (11), con pasos para la estación (3) de carga y eventualmente también para la estación (6) de descarga y con conductos (14) de evacuación, en particular para el gas (9) de pirólisis, estando previstos en la carcasa (13), a lo largo del tubo rotatorio (11), varios sectores (19) con temperaturas de gas distintas o bien regulables de manera distinta entre sí;
- caracterizado por que
- 25 las aberturas (12) de salida en el tubo rotatorio (11) están previstas al menos en el sector que tiene la temperatura de gas más elevada;
- por que el horno (1) de pirólisis tiene distintos sectores (19), a saber, al menos una zona (19.1) de calentamiento, una primera zona (19.2) de pirólisis, una segunda zona (19.3) de pirólisis y una zona (19.4) de enfriamiento, y la composición del gas y la temperatura en el horno (1) de pirólisis en los distintos sectores (19) del tubo rotatorio (11)
- 30 son regulables de manera distinta, en concreto con una proporción G(B1) definida de oxígeno y con una temperatura T(B1) definida en la primera zona (19.2) de pirólisis y con una proporción G(B2) definida de oxígeno y con una temperatura T(B2) definida en la segunda zona (19.3) de pirólisis; y
- por que la instalación de pirólisis comprende además un dispositivo de desmenuzamiento, dispuesto delante o aguas arriba de la estación (3) de carga en la dirección de proceso, para desmenuzar el material (2) de PRFC a procesar.
- 35 2. Instalación de pirólisis según la reivindicación 1, en donde el tubo rotatorio (11) tiene una primera sección (15) de calentamiento que se extiende desde la estación (3) de carga y una segunda sección (16) de enfriamiento a continuación de esta y que conduce a la estación (6) de descarga.
3. Instalación de pirólisis según la reivindicación 2,
- 40 en donde, en la sección (16) de enfriamiento, el tubo rotatorio (11) está configurado para poderse enfriar con agua y/o
- en donde el tubo rotatorio (11) no tiene aberturas (12) de salida en la sección (16) de enfriamiento.
4. Instalación de pirólisis según una de las reivindicaciones precedentes,
- en donde las aberturas (12) de salida están dispuestas distribuidas sustancialmente de manera uniforme sobre la circunferencia del tubo rotatorio (11), y/o
- 45 en donde las aberturas (12) de salida son ajustables en su tamaño.
5. Instalación de pirólisis según una de las reivindicaciones precedentes,
- en donde el tubo rotatorio (11) está dispuesto inclinado hacia abajo desde la estación (3) de carga hacia la estación (6) de descarga; y/o

en donde el tubo rotatorio (11) está provisto en su interior de elementos mezcladores (22), en particular con placas deflectoras, y/o en donde el tubo rotatorio (11) está provisto de elementos mezcladores (22) por una parte y un elemento impulsor (26), en particular un tornillo impulsor, preferiblemente un tornillo impulsor de Arquímedes, por la otra.

- 5 6. Instalación de pirólisis según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la estación (3) de carga está realizada como esclusa de carga.
7. Instalación de pirólisis según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el calentamiento del horno (1) de pirólisis se lleva a cabo desde al menos un quemador de gas dispuesto en el exterior, a través de conductos (24) de gas calefactor en la carcasa (13).
- 10 8. Uso de una instalación de pirólisis según una de las reivindicaciones precedentes para recuperar fibras de carbono a partir de material sintético que contiene fibra de carbono, en particular a partir de material sintético reforzado con fibra de carbono, preferiblemente a partir de materiales mixtos que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono.
- 15 9. Procedimiento para recuperar fibras de carbono a partir de material sintético que contiene fibra de carbono, en particular a partir de material sintético reforzado con fibra de carbono, preferiblemente a partir de materiales mixtos que contienen fibra de carbono y/o reforzados con fibra de carbono, en donde se somete un objeto a base de un material sintético que contiene fibras de carbono, que comprende fibras de carbono en una matriz de material sintético, a una pirólisis de varias etapas en presencia de oxígeno, en donde en la pirólisis se descompone el material sintético de la matriz de material sintético, obteniendo las fibras de carbono,
- 20 en donde la pirólisis se lleva a cabo en una instalación de pirólisis según una de las reivindicaciones precedentes con un horno (1) de pirólisis, en donde el horno (1) de pirólisis comprende al menos las siguientes zonas de tratamiento, en concreto los siguientes sectores (19) del tubo rotatorio (11), en el orden especificado a continuación, y el objeto recorre en este orden las siguientes zonas de tratamiento:
- 25 (A) una zona A (19.1) de calentamiento, en la que se calienta a una temperatura T(A) definida el objeto a tratar y/o a reciclar,
- (B1) a continuación, una primera zona B1 (19.2) de pirólisis en la que se inicia y/o se lleva a cabo, a una temperatura T(B1) definida y un contenido G(B1) de oxígeno definido, una pirólisis del material sintético de la matriz de material sintético del objeto a tratar,
- 30 (B2) a continuación, una segunda zona B2 (19.3) de pirólisis en la que, a una temperatura T(B2) definida y un contenido G(B2) de oxígeno definido, se lleva a cabo una pirólisis final del material sintético de la matriz de material sintético del objeto a tratar aún remanente tras la zona B1 (19.2) de pirólisis, hasta la eliminación al menos esencialmente completa,
- (C) a continuación, una zona C (19.4) de enfriamiento para enfriar las fibras de carbono recicladas RF obtenidas de la segunda zona B2 (19.3) de pirólisis,
- 35 en donde se incrementa el contenido G(B2) de oxígeno en la segunda zona B2 (19.3) de pirólisis frente al contenido G(B1) de oxígeno en la primera zona B1 (19.2) de pirólisis en 3% en volumen a 25% en volumen y en donde se incrementa la temperatura T(B2) en la segunda zona B2 (19.3) de pirólisis frente a la temperatura T(B1) en la primera zona B1 (19.2) de pirólisis en 25°C a 300°C.
- 40 10. Fibras de carbono recicladas pirolíticamente a partir de materiales sintéticos que contienen fibra de carbono, en donde las fibras de carbono recicladas se pueden obtener mediante un procedimiento según la reivindicación 9, y en donde las fibras de carbono recicladas:
- tienen una humectabilidad frente al agua, determinada como ángulo de contacto medido tensiométricamente por el método de Wilhelmy mediante medición sobre fibra única a $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ de, como máximo, 75° ,
 - tienen una proporción de residuos de pirólisis inferior a 0,5% en peso, referida a las fibras de carbono recicladas y determinada gravimétricamente,
 - tienen en su superficie grupos funcionales que contienen oxígeno, en concreto grupos polares y/o hidrófilos seleccionados de grupos fenol, carboxilo, carbonilo, aldehído, ceto, hidroxilo y/u oxo, determinados mediante espectroscopía electrónica para análisis químico (ESCA), preferiblemente mediante espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS), y
 - tienen en su superficie surcos, estrías, oquedades, arrugas, arañazos o cráteres.
- 50

11. Fibras de carbono recicladas según la reivindicación 10,

en donde las fibras de carbono recicladas tienen una humectabilidad frente al agua, determinada como ángulo de contacto medido tensiométricamente por el método de Wilhelmy mediante medición sobre fibra única a $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ de 73° como máximo, preferiblemente 70° como máximo, de manera particularmente preferible 68° como máximo, aún más preferiblemente 65° como máximo, de manera muy particularmente preferible 60° como máximo, y/o en donde las fibras de carbono recicladas tienen una humectabilidad frente al agua, determinada como ángulo de contacto medido tensiométricamente por el método de Wilhelmy mediante medición sobre fibra única a $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, en el intervalo de 30° a 75° , en particular 35° a 73° , preferiblemente 38° a 70° , de manera particularmente preferible 40° a 68° , aún más preferiblemente 45° y 65° , de manera muy particularmente preferible 50° a 60° , y/o

en donde las fibras de carbono recicladas tienen una proporción de residuos de pirólisis en el intervalo de 0,001 a menos de 0,5% en peso, en particular en el intervalo de 0,01 a menos de 0,5% en peso, preferiblemente en el intervalo de 0,05 a menos de 0,5% en peso, más preferiblemente en el intervalo de 0,1 a menos de 0,5% en peso, basada en las fibras de carbono, en cada caso determinada gravimétricamente, preferiblemente por medio de termogravimetría.

12. Fibras de carbono recicladas según la reivindicación 10 u 11,

en donde las fibras de carbono recicladas en el estado no desmenuzadas tienen una longitud de fibra en el intervalo de 0,01 a 5 m, en particular en el intervalo de 0,05 a 3 m, preferiblemente en el intervalo de 0,1 a 2 m, más preferiblemente en el intervalo de 0,2 a 1 m, y/o

en donde las fibras de carbono recicladas tienen una resistencia a la tracción en el intervalo de 1.000 a 6.000 MPa, en particular en el intervalo de 1.500 a 5.000 MPa, preferiblemente en el intervalo de 2.000 a 4.000 MPa, más preferiblemente en el intervalo de 2.500 a 3.500 MPa, y/o

en donde las fibras de carbono recicladas tienen un módulo de elasticidad en el intervalo de 20 a 1.000 GPa, en particular en el intervalo de 50 a 800 GPa, preferiblemente en el intervalo de 75 a 600 GPa, más preferiblemente en el intervalo de 100 a 400 GPa, aún más preferiblemente en el intervalo de 150 a 300 GPa, y/o

en donde las fibras de carbono recicladas tienen un diámetro medio de fibra en el intervalo de 0,1 a 100 μm , en particular en el intervalo de 1 a 50 μm , preferiblemente en el intervalo de 2 a 25 μm , más preferiblemente en el intervalo de 3 a 15 μm , de manera particularmente preferible en el intervalo de 4 a 10 μm , y/o

en donde las fibras de carbono recicladas tienen en su superficie al menos un agente de tratamiento, en particular seleccionado del grupo de (i) materiales sintéticos duroplásticos, en particular resinas epoxídicas; (ii) materiales sintéticos termoplásticos, en particular resinas de poliolefina; (iii) agentes dispersantes, en particular étoxilatos de amina grasa y/o dialquilenglicoles; (iv) antiespumantes, en particular polidialquilsiloxanos; y también sus mezclas y combinaciones.

13. Uso de fibras de carbono recicladas según una de las reivindicaciones 10 a 12 precedentes como aditivo, en particular como aditivo para materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos, o para producir materiales sintéticos que contienen fibra de carbono o para su incorporación en materiales sintéticos, en particular para la formación de materiales mixtos, o para producir cuerpos conformados que contienen fibra de carbono, formas y materiales planos.

14. Materiales sintéticos, materiales de construcción o sistemas cementosos que comprenden fibras de carbono recicladas según una de las reivindicaciones 10 a 12 precedentes, y/o producidos utilizando fibras de carbono recicladas según una de las reivindicaciones 10 a 12 precedentes.

15. Cuerpos conformados, formas y materiales planos, en particular en forma de materiales compuestos o materiales mixtos, que comprenden fibras de carbono recicladas según una de las reivindicaciones 10 a 12 precedentes, o que se han producido utilizando fibras de carbono recicladas según una de las reivindicaciones 10 a 12 precedentes.

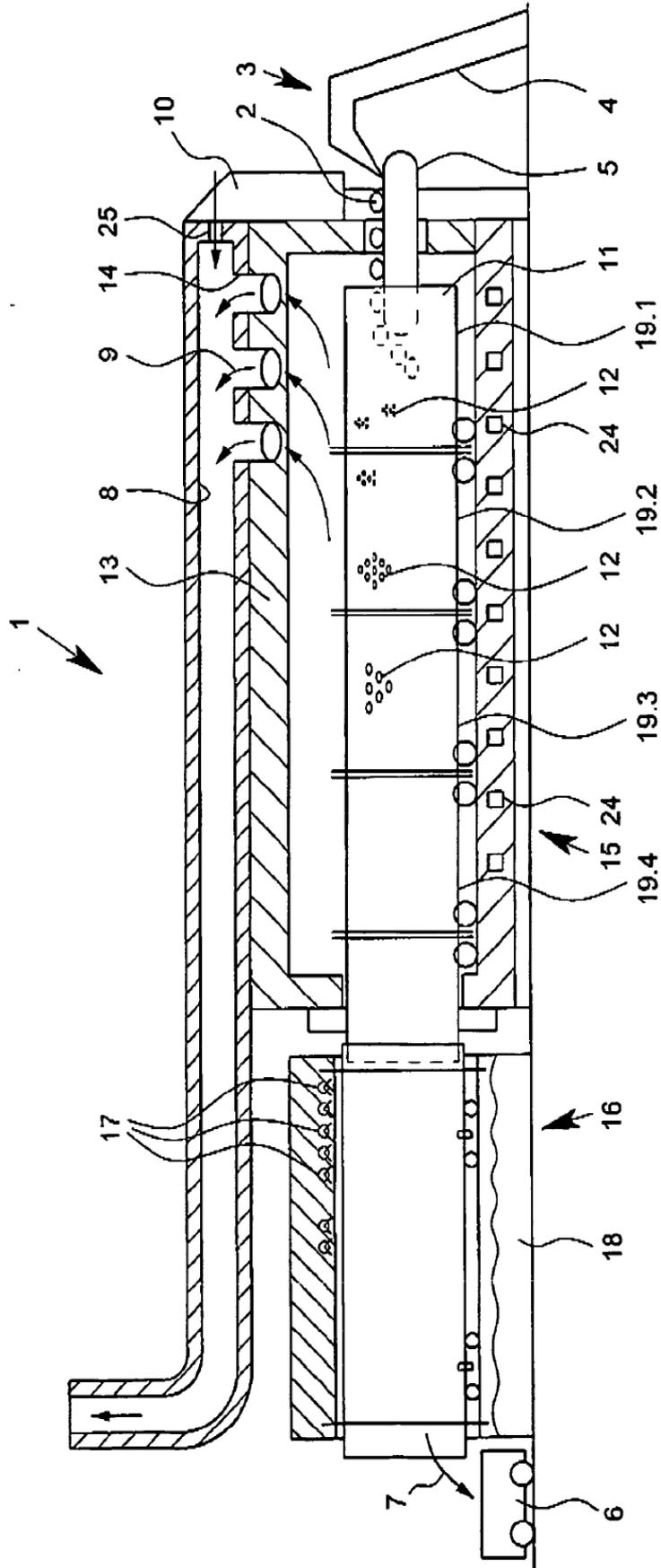


Fig. 1

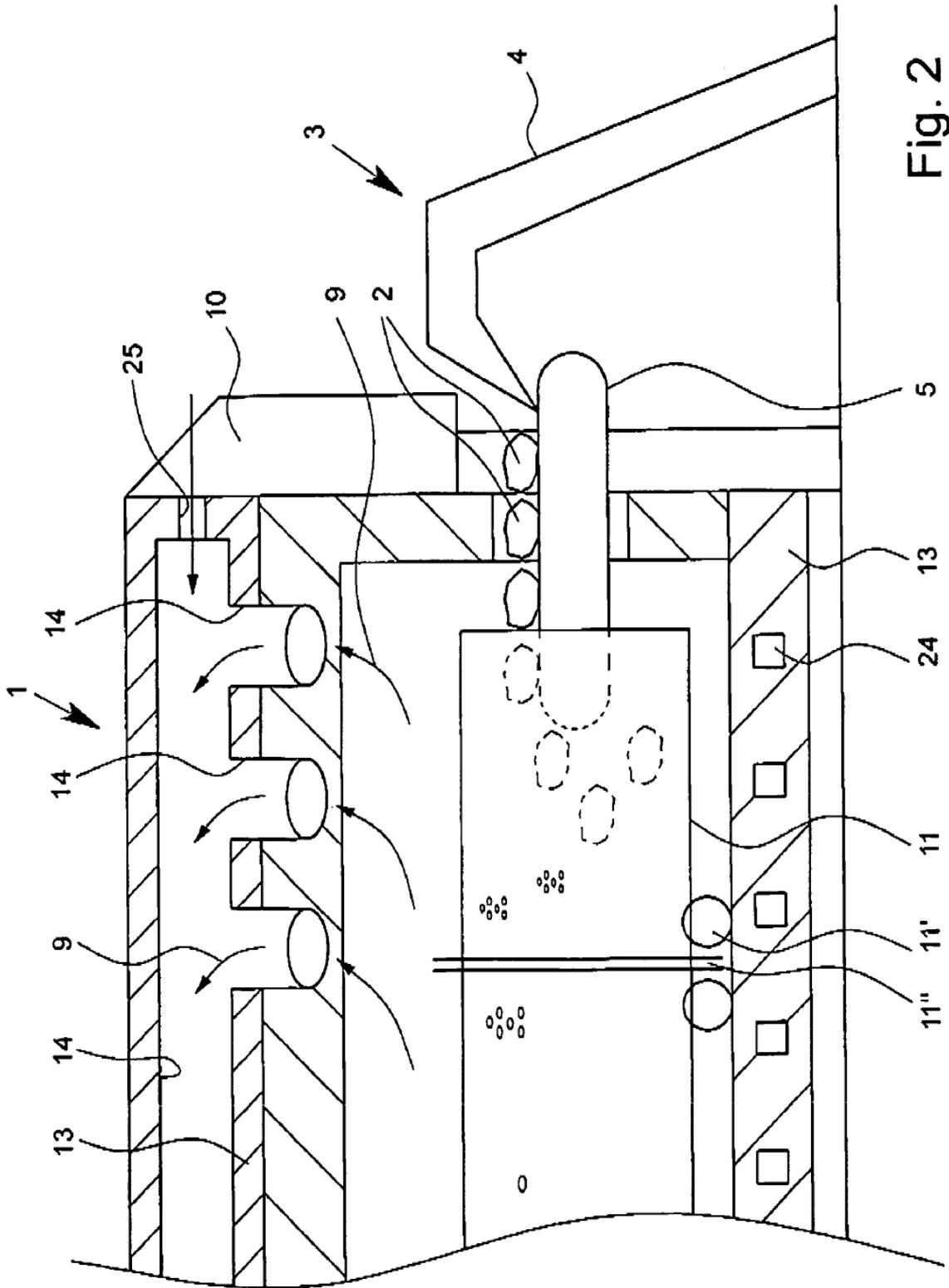


Fig. 2

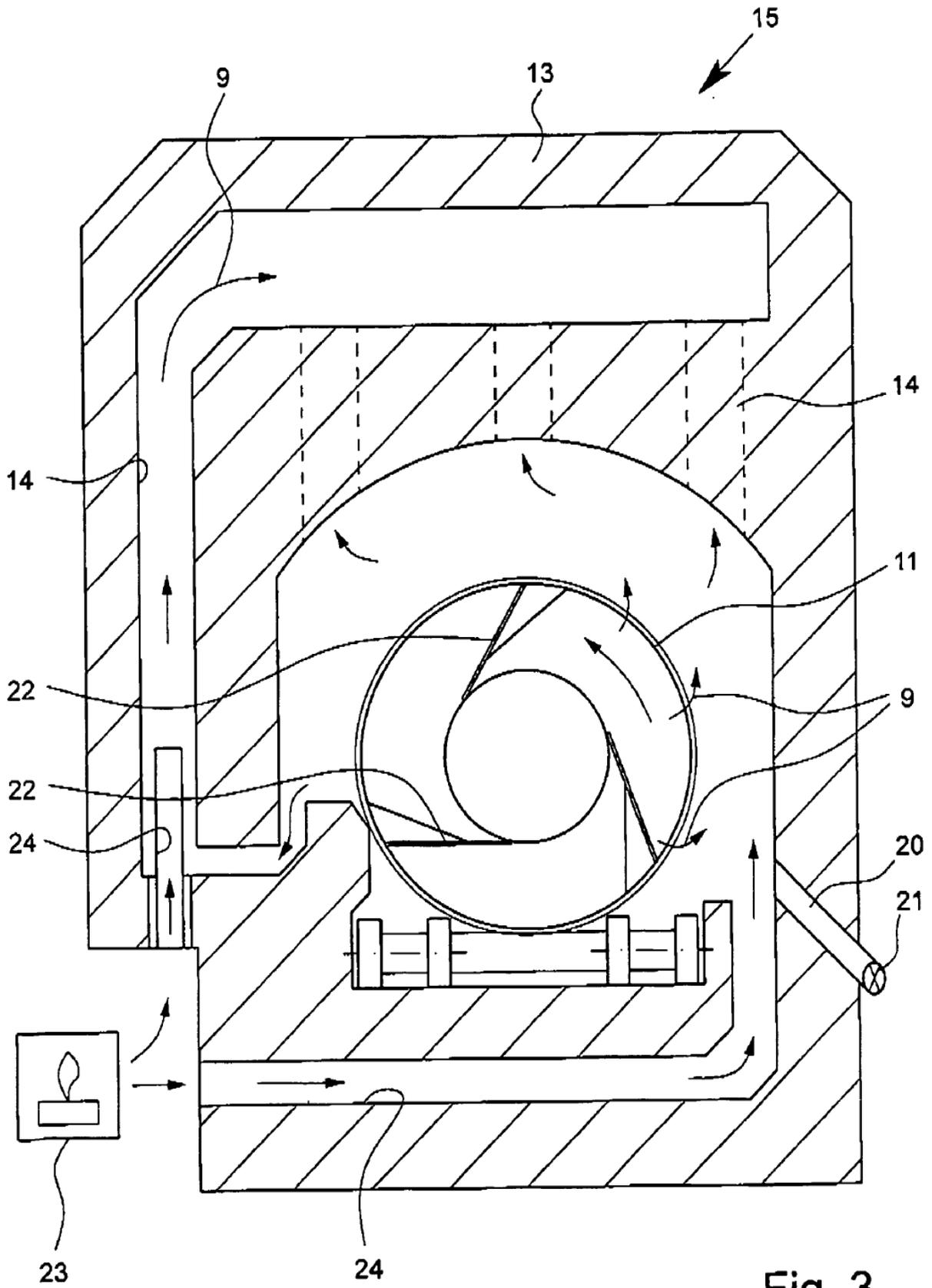


Fig. 3

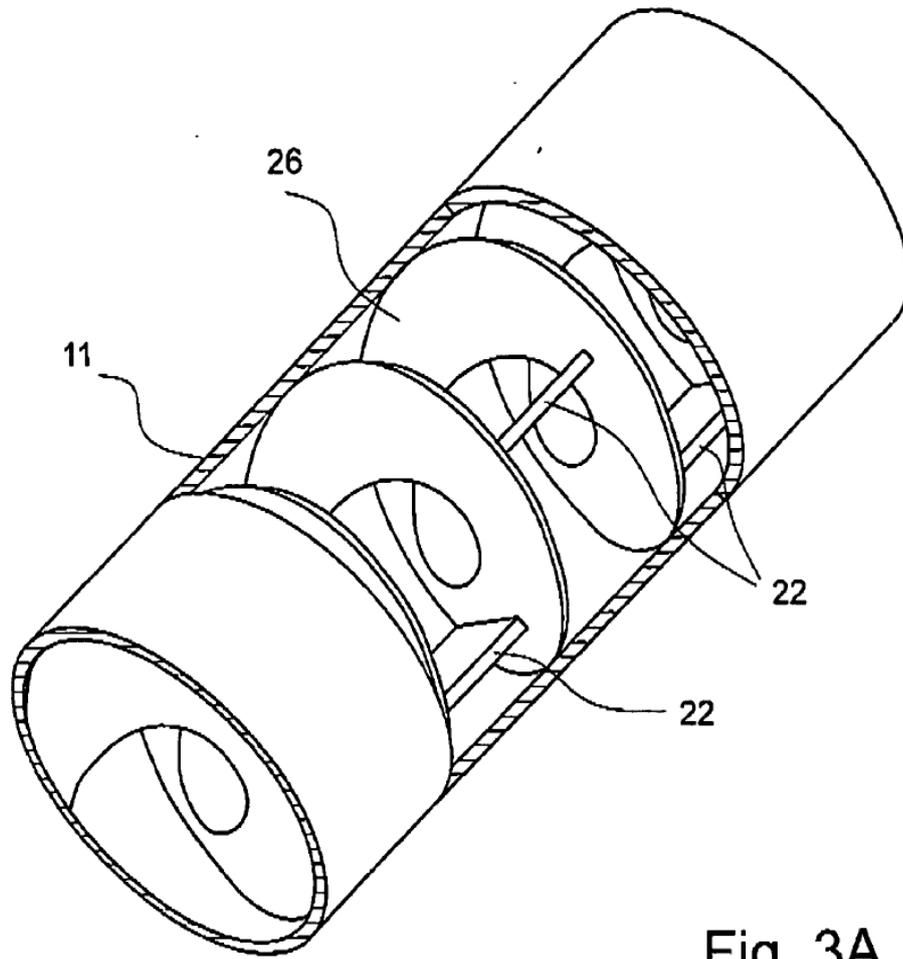


Fig. 3A

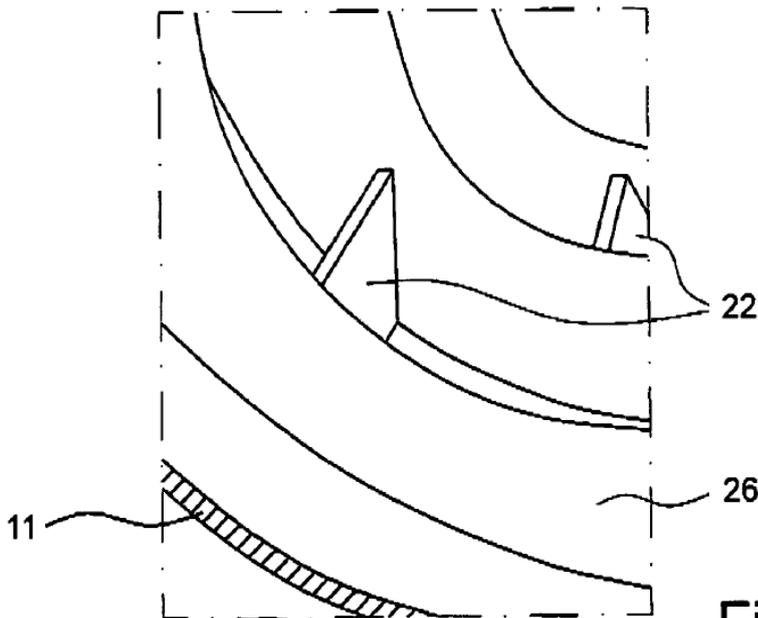


Fig. 3B

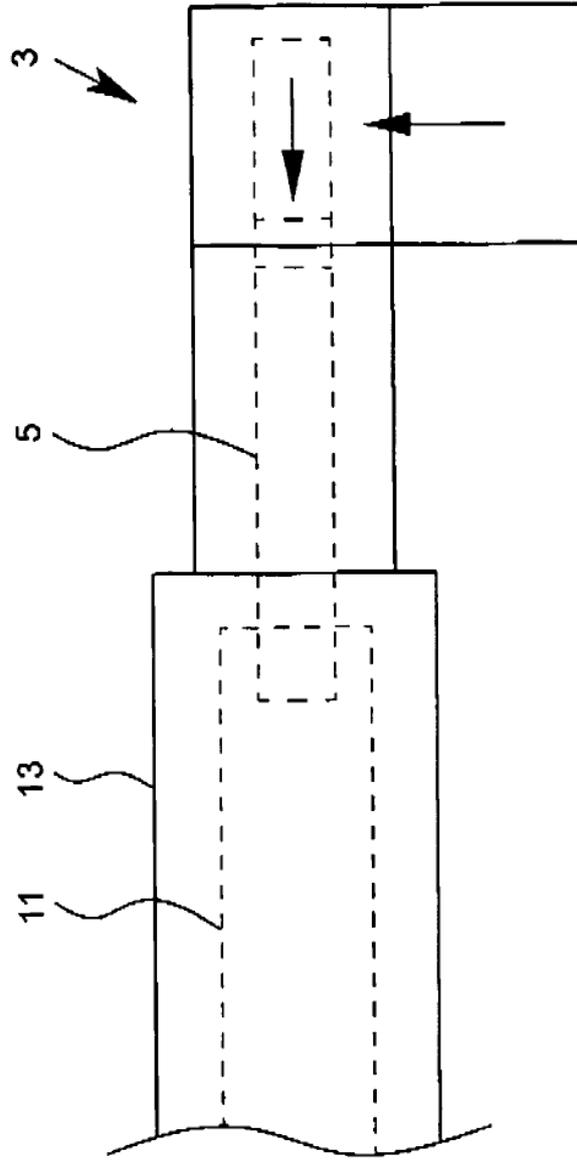


Fig. 4

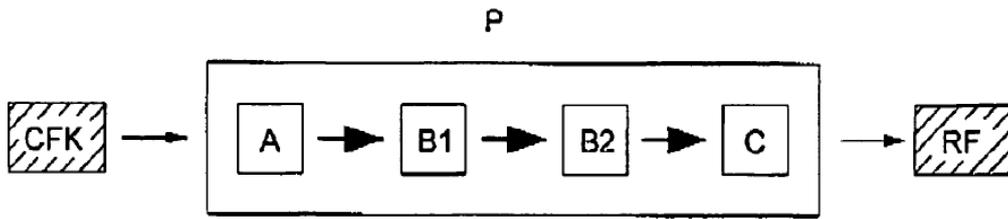


Fig. 5

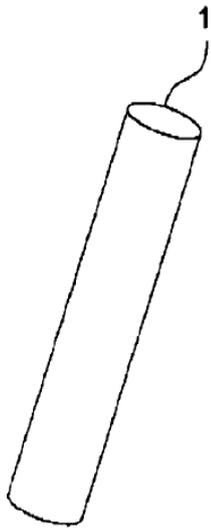


Fig. 6A

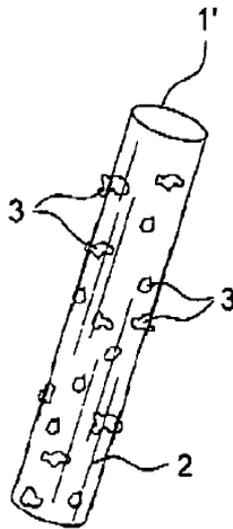


Fig. 6B

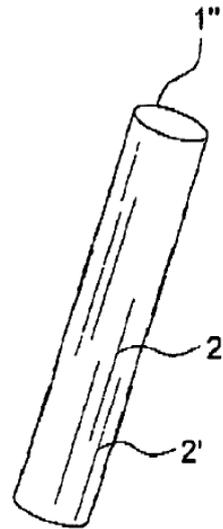


Fig. 6C