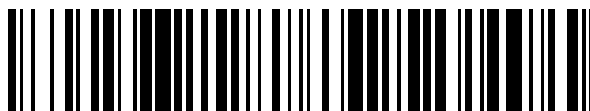


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 334**

51 Int. Cl.:

B01J 8/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2015 PCT/EP2015/080308**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2016 WO16097190**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2015 E 15819809 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2018 EP 3233261**

54 Título: **Medición de temperatura por fibra óptica en una carga de catalizador**

30 Prioridad:

19.12.2014 DE 102014018825

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

09.04.2019

73 Titular/es:

**MAN ENERGY SOLUTIONS SE (100.0%)
Stadtbachstrasse 1
86153 Augsburg, DE**

72 Inventor/es:

**EGNER, FRANZ;
BANK, ROLF;
BAUER, ANDREAS;
LAINER, MARTIN y
VERBEEK, DIETER**

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 708 334 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

Medición de temperatura por fibra óptica en una carga de catalizador

5 La invención se refiere a un reactor tubular según el preámbulo de la reivindicación 1.

Para llevar a cabo reacciones catalizadas de manera heterogénea en fase gaseosa como procesos de oxidación, hidrogenación, deshidrogenación, nitración o alquilación, en la industria química han resultado eficaces en particular los reactores tubulares como diseño especial de reactores de lecho fijo. Los reactores tubulares con sólo un tubo se utilizan preferiblemente como reactores piloto o de laboratorio. Cuando una pluralidad de tubos de reacción están dispuestos en paralelo formando un haz, entonces se habla de un reactor de haz de tubos.

Un reactor de haz de tubos de este tipo presenta una parte principal de reactor con un haz de tubos de reacción que discurren en vertical, en los que generalmente se encuentra un catalizador granular y dado el caso también material inerte. Los tubos de reacción están fijados en sus extremos de manera estanca en un fondo de tubo superior o inferior. El haz de tubos está rodeado por una camisa del reactor. La mezcla de gases de reacción se alimenta a los tubos de reacción a través de una campana de reactor que cubre el respectivo fondo de tubo y se extrae de los tubos de reacción a través de una campana de reactor que cubre el otro fondo de tubo como mezcla de gases de producto.

La reacción puede ser endotérmica o exotérmica. Se obtienen condiciones de reacción estables porque alrededor de las caras externas de los tubos de reacción fluye un medio portador de calor y porque a este respecto se garantiza una transferencia de calor definida. Cuando la transferencia de calor debe ser lo mejor posible ésta puede conseguirse con un medio portador de calor sin cambio de fase porque los tubos de reacción presentan un flujo transversal. En el caso de reactores de haz de tubos grandes, a menudo el medio portador de calor se guía con placas deflectoras en forma de anillo y de disco, de manera sinuosa a través de un haz de tubos en forma de anillo. El medio portador de calor se distribuye a través de canales anulares por el perímetro del reactor mediante un dispositivo de circulación situado por fuera del reactor y entra a través de una pluralidad de aberturas de camisa en el espacio de camisa del reactor. El medio portador de calor calentado que sale del reactor se enfría en un enfriador situado por fuera del reactor. Mediante un guiado adecuado del flujo a lo largo de los tubos de reacción es posible ajustar un perfil de temperatura optimizado para el respectivo proceso. Además se conoce el enfriamiento con un medio portador de calor de evaporación como agua.

En el caso de las reacciones catalizadas de manera heterogénea, las reacciones químicas sólo tienen lugar en la superficie de las partículas de catalizador. La transición del frente de reacción se produce en el punto de contacto de dos partículas de catalizador. Este punto de contacto representa un lugar con un suministro de catalizador localmente reducido. Aquí, de manera correspondiente, la reacción química local es algo más débil. Por tanto, la generación de calor tiene un desarrollo ondulado con máximos en la zona de las partículas de catalizador y mínimos en los puntos de contacto de las mismas. Favorecer la reacción mediante conducción del calor de una partícula a otra desempeña un papel secundario debido a la conducción reducida del calor del material de base generalmente cerámico.

En una serie de reacciones catalíticas en fase gaseosa, especialmente en el caso de las reacciones catalíticas de oxidación parcial, en la zona inicial del tubo de reacción se produce una generación aumentada de calor produciéndose un máximo de temperatura, el denominado "punto caliente" (*hot spot*). En función del tipo de reacción, este punto caliente es diferente en la extensión axial y en la altura del máximo de temperatura. A este respecto, por ejemplo las reacciones para la obtención de anhídrido maleico, anhídrido ftálico así como la metanización de CO o CO₂, muestran máximos de temperatura pronunciados. Así, con respecto a la reacción global, el punto caliente es un fenómeno normal y, por tanto, se considera un punto caliente funcional. Para un funcionamiento estable, el punto caliente, como se describió al principio, se controla mediante enfriamiento con un medio portador de calor que fluye por los tubos de reacción.

En función de la velocidad de reacción las materias primas se convierten en los productos hasta que se han consumido las materias primas. Una vez que se ha convertido la mayor parte de la materia prima, la liberación de calor en las reacciones rápidas disminuye prácticamente de manera brusca hasta cero y el enfriamiento del tubo de reacción se encarga de que la mezcla de gases de reacción adopte rápidamente la temperatura del medio portador de calor. En función de la velocidad de reacción los puntos calientes pueden tener una extensión axial de sólo unas pocas partículas de catalizador.

En las zonas de los puntos calientes existe el riesgo particular de que las reacciones no den lugar al producto deseado, sino que, por ejemplo, en el caso de las reacciones de oxidación parcial, se produzca una oxidación completa de las materias primas. En estos casos puede desarrollarse rápidamente un punto caliente no funcional con temperaturas muy por encima de los 700°C. Este punto caliente no funcional puede continuar en contra del sentido del flujo hasta la entrada de tubo de reacción y aquí producir la explosión de la mezcla de gases de reacción situada en la campana de entrada del reactor. En este caso se habla también de una "pérdida de control" de la reacción.

Para evaluar el desarrollo de la reacción en el reactor y para un control óptimo del proceso de reacción con respecto a calidad de producto y rendimiento, resulta decisivo el registro de la temperatura dentro de la carga de catalizador en la dirección axial. Durante el funcionamiento es muy importante conocer la temperatura del punto caliente para que, al superar una temperatura permitida, sea posible modificar el proceso de manera correspondiente. De lo contrario puede producirse un daño del catalizador con un empeoramiento del rendimiento, selectividad y producción. La monitorización de la temperatura del punto caliente es importante especialmente en el caso de las reacciones exotérmicas rápidas, porque en este caso, en poco tiempo, se libera una cantidad de calor relativamente grande, que da lugar a un aumento de temperatura correspondiente de la mezcla de gases de reacción.

Por tanto se han desarrollado diferentes sistemas para la medición de las temperaturas de reacción a lo largo de un tubo de reacción. Para mantener la inversión con respecto a la metrología dentro de unos límites, las temperaturas se miden sólo en algunos pocos tubos de reacción representativos. Para ello se utilizan los denominados tubos térmicos. Estos son tubos de reacción especiales con dispositivos de medición de temperatura, en los que por lo demás, sin embargo, se establecen en la medida de lo posible las mismas condiciones de reacción que en el caso de los tubos de reacción sin dispositivos de medición de temperatura.

Para la medición de temperatura se emplean esencialmente tres procedimientos. Por regla general, en todos los procedimientos se introduce un tubo de protección en el centro del tubo térmico y se fija en su posición con distanciadores. A continuación se introduce el catalizador en el espacio anular entre la pared externa del tubo de protección y la pared interna del tubo térmico. Después se introduce un termómetro en el tubo de protección, que está implementado como elemento térmico o como termómetro de resistencia, utilizándose preferiblemente elementos térmicos debido al diseño más pequeño. Para limitar la influencia de diferentes densidades aparentes entre un tubo térmico y un tubo de reacción intacto, producidas por los efectos de borde en la circunferencia externa del tubo de protección, en las condiciones de reacción y así en el perfil de temperatura medido en el tubo térmico, el diámetro externo del tubo de protección se realiza de la manera más pequeña posible. Por otro lado, se le da mucha importancia a una estabilidad suficiente y a un espacio suficiente para la introducción sin complicaciones del termómetro en el tubo de protección. La realización del tubo de protección con un diámetro externo de 6,0 mm está muy extendida, en casos excepcionales también se utilizan tubos de protección con un diámetro externo de 8,0 mm.

En el documento EP 0 873 783 A1 y también en el documento EP 1 484 299 A1 se presentan dos procedimientos para la medición de las temperaturas en tubos de reacción de un reactor tubular o reactor de haz de tubos. A este respecto, se emplean o bien un termómetro individual con movilidad axial o bien un termómetro gradual estacionario. Ambos termómetros se encuentran preferiblemente en el eje de tubo en un tubo de protección.

En el primer procedimiento se guía un termómetro individual con movilidad axial en el tubo de protección. El uso de un solo termómetro permite el empleo de tubos de protección con diámetros pequeños, con lo que se minimiza la influencia sobre el proceso de reacción. Con este procedimiento es posible registrar el perfil de temperatura por toda la extensión del tubo de reacción de manera íntegra. Sin embargo, los valores de medición no están disponibles al mismo tiempo sino sólo con un desfase temporal debido al sistema. No es posible monitorizar de manera segura fases críticas del proceso como la operación de arranque, el comportamiento de reacción con cambios de concentración o el desarrollo y desplazamiento de puntos calientes no funcionales, de modo que con este procedimiento sólo pueden monitorizarse de manera práctica procesos estacionarios. Además el dispositivo es muy sensible desde el punto de vista mecánico.

En el segundo procedimiento se disponen varios termómetros axialmente en diferentes posiciones fijas en el tubo de protección. Esta disposición múltiple axial de termómetros también se denomina "termómetro multipunto" o "termómetro gradual". En este caso las temperaturas de todos los puntos de medición individuales están disponibles al mismo tiempo. En zonas críticas con máximos de temperatura pronunciados puede aumentarse la resolución local disminuyendo las distancias de los puntos de medición. Un termómetro gradual dispone de aproximadamente 10 a 15 puntos de medición, que tienen distancias entre 200 mm y 400 mm entre sí. Cuando se mueve o genera un punto caliente entre dos puntos de medición, en particular en zonas con una densidad de puntos de medición menor, entonces no es posible determinarlo.

En un tercer procedimiento, que se describe en el documento EP 2 075 058 A1, un termómetro gradual con un dispositivo de posicionamiento mecánico cubre la distancia de dos puntos de medición adyacentes, con lo que se obtienen trayectos de trabajo reducidos y tiempos cortos para el registro de un perfil de temperatura continuo por toda la longitud de un tubo térmico.

En el documento WO 2014/056588 A1 se utiliza una medición de temperatura por fibra óptica para la optimización de los flujos de medio portador de calor en un intercambiador de calor sin reacciones químicas. En este sentido se acopla una señal óptica en un guíaondas de luz sensible a la temperatura. Las señales ópticas reflejadas se convierten en temperaturas por una unidad de evaluación y permiten así la determinación de la distribución de temperatura a lo largo de la fibra óptica. En este sentido pueden utilizarse diferentes efectos físicos tales como la dispersión Raman, la dispersión de Rayleigh, la dispersión Brillouin o la dispersión en la red de Bragg.

En la dispersión Raman se aprovecha el efecto de que en un guíaondas de luz se inducen vibraciones reticulares por efectos térmicos. Estas vibraciones reticulares dependen de la temperatura. Cuando incide luz en las moléculas del guíaondas de luz, entonces se producen interacciones, que se denominan dispersión Raman. La luz retrodispersada está compuesta por tres grupos espectrales. El primer grupo está compuesto por la dispersión de Rayleigh. Esta corresponde a la longitud de onda de la luz incidente. Además hay una banda de Stokes desplazada hacia longitudes de onda mayores y una banda anti-Stokes desplazada hacia longitudes de onda menores, no dependiendo la primera de la temperatura y dependiendo la segunda de la temperatura. Con técnicas de frecuencia (OFDR: *Optical Frequency-Domain Reflectometry*, reflectometría óptica en el dominio de frecuencia) o técnicas de pulsos (OTDR: *Optical Time-Domain Reflectometry*, reflectometría óptica en el dominio de tiempo) es posible determinar la temperatura a lo largo de la fibra con resolución espacial. En el último caso, a partir de la diferencia del tiempo de propagación entre la emisión y la detección de los pulsos de luz se determina el nivel de dispersión y el lugar de dispersión.

En la determinación de temperatura mediante evaluación de la dispersión de Rayleigh se aprovechan las propiedades de los guíaondas de luz. Estos tienen defectos o fluctuaciones locales del índice de refracción, que se distribuyen de manera estadística por la fibra y que actúan como reflectores distribuidos. Cuando se acopla luz láser en este guíaondas de luz, entonces se realiza un escaneo espacial de la luz de Rayleigh retrodispersada con una resolución elevada mediante una especie de medición del tiempo de propagación. Se forma un patrón característico a lo largo de la fibra, que es estable y reproducible. Mediante cambios de temperatura o tensión este patrón se modifica de manera inequívoca, de modo que con técnicas de frecuencia o de pulsos puede convertirse en temperaturas y tensiones. Con este procedimiento son posibles resoluciones inferiores o iguales a 0,1 mm. Un dispositivo de medición puede descomponer las señales en segmentos con una longitud de por ejemplo al menos 1 mm.

Para la determinación de temperatura en guíaondas de luz puede utilizarse además la dispersión Brillouin. Esta es un tipo de dispersión óptica, que se basa en una interacción de ondas ópticas con vibraciones reticulares acústicas. El cambio de temperatura se calcula con ayuda de una onda acoplada anteriormente en el guíaondas de luz y retrodispersada a continuación, reducida con respecto a su frecuencia en función de la temperatura. Con este procedimiento también es posible determinar un perfil de temperatura continuo a lo largo de un guíaondas de luz.

Otro procedimiento utilizado para la medición de temperatura por fibra óptica es la dispersión en la red de Bragg. Estas redes de Bragg, también denominadas redes de fibra de Bragg, son filtros de banda ópticos incluidos en guíaondas de luz con otros índices de refracción con respecto a los guíaondas de luz. Reflejan luz con una longitud de onda determinada. A menudo cada red de Bragg tiene una longitud de onda propia. De este modo es posible identificar de manera inequívoca el lugar de la temperatura medida. La longitud de onda de una red de Bragg cambia en función de la temperatura y de las tensiones. Cuando sólo tiene que medirse la temperatura, entonces los guíaondas de luz no pueden estar sometidos a tensión, cuando se miden sólo las tensiones es necesario compensar la influencia de la temperatura.

Por regla general, el intervalo de medición convencional en los aparatos de medición de temperatura con redes de Bragg se extiende hasta aproximadamente 300°C. Sin embargo, el intervalo de medición puede ampliarse claramente cuando las redes de Bragg se someten a tratamiento térmico. Por "Canning, J. et al.: Regenerated gratings, *Journal Of The European Optical Society - Rapid Publications* 4, 09052 (2009) [doi:10.2971/jeos.2009.09052]" se conocen redes de Bragg con una resistencia a la temperatura de hasta 1100°C, alcanzada mediante un procedimiento de regeneración. En el documento US 7.835.605 B1 por ejemplo se describe la inclusión de redes de Bragg en una fibra óptica con un tratamiento previo térmico y un tratamiento posterior, con lo que puede alcanzarse una resistencia a la temperatura de hasta 1200°C.

El documento DE 10 2004 031 324 A1 presenta un procedimiento para la determinación de un perfil de temperatura en equipos e instalaciones de producción de la industria químico-farmacéutica utilizando fibras de vidrio con redes de fibra de Bragg. La distancia mínima de los puntos de medición a lo largo de la fibra de vidrio se indica con 5 mm. El intervalo de temperatura que va a controlarse se encuentra entre - 60°C y 1150°C.

En una hoja de información de producto de Bayer Technology Services se describe un aparato de medición de temperatura denominado "SpectroBAY MultiTemp" para la determinación de perfiles de temperatura. El aparato dispone de varios canales para la conexión de líneas de termómetro de fibra de vidrio, existiendo como máximo aproximadamente 30 puntos de medición por hilo de fibra. Permite una multiplexación en el tiempo y en paralelo. El intervalo de medición de temperatura se sitúa entre 0°C y 600°C. Como campo de aplicación típico se indica, entre otros, la medición del desarrollo de la temperatura en reactores tubulares dado el caso con relleno de catalizador y la detección de la formación de puntos calientes. No obstante, con el número relativamente reducido de puntos de medición no es posible el registro de un perfil de temperatura continuo con reactores de haz de tubos convencionales con longitudes del tubo de reacción en el intervalo entre 3 y 10 metros.

La empresa Polytec ofrece otros aparatos de medición de temperatura con guíaondas de luz disponibles en el mercado. En los aparatos de la serie "ODiSI" se evalúa la dispersión de Rayleigh. Toda la fibra representa en su longitud total un sensor de medición casi continuo con una resolución máxima de 1 mm. Las temperaturas de

aplicación máximas se encuentran con guíaondas de luz convencionales a 300°C y con guíaondas de luz especiales a 800°C. Otra serie tiene propiedades similares con diferencias en la longitud de los tramos de medición y la resolución. Los aparatos de la serie "DSS" funcionan con redes de Bragg. La resolución asciende a 1 cm, la velocidad de medición a 3 Hz. Las redes de Bragg pueden incluirse de manera continua en el guíaondas de luz, las posiciones de sensor y longitudes de sensor pueden configurarse libremente.

Cuando se evalúa la dispersión de Raman, Rayleigh o Brillouin, los valores de medición están disponibles de manera continua por toda la longitud del guíaondas de luz. La evaluación de todas las señales con la mayor resolución posible de la unidad de evaluación, para determinar un perfil de temperatura continuo a lo largo del tubo de reacción, exige una potencia de cálculo muy grande. De lo contrario disminuiría la velocidad de evaluación en tal medida que la indicación de temperatura se retrasaría varios segundos. La medición de temperatura por fibra óptica con ayuda de redes de Bragg permite sólo una resolución limitada, que no en todos los casos garantiza una detección segura de puntos calientes.

En cambio, el objetivo de la invención consiste en mejorar un reactor tubular del tipo mencionado al principio de tal modo que con un coste justificable desde el punto de vista económico se detecte de manera segura y casi en tiempo real cualquier aparición de puntos calientes.

Según la invención este objetivo se alcanza en un reactor tubular de tipo genérico mediante los rasgos característicos de la reivindicación 1.

La invención se basa en el conocimiento de que la extensión inicial en particular de un punto caliente no funcional corresponde al tamaño de una partícula de catalizador, o que la velocidad de propagación de un punto caliente dentro de una partícula de catalizador es tan grande, que la búsqueda de puntos calientes que sean más pequeños que una partícula de catalizador no tiene sentido desde el punto de vista técnico. La invención se basa en este conocimiento y dispone los puntos de medición con una distancia entre puntos de medición adyacentes, que depende del tamaño de partícula. Se ha encontrado que con una carga de catalizador, a cuyas partículas están asociadas dimensiones externas nominales, los puntos calientes se detectan de manera segura cuando la distancia de puntos de medición adyacentes en la dirección axial del tubo térmico asciende a de 0,8 a 5 veces la longitud de borde más corta de todos los paralelepípedos imaginarios que con un volumen mínimo en cada caso delimitan una partícula suponiendo que la partícula presenta su dimensión externa nominal. Cuando a las partículas de la carga de catalizador no están asociadas dimensiones externas nominales, se ha encontrado que los puntos calientes se detectan de manera segura cuando la distancia de los puntos de medición adyacentes en la dirección axial del tubo térmico asciende a de 0,8 a 5 veces la longitud de borde más corta de todos los paralelepípedos imaginarios que con un volumen mínimo en cada caso delimitan aquellas partículas que pertenecen a un porcentaje de masa de como mínimo el 70% de la carga de catalizador, a la que pertenecen todas las partículas con paralelepípedos imaginarios, en los que cada longitud de borde es más larga que la longitud de borde más corta. Con tales distancias entre puntos de medición adyacentes se garantiza que estas distancias por un lado sean lo suficientemente pequeñas como para garantizar una detección temprana de puntos calientes. Por otro lado, con las medidas según la invención se evita que debido a distancias demasiado pequeñas la evaluación de los valores de medición requiera tanto cálculo que una indicación de temperatura en tiempo real o al menos casi en tiempo real con retardos de como máximo 5 segundos sólo sea posible con unos costes muy elevados. Por tanto, con las distancias según la invención entre puntos de medición adyacentes es posible una indicación de temperatura (casi) en tiempo real con una unidad de evaluación relativamente económica, es decir, con un coste justificable desde el punto de vista económico.

Con las medidas según la invención es posible determinar los perfiles de temperatura en una carga de catalizador con una resolución elevada utilizando un aparato de medición compacto. Como un guíaondas de luz permite una densidad de puntos de medición elevada en la dirección longitudinal con sólo un diámetro externo reducido, por un lado, el diámetro externo del tubo de protección también puede ser pequeño. De este modo la influencia sobre la reacción es sólo mínima y así el guíaondas de luz proporciona un perfil de temperatura representativo con respecto a un tubo de reacción sin partes internas. Por otro lado, debido a la densidad de puntos de medición elevada, la construcción puede ser estacionaria, es decir, sin partes móviles, de modo que la construcción no sea sensible desde el punto de vista mecánico.

La elección del factor de 0,8 a 5 veces depende de la extensión axial esperada de un punto caliente, que a su vez depende del tipo de reacción. Extensiones axiales pequeñas del punto caliente requieren una mayor resolución con distancias más pequeñas y viceversa.

Mediante la monitorización simultánea de todo el perfil de temperatura es posible detectar bien operaciones dinámicas. Cuando varios tubos térmicos están distribuidos radialmente en el haz de tubos, al mismo tiempo existe una distribución de temperatura detallada en la dirección axial y radial del reactor de haz de tubo y rápidamente pueden tomarse medidas eventualmente necesarias, como por ejemplo cambios de caudal o concentración.

Un reactor tubular según la invención presenta en su realización más sencilla exclusivamente un solo tubo térmico. Un reactor tubular de este tipo puede utilizarse como dispositivo de ensayo para la optimización del proceso.

Como ejemplos de partículas de catalizador y los paralelepípedos que las delimitan con un volumen mínimo, en las figuras 2 a 4 se representan partículas de catalizador en forma de una esfera, de un cilindro hueco y de una montura de Berl así como en cada caso sus dimensiones externas determinantes para el paralelepípedo imaginario.

5 En el caso de una partícula de catalizador esférica es el diámetro externo D_K (figura 2). El paralelepípedo imaginario es en este caso un cubo y la longitud de borde más corta la longitud de borde D_K del cubo.

10 En el caso de una partícula de catalizador en forma de cilindro o de cilindro hueco las longitudes de borde del paralelepípedo imaginario se determinan por el diámetro externo D_Z y la longitud L_Z del cilindro (figura 3). Cuando $D_Z < L_Z$, entonces la longitud de borde más corta del paralelepípedo imaginario es el diámetro D_Z . Cuando $D_Z > L_Z$, entonces la longitud de borde más corta del paralelepípedo imaginario es la longitud de cilindro L_Z . Cuando $D_Z = L_Z$, el paralelepípedo imaginario es un cubo y la longitud de borde más corta L_Z o D_Z .

15 En el caso de una partícula de catalizador en forma de montura de Berl las longitudes de borde del paralelepípedo imaginario corresponden a las dimensiones externas L_B , B_B y H_B (figura 4). La longitud de borde más corta del paralelepípedo imaginario es la más corta de las dimensiones L_B , B_B o H_B .

20 En caso de que a las partículas de catalizador estén asociadas dimensiones externas nominales, es decir, en el caso de los ejemplos indicados anteriormente, de que a las dimensiones externas mencionadas estén asociados valores nominales, entonces según la invención las longitudes de borde de los paralelepípedos imaginarios corresponden a estas dimensiones externas nominales de las partículas de catalizador.

25 En caso de que a las partículas de la carga de catalizador no estén asociadas dimensiones externas nominales, entonces según la invención las longitudes de borde de los paralelepípedos imaginarios corresponden a las dimensiones externas reales correspondientes de las partículas de catalizador.

30 Estas dimensiones externas reales podrían determinarse por ejemplo mediante mediciones con un pie de rey. Esto corresponde a la determinación de tres diámetros de Feret situados en cada caso perpendiculares entre sí, cuyo producto representa el volumen de un paralelepípedo que delimita la partícula. En función de la orientación del grupo de tres, de tres valores de medición perpendiculares entre sí con respecto a la partícula se obtienen diferentes valores de medición o longitudes de borde y con ello diferentes volúmenes. Para la invención resulta decisivo para cada partícula el paralelepípedo que la delimita con el volumen mínimo y en éste la longitud de borde más corta. El porcentaje de masa deseado se determina mediante una operación de pesaje con una suma posterior, determinándose y sumándose el peso de las partículas individuales.

35 La longitud de borde más corta en la que se basará la distancia de los puntos de medición adyacentes es la longitud de borde más corta del paralelepípedo o de la partícula correspondiente con la que, con la suma de los pesos de las partículas individuales por orden de tamaño de las longitudes de borde más cortas respectivas, empezando por la partícula con la mayor de la longitud de borde más corta, se alcanza un porcentaje en peso de al menos el 70% de la carga de catalizador.

40 De manera esencialmente más sencilla y rápida y adecuada para la aplicación industrial las longitudes de borde más cortas debido a las dimensiones reales de las partículas pueden determinarse por medio de una operación de tamizado y de una operación de pesaje siguiente.

45 Así, la carga de catalizador puede clasificarse en seco en una torre de tamizado con una tamizadora de laboratorio. La torre de tamizado presenta una pluralidad de cribas de agujeros oblongos con tamaños de agujero oblongo predeterminados y una escala predeterminada de los tamaños de agujero oblongo. El material de tamizado, la carga de catalizador, se echa en la criba de agujeros oblongos superior con el tamaño de agujero oblongo más grande. La longitud de borde más corta de un paralelepípedo imaginario, que delimita la partícula de catalizador con un volumen mínimo, es determinante para que la partícula caiga a través de los agujeros oblongos o ranuras o permanezca sobre la criba de agujeros oblongos. Tras finalizar la operación de tamizado se pesan las partes de la carga de catalizador que han quedado en las cribas individuales y así se determina cada porcentaje de masa de las partículas situadas en una criba de agujeros oblongos con respecto a la masa total de la carga de catalizador.

50 Mediante suma de los porcentajes de masa en el orden de las cribas de agujeros oblongos, empezando por la criba de agujeros oblongos superior, hasta alcanzar el porcentaje de suma deseado de como mínimo el 70% se determina el paralelepípedo (la partícula) o la criba de agujeros oblongos, cuya longitud de borde más corta o cuyo tamaño de agujero oblongo resulta decisivo para la invención.

55 En caso de que la suma de los porcentajes en peso/porcentaje de masa hasta una criba de agujeros oblongos n dé el porcentaje de suma deseado (por ejemplo exactamente el 70%), entonces el tamaño de agujero oblongo de esta criba de agujeros oblongos n se determina como la longitud de borde más corta decisiva.

60 En caso de que el porcentaje de suma deseado se sitúe entre los porcentajes de suma hasta las cribas de agujeros

oblongos n y $n + 1$, entonces la longitud de borde más corta decisiva se determina mediante interpolación lineal entre los tamaños de agujero oblongo de estas dos cribas de agujeros oblongos en relación con sus porcentajes de masa.

5 En caso de que los tubos de reacción y los tubos térmicos se llenen con una carga de catalizador homogénea, entonces puede extraerse de la misma una muestra al azar representativa, por ejemplo con un divisor de muestras. Esta muestra se alimenta entonces en lugar de toda la carga de catalizador a la torre de tamizado y como se describió anteriormente se clasifica en seco y se evalúa.

10 Las cribas de agujeros oblongos previstas para la determinación de la distribución del tamaño de partícula se describen con más detalle en la norma DIN 4185-3, por ejemplo la edición de 1965. Las cribas presentan en la construcción prevista en una forma de realización preferida rejillas de tamizado con barras de perfil, que en su zona superior presentan superficies paralelas, es decir, por ejemplo barras de perfil con cabeza paralela o cabeza de techo paralela según los ejemplos 5.1.1.2 o 5.1.1.4 de la norma. Las distancias de agujero oblongo se ajustan
15 preferiblemente con arandelas distanciadoras según el ejemplo n.º 5.1.2 de la norma, preferiblemente a 0,05 mm. El procedimiento de tamizado a aplicar se ha estandarizado en la norma DIN 66165-1 (base) y DIN 66165-2 (realización).

20 En una configuración conveniente de la invención, en la carga de catalizador del tubo térmico está dispuesto un tubo de protección y el guíaondas de luz con tubo capilar discurre en el tubo de protección. Aunque el guíaondas de luz ya esté guiado en un tubo capilar, el guíaondas de luz con tubo capilar se dispone preferiblemente todavía en un tubo de protección en la carga de catalizador del tubo térmico. Además de la protección frente a un daño mecánico del tubo capilar y del guíaondas de luz mediante partículas de catalizador el tubo de protección evita que el tubo capilar con guíaondas de luz al introducirse en la carga de catalizador se quede enganchado en las partículas de
25 catalizador y/o se abombe localmente por las mismas, con lo que podrían modificarse las distancias entre puntos de medición adyacentes. El tubo de protección garantiza de este modo que el guíaondas de luz en el tubo capilar conserve su desarrollo rectilíneo y así las distancias entre puntos de medición adyacentes.

30 Preferiblemente el porcentaje de masa asciende como mínimo al 80%, más preferiblemente como mínimo al 90% y de manera especialmente preferible como mínimo al 95%. A medida que aumenta el porcentaje de masa, es decir, según se acorta la "longitud de borde más corta", se garantiza también con cargas de catalizador con una dispersión muy amplia y un porcentaje relativamente grande de partículas de catalizador pequeñas, que las dimensiones de estas partículas de catalizador más pequeñas, es decir la longitud de borde más corta de los paralelepípedos que las delimitan con un volumen mínimo, se consideren en una medida suficiente.

35 Un guíaondas de luz utilizado en un reactor tubular según la invención presenta en su núcleo preferiblemente una fibra de vidrio dopada, de manera especialmente preferible de vidrio de sílice, con un diámetro externo en el intervalo desde 0,05 hasta 0,25 mm. Para la protección mecánica está rodeada preferiblemente por una envoltura de fibra, que en su lado externo presenta un recubrimiento delgado. El diámetro externo del guíaondas de luz incluido el recubrimiento, se sitúa en el intervalo desde 0,1 hasta 0,4 mm, preferiblemente entre 0,15 y 0,25 mm.

40 Para una protección mecánica adicional el guíaondas de luz se guía en el tubo capilar. Su material no tiene que cumplir ningún requisito particular, menos que debe resistir de manera duradera la temperatura de funcionamiento del proceso. Preferiblemente el tubo capilar está compuesto por acero. Para simplificar, en adelante el tubo capilar incluido el guíaondas de luz también se denominará capilar de medición. El diámetro interno del tubo capilar está dimensionado de tal modo que con respecto al diámetro externo del guíaondas de luz queda una diferencia de diámetro entre 0,35 mm y 0,5 mm, de modo que el guíaondas de luz pueda introducirse fácilmente en el tubo capilar. El tubo capilar también puede ser un tubo de metal flexible, por ejemplo, en una realización a modo de manguera en
45 espiral de metal.

50 Sin embargo, un tubo capilar es preferiblemente duro y recto para que pueda introducirse fácilmente en el tubo de protección. Puesto que un capilar de medición sigue siendo muy sensible frente a un daño mecánico; para su protección adicional sirve el tubo de protección.

55 Durante el transporte el tubo capilar se protege para que no se doble, por ejemplo empaquetándolo en un tubo estable. En espacios de transporte reducidos puede resultar útil fabricar el tubo capilar a partir de un metal blando. Este se obtiene calentando al rojo un tubo capilar estándar duro y reduciendo así su resistencia. Un tubo de acero blando y al rojo de este tipo puede enrollarse sobre un rollo y transportarse bien. Antes de que este tubo de acero blando se introduzca en el tubo de protección, en primer lugar tiene que volver a ponerse recto. Esto puede realizarse por ejemplo con un dispositivo sencillo en el que el tubo de acero se guía en rollos y se dobla de modo
60 que recupera de nuevo su forma recta original.

65 Un tubo de protección es preferiblemente también un tubo recto de material duro y se introduce en una sola pieza en un tubo térmico. En caso de que sea necesario puede alargarse por ejemplo fácilmente uniendo entre sí dos extremos rectos y romos con un manguito lo más pequeño posible, aunque estable.

Un tubo de protección está compuesto preferiblemente también por acero y tiene un grosor de pared entre 0,4 mm y 1,2 mm, preferiblemente un grosor de pared entre 0,8 mm y 1,1 mm. Para limitar el efecto de pared que influye en la reacción, el diámetro externo del tubo de protección será lo más pequeño posible, aunque la sección transversal interna o interior tendrá un tamaño tal que el capilar de medición pueda introducirse sin problemas en el tubo de protección. El tubo de protección tiene preferiblemente un diámetro externo entre 2,0 mm y 4,0 mm y de manera especialmente preferible entre 2,6 mm y 3,2 mm.

Una forma de realización a modo de ejemplo de un tubo térmico podría presentar un tubo de protección con un diámetro externo de 4,0 mm y un diámetro interno de 2,0 mm. En su interior se encuentra un tubo capilar con un diámetro externo de 1,6 mm y un diámetro interno de 0,6 mm, en el que se encuentra un guíaondas de luz con un diámetro externo de 0,25 mm. Cuando se exigen mayores exigencias con respecto a la precisión de medición debe comprobarse si es posible reducir las dimensiones, por ejemplo si puede utilizarse un tubo de protección con un diámetro externo de 3,2 mm y un diámetro interno de 2,0 mm o si el grosor de pared del tubo de protección puede reducirse en menor medida y en su lugar pueden adaptarse las dimensiones de las partes colocadas en el tubo de protección.

Tanto en el caso de un reactor experimental con sólo un tubo, un tubo térmico, como en el caso de un reactor grande con adicionalmente una pluralidad de tubos de reacción, habitualmente el reactor se monta en primer lugar por el fabricante incluido(s) el/los tubo(s) de protección y se colocan en el lugar de destino.

En el montaje el tubo de protección todavía vacío se guía con distanciadores preferiblemente sobre el eje de tubo en el tubo térmico aún sin catalizador. Es importante la posición central en el tubo porque aquí en la dirección radial cabe esperar la temperatura de reacción máxima. La distancia axial de dos distanciadores adyacentes asciende preferiblemente a de 10 a 30 veces el diámetro interno del tubo. A continuación se guía el capilar de medición en el tubo de protección. El tubo de protección puede estar compuesto por una sola pieza o por varias piezas. Opcionalmente también un compensador puede hacer que no esté sometido a tensión.

En un perfeccionamiento conveniente de la invención, en el segmento de tubo térmico axial de longitud predeterminada, la distancia de los puntos de medición adyacentes en la dirección axial del tubo térmico asciende a de 1 a 3 veces y más preferiblemente de 1 a 2 veces dicha longitud de borde más corta. Cuanto menos se desvíen las distancias de los puntos de medición adyacentes del tamaño de partícula decisivo, menor es el riesgo de que entre los puntos de medición sin reconocerse se forme un punto caliente.

Las distancias de los puntos de medición adyacentes son preferiblemente iguales. Sin embargo, según las circunstancias también pueden fijarse de manera diferente. Por ejemplo, las distancias pueden seleccionarse más pequeñas en zonas críticas, por ejemplo donde pueden aparecer puntos calientes, por ejemplo 1 vez dicha longitud de borde más corta. En las demás zonas podrían preverse distancias de por ejemplo 2 veces dicha longitud de borde más corta. En las zonas no críticas esta escala sigue siendo exactamente suficiente para registrar un perfil de temperatura casi continuo. Por otro lado, mediante la disminución del número de puntos de medición es posible aumentar considerablemente la velocidad de medición. La densidad de puntos de medición puede configurarse según una mayor resolución espacial, es decir, distancias menores, con una velocidad de medición o evaluación menor o según una velocidad de evaluación elevada con una menor resolución espacial.

Ventajosamente en el segmento de tubo térmico axial de longitud predeterminada la distancia de los puntos de medición adyacentes en la dirección axial del tubo térmico asciende a al menos 0,5 mm. Con una distancia de los puntos de medición adyacentes de 0,5 mm los valores de temperatura interconectados se funden para formar un perfil de temperatura casi continuo en la dirección longitudinal del tubo térmico. Si las distancias de los puntos de medición adyacentes fueran menores de 0,5 mm, entonces esto ya no llevaría a ningún cambio del perfil de temperatura evaluado, porque dentro de este intervalo no se producen puntos calientes independientes. Estos tampoco podrían comprobarse porque como en el caso de cualquier termómetro alargado también hay una conducción de temperatura en la dirección axial, con lo que el perfil de temperatura siempre se "alisa" en cierto modo. Sin embargo, este efecto es insignificante en los tramos de conducción del calor radiales cortos presentes en este caso y la densidad de puntos de medición axial elevada.

Las distancias de los puntos de medición adyacentes en el guíaondas de luz ascienden preferiblemente como máximo a 9 mm y más preferiblemente se ajustan a un intervalo de tamaños de desde 1 hasta 4 mm.

Existen puntos de medición de temperatura discretos. Sin embargo, las distancias de tales puntos de medición de temperatura adyacentes son tan pequeñas que al unir los puntos de medición de temperatura estos se funden en un perfil de temperatura casi continuo.

En una forma de realización preferida de la invención el reactor tubular incluye adicionalmente al menos un tubo de reacción lleno de catalizador. Para que la desviación de las condiciones de reacción y con ello del perfil de temperatura del tubo térmico con respecto a un tubo de reacción con las mismas dimensiones se mantenga lo más reducida posible, la carga de catalizador con respecto a su efecto de reacción corresponderá a la de los tubos de reacción.

En un reactor tubular de este tipo, que por ejemplo se utiliza con un tubo térmico y un tubo de reacción como dispositivo de ensayo, es posible comparar indirectamente los perfiles de temperatura de tubos de reacción con y sin dispositivo de medición de temperatura por medio de procedimientos conocidos. Mediante los resultados de comparación obtenidos a partir de las temperaturas en un tubo térmico pueden concluirse las condiciones en un tubo de reacción.

Si se prevén una pluralidad de tubos de reacción y un menor número de tubos térmicos, entonces se obtiene un reactor de haz de tubos clásico con cantidades de tubos entre 1000 y 55000, preferiblemente entre 15000 y 40000 tubos. Con un reactor de este tipo los tubos térmicos y los tubos de reacción están dispuestos preferiblemente como haz de tubos redondo o en forma de anillo circular; sus extremos están fijados de manera estanca en los fondos de tubo y durante el funcionamiento fluye alrededor de los mismos un medio portador de calor fluido. El reactor presenta además una camisa del reactor que rodea el haz de tubos, una campana de entrada de gas que cubre uno de los fondos de tubo, y una campana de salida de gas que cubre el otro fondo de tubo, estando los tubos de reacción y térmicos conectados mediante fluido con la campana de entrada de gas y salida de gas. Las dimensiones de un reactor de haz de tubos de este tipo corresponden por lo demás a las de las realizaciones conocidas. En este caso preferiblemente no se prevén puntos de toma de muestras para el gas de reacción al principio y al final de los tubos térmicos o de reacción. Las características según la invención no se limitan al uso en los reactores de haz de tubos descritos anteriormente. También pueden utilizarse por ejemplo en reactores de haz de tubos con varias zonas de medio portador de calor o en haces de tubos con una sección transversal que no es redonda o no tiene forma de anillo circular. El medio portador de calor utilizado tampoco está limitado adicionalmente. Así también pueden utilizarse aceites portadores de calor, líquidos iónicos o también medios portadores de calor de evaporación como agua. Sin embargo, un medio portador de calor preferido es sal líquida. La selección del medio portador de calor se determina en función de la temperatura óptima del proceso y consideraciones operacionales.

En un perfeccionamiento conveniente de la invención el guíaondas de luz, el tubo capilar y el tubo de protección son resistentes a la temperatura hasta 1000° C, más preferiblemente resistentes a la temperatura hasta 800° C y de manera especialmente preferible hasta 700° C. Los guíaondas de luz habituales con fibras estándar funcionan a temperaturas entre -50°C y 300°C. Sin embargo, las temperaturas en las reacciones catalíticas en fase gaseosa se sitúan generalmente en el intervalo entre 300°C y 500°C. Las temperaturas del punto caliente pueden ser localmente algo superiores. Por tanto, según la invención se utilizan guíaondas de luz con una elevada resistencia a la temperatura de 1000°C, preferiblemente hasta 800°C y de manera especialmente preferible hasta 700°C. En guíaondas de luz para la evaluación de la dispersión de Raman, Rayleigh o Brillouin debe garantizarse que el material de base del guíaondas de luz utilizado sea adecuado para las temperaturas operativas previstas. Cuando se utiliza la dispersión en la red de Bragg se preparan los guíaondas de luz correspondientes según un procedimiento según el estado de la técnica, por ejemplo mediante un tratamiento térmico adecuado.

En una configuración ventajosa de la invención la unidad de evaluación está configurada para evaluar las señales ópticas formadas mediante dispersión Raman y/o mediante dispersión de Rayleigh y/o mediante dispersión Brillouin. Mediante la evaluación de estas dispersiones es posible determinar de manera arbitraria los puntos de medición que van a evaluarse a lo largo del guíaondas de luz y disponerlos a pequeñas distancias cualesquiera.

En otra forma de realización también preferida de la invención la unidad de evaluación está configurada para evaluar las señales ópticas formadas mediante dispersión en redes de Bragg. Las redes de Bragg son puntos de medición discretos, estacionarios. La evaluación de las señales ópticas aquí formadas es relativamente sencilla y por tanto requiere una potencia de cálculo relativamente reducida.

A este respecto, ventajosamente en el tubo de protección se encuentran al menos dos guíaondas de luz con en cada caso una fila axial de redes de Bragg, estando desplazadas axialmente entre sí las redes de Bragg de las filas, y en al menos un segmento de tubo térmico axial de longitud predeterminada los puntos de medición formados por las redes de Bragg, desplazados entre sí presentan dicha distancia de los puntos de medición adyacentes, y la unidad de evaluación dispone de un dispositivo que compone las señales ópticas reflejadas por los al menos dos guíaondas de luz para obtener una sola fila continua de valores de medición de temperatura. Con esta medida pueden emplearse guíaondas de luz con en cada caso una fila de redes de Bragg, que con respecto a la red de Bragg adyacente de la misma fila presentan una distancia mayor de lo necesario o deseado. En particular, con esta medida también pueden implementarse distancias entre redes de Bragg adyacentes que sean menores que las distancias mínimas entre redes de Bragg adyacentes de la misma fila.

La ventaja en la evaluación de la retrodispersión de redes de Bragg consiste en que con un cambio de temperatura sólo se desplaza la longitud de onda de la red de Bragg correspondiente. La evaluación de esta señal es relativamente sencilla y por tanto muy rápida, lo que lleva a una velocidad de evaluación casi en tiempo real. Por el desplazamiento axial se colocan tantas redes de Bragg en la distancia o el "hueco" entre dos redes de Bragg de un primer guíaondas de luz que se cubren los valores de medición que faltan aquí por el al menos un guíaondas de luz adicional paralelo. En función de las distancias entre redes de Bragg adyacentes de un guíaondas de luz, de la longitud de una red de Bragg y de la resolución resultante deseada, son suficientes unos pocos guíaondas de luz paralelos para obtener una resolución comparable con una evaluación por ejemplo de la dispersión Raman.

En una forma de realización preferida se componen los diferentes guíaondas de luz con las redes de Bragg desplazadas en una unidad de evaluación con multiplexador para formar un perfil de temperatura continuo compuesto.

5 Ventajosamente los guíaondas de luz no están sometidos a tensión. De este modo se simplifica considerablemente la evaluación de las señales ópticas reflejadas, porque todos los cambios se basan sólo en cambios de temperatura.

10 Como por regla general los guíaondas de luz son sensibles a los cambios de temperatura y cambios de tensión, aunque en este caso sólo tienen que medirse las temperaturas, los guíaondas de luz no están sometidos a tensión. En el caso más sencillo esto se produce porque existe una holgura suficiente entre guíaondas de luz y tubo capilar. Cuando los tubos térmicos están colocados en perpendicular, como ocurre preferiblemente, el guíaondas de luz puede moverse libremente en el tubo capilar y se mantiene libre de tensiones a consecuencia de fuerzas mecánicas.

15 En el caso de guíaondas de luz con redes de Bragg además las redes de Bragg pueden fijarse como sensores separados con una distancia axial en el guíaondas de luz, por ejemplo mediante una conexión por empalme. Este tipo de conexión es una técnica de conexión habitual en los guíaondas de luz. En particular se fijan pequeños segmentos de guíaondas de luz con red de Bragg mediante fusión local a la fibra principal. De este modo se desacoplan las redes de Bragg entre sí. Las tensiones locales actúan sólo sobre la fibra principal del guíaondas de luz, que no aporta nada a la determinación de la temperatura. El desacoplamiento de tensión puede mejorarse adicionalmente rodeando las redes de Bragg en cada caso con un trozo de capilar de vidrio. Otra posibilidad para eliminar la tensión es reducir la fricción introduciendo el guíaondas de luz junto con una capa de tejido en el tubo capilar.

25 En un perfeccionamiento favorable de la invención la unidad de evaluación dispone de un dispositivo que elimina las señales externas del perfil de temperatura evaluado.

30 Las señales ópticas de un guíaondas de luz pueden verse afectadas durante el funcionamiento por sacudidas, que se producen de manera prevista o imprevista. Pueden ser por ejemplo las vibraciones de bombas de circulación para el medio portador de calor o de otras máquinas en las inmediaciones del reactor. La unidad de evaluación está configurada preferiblemente para filtrar estas señales interferentes.

35 En una forma de realización ventajosa de la invención, el reactor tubular incluye adicionalmente un tubo térmico de medio portador de calor, que carece de material de catalizador y que en sus extremos está cerrado para que no entre gas de reacción o gas de producto y en el que se adentra al menos un guíaondas de luz sensible a la temperatura, rodeado por un tubo capilar o un termómetro con otro principio de medición, que puede conectarse a la fuente de señales ópticas así como a la unidad de evaluación, estando unido el tubo capilar de manera termoconductoramente con la pared de tubo térmico del medio portador de calor.

40 Un tubo térmico de medio portador de calor permite la medición de la temperatura axial del medio portador de calor. Mediante el uso de varios de estos tubos térmicos de medio portador de calor en diferentes posiciones radiales en el haz de tubos se obtiene información sobre el gradiente de temperatura radial del medio portador de calor por la sección transversal del reactor.

45 Un contacto térmico con la pared de tubo térmico del medio portador de calor puede producirse de diferentes maneras. Una posibilidad es la disposición del tubo capilar sobre el eje de tubo y la introducción de material inerte termoconductor en el espacio anular entre la pared externa del tubo capilar y la pared interna del tubo térmico de medio portador de calor. Otra forma es la fijación del tubo capilar directamente a la pared interna del tubo térmico de medio portador de calor. El posicionamiento se garantiza en ambos casos mediante distanciadores adecuados.
50 Estos pueden incluir dado el caso también elementos de resorte, cuyos materiales sean preferiblemente estables a la temperatura.

55 La medición de temperatura por medio de guíaondas de luz puede combinarse con una medición de temperatura según el estado de la técnica como sistema de medición adicional o en parte redundante.

Para el control de la temperatura absoluta, por ejemplo adicionalmente al guíaondas de luz, en paralelo al lado de este puede estar dispuesto un elemento térmico gradual en el tubo térmico de medio portador de calor.

60 En un perfeccionamiento de la invención los tubos térmicos disponen en al menos uno de sus dos extremos de elevaciones, con las que pueden distinguirse rápidamente de los tubos de reacción circundantes. Estas elevaciones están compuestas preferiblemente por prolongaciones de los tubos térmicos, que entonces sobresalen en forma de cuello del fondo de tubo. Estas prolongaciones tienen preferiblemente los mismos diámetros internos y externos que los tubos térmicos y se sueldan preferiblemente al ras a los mismos. La altura de las elevaciones se sitúa en un intervalo entre 4 y 25 mm y preferiblemente entre 8 y 15 mm.

65 Los tubos térmicos para la medición de la temperatura del medio portador de calor están cerrados por ejemplo en

5 sus extremos inferiores. Como elemento de cierre preferiblemente se suelda un tapón de metal dotado de un agujero ciego en el tubo térmico. El tapón se perfora preferiblemente de tal modo que en la zona del agujero ciego queda un grosor de pared de tapón que corresponde al grosor de pared nominal del tubo térmico con una tolerancia de -20% a +60%. Mediante la pared del tapón delgada se facilita la soldabilidad y se evitan tensiones. La profundidad del agujero ciego se sitúa en un intervalo entre 4 y 10 mm, preferiblemente entre 5 - 8 mm. Un tapón de cierre de este tipo también puede utilizarse para el cierre de tubos de reacción defectuosos.

10 Un extremo de un tubo térmico dotado de un tapón de este tipo puede distinguirse fácilmente de los tubos de reacción circundantes. Por tanto, en este caso, puede prescindirse del uso de una elevación para una mejor distinción.

15 Las elevaciones también pueden estar realizadas de manera diferente a piezas de tubo, por ejemplo como nervios por fuera de la sección transversal del tubo térmico, que sin embargo indican de manera unívoca la posición del tubo térmico. Para ello, los nervios pueden tener por ejemplo forma de flecha o de triángulo, que preferiblemente sólo limitan en la sección transversal de los tubos térmicos correspondientes.

20 Las elevaciones también pueden estar realizadas como elevaciones negativas estampando por ejemplo marcas como flechas en el fondo de tubo. Sin embargo, tales elevaciones negativas pueden reconocerse peor que las elevaciones positivas mencionadas anteriormente.

25 Además, en una configuración adicional de la invención, las elevaciones de los tubos térmicos para la medición de la temperatura del catalizador pueden ser diferentes de las de los tubos térmicos para la medición de la temperatura del medio portador de calor, por ejemplo mediante muescas, perforaciones, protuberancias o elementos añadidos.

30 A continuación se explicará la invención mediante los dibujos a modo de ejemplo. Muestran:

la figura 1, en una representación esquemática, una sección vertical a través de una forma de realización de un reactor tubular según la invención, con una representación ampliada de un tubo térmico;

35 las figuras 2 a 4 diferentes formas de realización de partículas de catalizador, con las dimensiones externas decisivas en cada caso para las longitudes de borde de un paralelepípedo que delimita la respectiva partícula de catalizador;

la figura 5 una tabla con los resultados de una operación de tamizado en una torre de tamizado;

40 la figura 6 un diagrama, en el que se representan los resultados de la figura 5 como histograma y como curva de distribución de suma;

la figura 7a una sección longitudinal parcial a través de un tubo capilar para una forma de realización adicional de un reactor tubular según la invención, estando dispuestos en el tubo capilar tres guíaondas de luz con redes de Bragg;

la figura 7b una sección transversal a lo largo de la línea VIIb - VIIb en la figura 7a;

45 la figura 8 un diagrama con el perfil de temperatura de los puntos de medición de las figuras 7a y 7b;

la figura 9 una sección transversal a través de una primera forma de realización de un tubo térmico de medio portador de calor para un reactor tubular según la invención; y

50 la figura 10 una sección transversal a través de una segunda forma de realización de un tubo térmico de medio portador de calor para un reactor tubular según la invención.

55 El ejemplo de realización representado en la figura 1 de un reactor 1 tubular según la invención presenta al menos un tubo 2 térmico. El tubo 2 térmico está relleno de una carga 3 de catalizador, que está compuesta por partículas 4. Durante el funcionamiento alrededor del tubo 2 térmico fluye un medio 5 portador de calor fluido. En la carga 3 de catalizador se adentra un tubo 6 de protección, en cuyo espacio 7 interno discurre un guíaondas 9 de luz rodeado por un tubo 8 capilar.

60 El reactor 1 tubular representado en la figura 1 es un reactor de haz de tubos. Un haz de tubos de reacción (no representados) rellenos de catalizador que discurren verticalmente está dispuesto de manera circular o en forma de anillo circular alrededor del eje 10 longitudinal del reactor 1 de haz de tubo. Por motivos de visibilidad, en la figura 1 no se han representado los tubos de reacción, sino exclusivamente un tubo 2 térmico. Para poder representar los detalles en el espacio 7 interno del tubo 2 térmico de manera clara y unívoca, el tubo 2 térmico está representado con un diámetro sobredimensionado que no está a escala.

65 Todos los tubos de reacción y tubos 2 térmicos están fijados con sus extremos en un fondo 11, 12 de tubo superior o inferior de manera estanca. Una camisa 13 del reactor rodea el haz de tubos y también está unido de manera

estanca con los dos fondos 11, 12 de tubo. El fondo 11 de tubo superior se cubre por una campana 14 de reactor superior y el fondo 12 de tubo inferior por una campana 15 de reactor inferior. Cada tubo de reacción y cada tubo 2 térmico desemboca con sus extremos en la campana 14, 15 de reactor superior e inferior.

5 En el ejemplo de realización representado, el tubo 2 térmico presenta en su extremo superior una elevación 16, para poder distinguirlo mejor de los tubos de reacción. Además las elevaciones de los tubos 2 térmicos, con los que se mide la temperatura del catalizador, pueden estar configuradas de manera diferente que las elevaciones de los tubos 17 térmicos del medio portador de calor (figuras 9 y 10), para poder distinguirlos entre sí.

10 La mezcla 18 de gases de reacción se alimenta a cada tubo de reacción y cada tubo 2 térmico a través de una campana 14 de reactor, en el ejemplo de realización representado, la superior, y desde estos tubos se descarga de nuevo a través de la otra campana 15 de reactor, en el caso representado, la inferior, como mezcla 19 de gases de producto. Los tubos de reacción y los tubos 2 térmicos pueden contener además de material 3 de catalizador dado el caso también material 20 inerte para controlar la reacción. En la zona de extremo inferior del tubo 2 térmico y de cada tubo de reacción está fijado un denominado soporte 21 de catalizador, que lleva la carga 3, 20 de catalizador/inerte.

20 Los dos fondos 11, 12 de tubo y la camisa 13 del reactor delimitan un espacio 22 de medio portador de calor, al que a través de una alimentación 23 se alimenta un medio 5 portador de calor fluido y del que a través de una descarga 24 vuelve a descargarse el medio 5 portador de calor y en el que los tubos de reacción y los tubos 2 térmicos por sus caras 25 externas se rodean por el medio 5 portador de calor fluido.

25 El reactor 1 tubular representado presenta sólo un circuito de medio portador de calor. Sin embargo, en un reactor tubular según la invención el número de circuitos de medio portador de calor o zonas de medio portador de calor independientes no está limitado.

30 En el ejemplo de realización representado el tubo 6 de protección está dispuesto sobre el eje 26 de tubo del tubo 2 térmico y se extiende por toda la carga 3 de catalizador hasta el extremo aguas abajo de la carga 3 de catalizador. Mediante distanciadores 27 se centra en el medio del tubo 2 térmico. Los distanciadores 27 se extienden entre la pared interna del tubo 2 térmico y la pared externa del tubo 6 de protección y se disponen en la dirección longitudinal del tubo 2 térmico a distancias axiales H_1 adecuadas, preferiblemente a una distancia axial, que asciende de 10 a 30 veces el diámetro interno del tubo 2 térmico.

35 El tubo 6 de protección se extiende por la campana 14 de reactor superior. Esta presenta un empalme 28 de medición de temperatura, a través del cual el tubo 6 de protección sale de la campana 14 de reactor y al que se fija el extremo superior del tubo 6 de protección.

40 El tubo 6 de protección está dividido en dos. La unión de las dos partes 6a, 6b de tubo de protección se produce con bridas 29, que pueden ser cualquier unión separable, por ejemplo una unión de anillo afianzador o de anillo cortante. Para no interferir con los cambios de longitud del tubo 6 de protección a consecuencia de cambios de temperatura, la unión de las dos partes 6a, 6b de tubo de protección tiene movilidad axial.

45 El tubo 6 de protección presenta también un compensador 30, que puede asumir cambios de longitud del tubo 6 de protección.

La unión de las dos partes 6a, 6b de tubo de protección y del compensador 30 se dispone en ambos casos en el ejemplo de realización representado en la campana 14 de reactor superior.

50 El paso a través de la entrada y la salida de cables de señal, así como de los tubos 6 de protección o tubos 8 capilares circundantes a través de o desde la campana 14 de reactor puede producirse de manera similar a como se describe en el documento EP 2 075 058 B1 con prensaestopas, compensadores y similar.

55 En el tubo 6 de protección cuelga libremente un tubo 8 capilar, en el que se encuentra un guíaondas 9 de luz y que también puede moverse libremente. Así, ni el tubo 8 capilar ni el guíaondas 9 de luz están sometidos a tensión.

El guíaondas 9 de luz se extiende por toda la longitud del tubo 8 capilar y desemboca fuera del reactor 1 en un acoplamiento 31 de guíaondas de luz, que en el ejemplo de realización representado se fija mediante bridas en el empalme 28 de medición de temperatura.

60 Sin embargo, el acoplamiento 31 de guíaondas de luz también puede disponerse separado del reactor 1 al lado del mismo para evitar una transmisión de vibraciones del reactor al acoplamiento 31 de guíaondas de luz.

65 La transmisión de señales del dispositivo según la invención no está vinculada a un concepto determinado. Así las señales ópticas pueden evaluarse in situ con una unidad de evaluación integrada en el acoplamiento 31 de guíaondas de luz y dado el caso transmitirse a través de una línea 32 a un sistema 33 de control de procesos. Esto puede producirse por cable o mediante transmisión por radio. Las señales ópticas también pueden transportarse

bien con un mero guíaondas de luz de transporte a un dispositivo de evaluación alejado y evaluarse en el mismo. La medición de temperatura y evaluación se realiza preferiblemente de manera automática por un programa.

5 En la figura 1 se representa un fragmento del tubo 2 térmico a escala ampliada en dos variantes con partículas 4 de catalizador conformadas de manera diferente. El fragmento pertenece al segmento 34 de tubo térmico axial, en el que se espera la aparición de la temperatura de reacción máxima en el tubo 2 térmico, es decir, la aparición del punto caliente.

10 En la variante superior en la figura 1 las partículas 4 de catalizador son esféricas, como se representa en la figura 2. En la variante inferior las partículas 4 de catalizador tienen forma de cilindro hueco, como se representa en la figura 3. El guíaondas 9 de luz presenta una serie de puntos 35 de medición. La distancia a_M de los puntos 35 de medición adyacentes en la dirección axial del tubo 2 térmico en este segmento 34 de tubo térmico se determina en función del tamaño de las partículas 4 de catalizador en este segmento 34 de tubo térmico.

15 Las partículas 4 de catalizador pueden estar conformadas de manera diferente. En las figuras 2 a 4 se muestran a modo de ejemplo partículas 4 de catalizador conformadas de manera diferente. Preferiblemente una carga 3 de catalizador está compuesta por partículas 4 de catalizador conformadas igual.

20 Independientemente de la forma de las partículas 4 de catalizador el tamaño de la distancia a_M de los puntos 35 de medición adyacentes en el guíaondas 9 de luz se sitúa en el intervalo de 0,8 hasta 5 veces la longitud de borde más corta l_K de todos los paralelepípedos imaginarios, que con un volumen mínimo delimitan partículas 4, que cumplen con las condiciones establecidas:

Cuando se conocen las dimensiones externas nominales de la partícula 4 de catalizador, por ejemplo

25 - en el caso de partículas 4 esféricas (figura 2) el diámetro externo D_K ,
 - en el caso de partículas 4 cilíndricas o en forma de cilindro hueco (figura 3) el diámetro externo de cilindro (hueco) D_Z y la longitud de cilindro (hueco) L_Z y

30 - en el caso de las monturas de Berl (figura 4) la longitud L_B , la anchura B_B , la altura H_B (figura 4),

es decisiva la longitud de borde más corta l_K de todos los paralelepípedos imaginarios, que con un volumen mínimo en cada caso delimitan una partícula suponiendo que la partícula 4 presenta sus dimensiones externas nominales. Esto significa en los ejemplos mencionados anteriormente

35 - en el caso de partículas esféricas dicha longitud de borde más corta l_K es el diámetro externo nominal D_K de las partículas 4, siendo en el caso de partículas 4 con diferentes diámetros externos nominales D_K en la carga 3 de catalizador el diámetro externo nominal más pequeño D_K dicha longitud de borde más corta l_K ,

40 - en el caso de partículas en forma de cilindro (hueco) 4 dicha longitud de borde más corta l_K es la más pequeña de las dimensiones externas nominales diámetro D_Z o longitud de cilindro L_Z , siendo en el caso de cilindros (huecos) con diferentes dimensiones externas nominales en la carga 3 de catalizador la absolutamente más pequeña de las dimensiones externas nominales D_Z , L_Z dicha longitud de borde más corta l_K ,

45 - en el caso de monturas de Berl dicha longitud de borde más corta l_K es la más pequeña de las dimensiones externas nominales longitud L_B , anchura B_B , altura H_B , siendo también aquí en el caso de las monturas de Berl con diferentes dimensiones externas nominales en una carga 3 de catalizador la absolutamente más pequeña de las dimensiones externas nominales L_B , B_B , H_B dicha longitud de borde más corta l_K .

50 Cuando en una carga 3 de catalizador en el caso de dimensiones externas nominales conocidas están mezcladas partículas 4 de catalizador conformadas de manera diferente, dicha longitud de borde más corta l_K es la longitud de borde absolutamente más corta de todos los paralelepípedos imaginarios, que en cada caso delimitan una de las partículas 4 conformadas de manera diferente suponiendo que presenta sus dimensiones externas nominales.

55 En los ejemplos descritos anteriormente, con una carga 3 de catalizador mezclada a partir de al menos dos formas de las partículas 4 de catalizador representadas en las figuras 2 a 4, dicha longitud de borde más corta l_K es la absolutamente más pequeña de las dimensiones externas nominales D_K , D_Z , L_Z , L_B , B_B o H_B indicadas anteriormente.

60 En el ejemplo de realización representado en la figura 1 la distancia a_M de los puntos 35 de medición adyacentes asciende a 1 vez dicha longitud de borde más corta l_K .

65 Cuando no se conocen las dimensiones externas nominales de las partículas 4 de catalizador, la distancia a_M de los puntos de medición adyacentes asciende de 0,8 a 5 veces la longitud de borde más corta l_K de todos los paralelepípedos imaginarios, que con un volumen mínimo en cada caso delimitan aquellas partículas 4, que

5 pertenecen a un porcentaje de masa de como mínimo el 70% de la carga 3 de catalizador, al que pertenecen todas las partículas 4 con paralelepípedos imaginarios, en los que cada longitud de borde es más larga que la longitud de borde más corta l_k . Como ejemplo se supone una carga 3 de catalizador mezclada de manera ideal a partir de la que se extrae una muestra representativa. Esta muestra se clasifica en seco en una torre de tamizado con una
 10 tamizadora de laboratorio. La torre de tamizado está compuesta por una pluralidad de cribas de agujeros oblongos con tamaño de agujero oblongo entre 3,4 mm y 4,6 mm con una distancia de los tamaños de agujero oblongo de 0,05 mm. A este respecto el material de tamizado, la muestra, se echa a la criba de agujeros oblongos superior con el tamaño de agujero oblongo más grande. La longitud de borde más corta del paralelepípedo, que con un volumen mínimo delimita una partícula 4 de catalizador, es determinante para que la partícula 4 caiga a través de las ranuras o agujeros oblongos o permanezca sobre los mismos. En la figura 5 se representa el resultado del tamizado en forma de tabla y en la figura 6 gráficamente como histograma $q_3(x)$ y curva de distribución de suma $R(x)$.

15 Sobre la criba con un tamaño de agujero oblongo de 3,95 mm por ejemplo se ha retenido un porcentaje de masa $q_3(x)$ de 0,124. Este porcentaje de masa $q_3(x)$ también se denomina densidad de masa (*mass density*). Este residuo contiene todas las partículas 4 de catalizador cuya dimensión externa decisiva (longitud de borde más corta) es mayor que 3,95 mm y asciende como máximo a 4,00 mm (siguiente tamaño de agujero oblongo de tamiz más grande). Junto con todos los porcentajes de masa de las clases de tamiz más grandes se obtiene un porcentaje de masa sumado $R(x)$ o también una suma de masas (*mass sum*) de 0,703 de manera correspondiente 70,3%. Todas las demás partículas de catalizador tienen una dimensión externa decisiva, que es de 3,95 mm o menor, de modo
 20 que con esta distribución granulométrica la dimensión de 3,95 mm forma dicha longitud de borde más corta l_k para un porcentaje de masa del 70,3%. Así, la dimensión de 3,95 mm cumple con el criterio de un porcentaje de masa de como mínimo el 70% en el sentido de esta invención. De manera correspondiente la dimensión de 3,90 mm con un porcentaje de masa del 80,2% cumple con el criterio de un porcentaje de masa de como mínimo el 80%, la dimensión de 3,80 mm con un porcentaje de masa del 90,3% el criterio de un porcentaje de masa de como mínimo el 90% y la dimensión de 3,70 mm con un porcentaje de masa del 95,1% el criterio de un porcentaje de masa de como mínimo el 95%.

30 Cuando en cada caso se desean dimensiones externas decisivas (longitudes de borde más cortas) para sumas de masa que no pueden obtenerse directamente de la tabla en la figura 5, entonces se realiza una interpolación lineal entre los tamaños de agujero oblongo para la suma de masas situada por encima y por debajo.

35 Las figuras 7a y 7b muestran tres guíaondas 9 de luz o fibras ópticas F_1, F_2, F_3 , que están dotadas de redes 36 de Bragg y que en conjunto están dispuestas en un tubo 8 capilar. Las redes 36 de Bragg forman puntos 35 de medición, que en la figura 7a se designan individualmente como $T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32}$. La distancia entre las dos redes 36 de Bragg representadas para cada guíaondas 9 de luz es igual para los tres guíaondas 9 de luz. Sin embargo, los guíaondas 9 de luz están desplazados entre sí en la dirección axial, de modo que a la altura del espacio 37 intermedio entre dos redes 36 de Bragg de un guíaondas 9 de luz en cada caso se sitúa una red 36 de Bragg de los otros dos guíaondas 9 de luz. Es decir, entre dos puntos 35 de medición de un guíaondas 9 de luz se encuentran en cada caso dos puntos 35 de medición adicionales, concretamente en el ejemplo de realización representado en cada caso un punto 35 de medición de los otros dos guíaondas 9 de luz. Así, la distancia de puntos de medición resultante dentro del tubo 8 capilar asciende a sólo una tercera parte de la distancia de puntos de medición en cada guíaondas 9 de luz.

45 Los guíaondas 9 de luz pueden estar insertados en una capa de tejido (no representada) para no estar sometidos a tensión.

50 La figura 8 muestra un perfil de temperatura de los puntos de medición $T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32}$ de la figura 7a. El perfil de temperatura muestra un punto 39 caliente cerca del punto de medición T_{12} . La figura 8 muestra el perfil de temperatura formado por un multiplexador a partir de los puntos 35 de medición de los tres guíaondas 9 de luz de la figura 7a.

Las figuras 9 y 10 muestran en cada caso una sección transversal a través de un tubo 17 térmico de medio portador de calor.

55 En la forma de realización representada en la figura 9 el centrado del tubo 6 de protección se produce mediante un distanciador 27 de tres brazos. El tubo 17 térmico de medio portador de calor está relleno de un material 40 con una buena conducción del calor, por ejemplo con granos finos de aluminio.

60 En la forma de realización representada en la figura 10 el tubo 6 de protección se empuja mediante una construcción 41 de resorte contra la pared 42 interna del tubo 17 térmico de medio portador de calor. De este modo se minimiza el trayecto de conducción del calor de la pared 42 interna del tubo 2 térmico de medio portador de calor al guíaondas 9 de luz y así se acelera al máximo la conducción del calor al guíaondas 9 de luz. En el ejemplo de realización representado, el resorte 41 está compuesto por un resorte 44 en espiral enrollado alrededor de un hilo 43 guía con una parte 45 de resorte radialmente grande.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Reactor tubular para llevar a cabo reacciones en fase gaseosa catalizadas de manera heterogénea, con un tubo térmico, que contiene una carga de catalizador y en el que durante el funcionamiento, alrededor de su cara externa, fluye un medio fluido portador de calor, estando compuesta la carga de catalizador por partículas, y con
- 10 un guíaondas de luz sensible a la temperatura, que está rodeado por un tubo capilar, se adentra en la carga de catalizador del tubo térmico, presenta puntos de medición con una distancia predeterminada entre puntos de medición adyacentes en la dirección axial del tubo térmico y puede conectarse a una fuente de señales ópticas así como a una unidad de evaluación para señales ópticas reflejadas por el guíaondas de luz,
- caracterizado porque
- 15 el guíaondas (9) de luz presenta al menos en un segmento (34) de tubo térmico axial de longitud predeterminada, que incluye al menos una parte de la carga (3) de catalizador, puntos (35) de medición con una distancia (a_M) entre puntos (35) de medición adyacentes en la dirección axial del tubo (2) térmico, que asciende a de 0,8 a 5 veces la longitud de borde más corta (l_k) de todos los paralelepípedos imaginarios, que con un volumen mínimo
- 20 en los casos en los que a las partículas (4) de la carga (3) de catalizador están asociadas dimensiones externas nominales, en cada caso delimitan una partícula (4) suponiendo que la partícula (4) presenta su dimensión externa nominal, y en todos los demás casos en cada caso delimitan aquellas partículas (4) que pertenecen a un porcentaje de masa de como mínimo el 70% de la carga (3) de catalizador, al que pertenecen todas las partículas (4) con paralelepípedos imaginarios, en los que cada longitud de borde es más larga que la longitud de borde más corta (l_k).
- 25 2. Reactor tubular según la reivindicación 1, caracterizado porque en la carga (3) de catalizador del tubo (2) térmico está dispuesto un tubo (6) de protección y el guíaondas (9) de luz con tubo (8) capilar discurre en el tubo (6) de protección.
- 30 3. Reactor tubular según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque el porcentaje de masa asciende como mínimo al 80%, preferiblemente como mínimo al 90% y de manera especialmente preferible como mínimo al 95%.
- 35 4. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en el segmento (34) de tubo térmico axial de longitud predeterminada, la distancia (a_M) de los puntos (35) de medición adyacentes en la dirección axial del tubo (2) térmico asciende de 1 a 3 veces y preferiblemente de 1 a 2 veces dicha longitud de borde más corta (l_k).
- 40 5. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en el segmento (34) de tubo térmico axial de longitud predeterminada, la distancia (a_M) de los puntos (35) de medición adyacentes en la dirección axial del tubo (2) térmico asciende a al menos 0,5 mm.
- 45 6. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque incluye adicionalmente al menos un tubo de reacción lleno de catalizador.
7. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el guíaondas (9) de luz, el tubo (8) capilar y el tubo (6) de protección son resistentes a la temperatura hasta 1000°C, preferiblemente resistentes a la temperatura hasta 800°C y de manera especialmente preferible hasta 700°C.
- 50 8. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la unidad (31) de evaluación está configurada para evaluar las señales ópticas formadas mediante dispersión Raman y/o mediante dispersión de Rayleigh y/o mediante dispersión Brillouin.
- 55 9. Reactor tubular según las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la unidad (31) de evaluación está configurada para evaluar las señales ópticas formadas mediante dispersión en redes de Bragg.
- 60 10. Reactor tubular según la reivindicación 9, caracterizado porque en el tubo (6) de protección se encuentran al menos dos guíaondas (9) de luz con en cada caso una fila axial de redes (36) de Bragg, estando desplazadas axialmente entre sí las redes (36) de Bragg de las filas, y en al menos un segmento (34) de tubo térmico axial de longitud predeterminada, los puntos (35) de medición formados por las redes (36) de Bragg desplazados entre sí presentan dicha distancia (a_M) de los puntos (35) de medición adyacentes, y porque la unidad (31) de evaluación dispone de un dispositivo que compone las señales ópticas reflejadas por al menos dos de los guíaondas (9) de luz para obtener una sola fila continua de valores de medición de temperatura.
- 65 11. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los guíaondas (9) de luz no están sometidos a tensión.
12. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la unidad (33) de evaluación

dispone de un dispositivo que elimina las señales externas del perfil de temperatura evaluado.

- 5 13. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque adicionalmente incluye un tubo térmico de medio portador de calor (17), que carece de material de catalizador y que en sus extremos está cerrado para que no entre gas (18) de reacción o gas (19) de producto y en el que se adentra al menos un guíaondas (9) de luz sensible a la temperatura, rodeado por un tubo (8) capilar o un termómetro con otro principio de medición, que puede conectarse a la fuente de señales ópticas así como a la unidad (31) de evaluación, estando unido el tubo (8) capilar de manera termoconductora con la pared (42) de tubo térmico del medio portador de calor.
- 10 14. Reactor tubular según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los tubos (2) térmicos tienen en al menos uno de sus dos extremos una elevación (16).
- 15 15. Reactor tubular según la reivindicación 14, caracterizado porque las elevaciones (16) de los tubos (2) térmicos para la medición de la temperatura del catalizador son diferentes de las de los tubos (17) térmicos para la medición de la temperatura del medio portador de calor.

Fig. 1

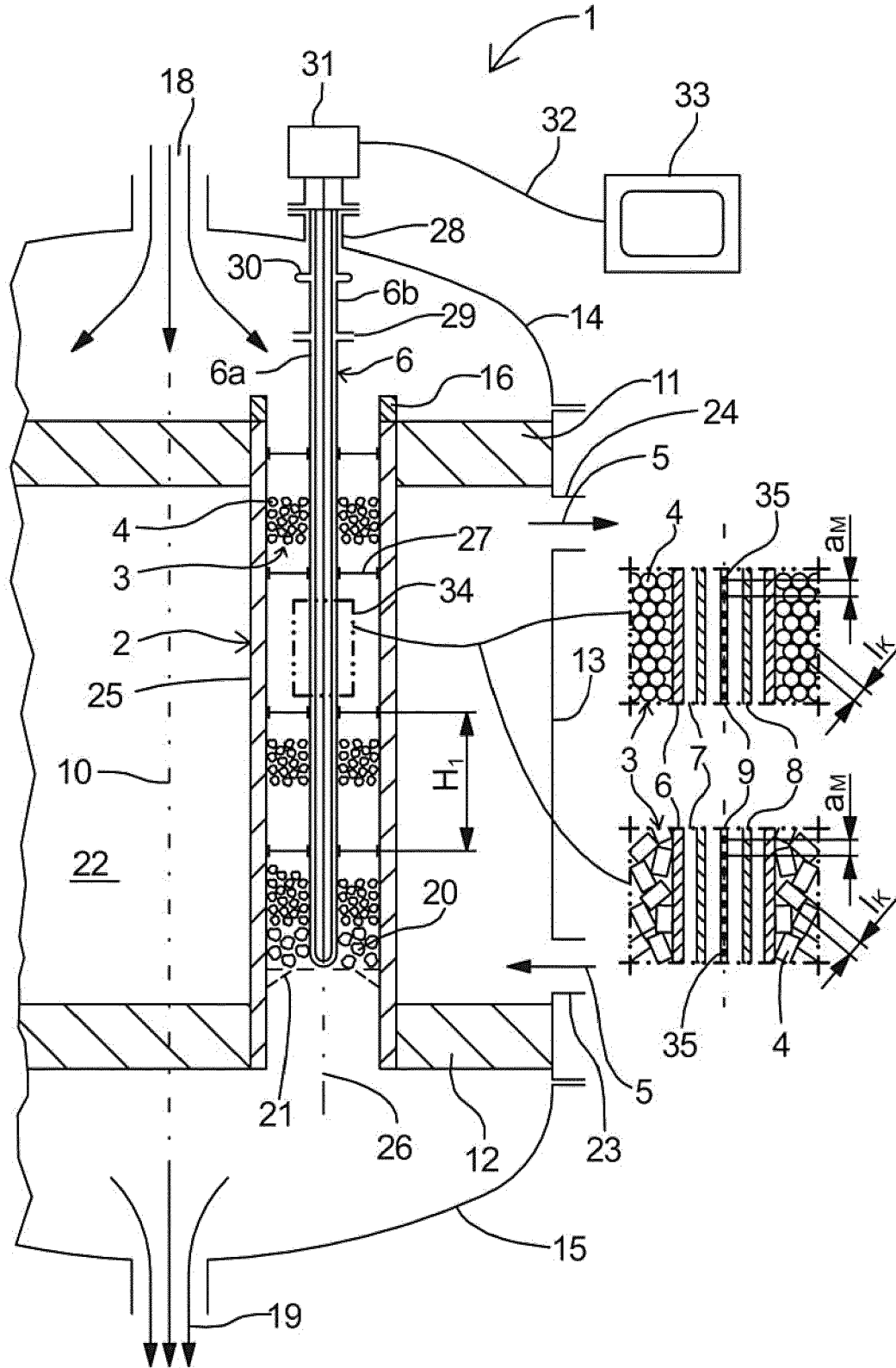


Fig. 2

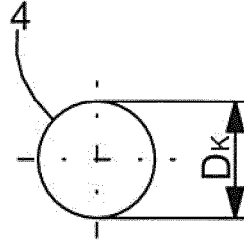


Fig. 3

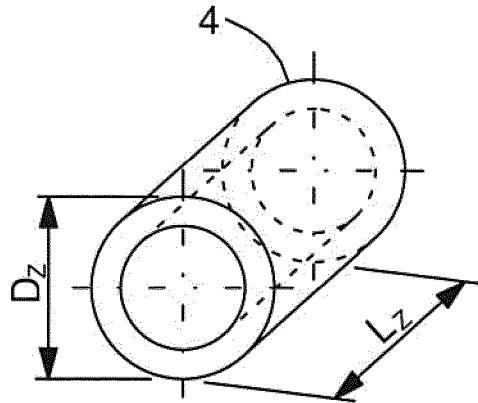


Fig. 4

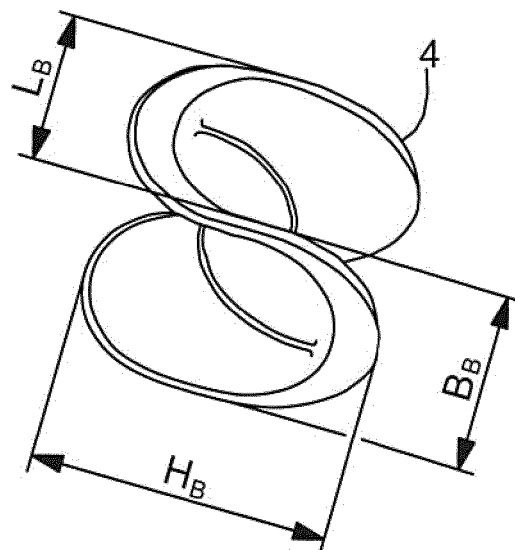


Fig. 5

Δx	residuo	densidad de masa $q_3(x)$	suma de masas $R(x)$
[mm]	[g]	[-]	[-]
3.40	0.000	0.000	1.000
3.45	0.000	0.000	1.000
3.50	0.582	0.005	1.000
3.55	1.284	0.012	0.995
3.60	1.561	0.014	0.983
3.65	1.848	0.017	0.968
3.70	2.252	0.021	0.951
3.75	3.013	0.028	0.931
3.80	3.967	0.037	0.903
3.85	6.943	0.064	0.866
3.90	10.783	0.099	0.802
3.95	13.451	0.124	0.703
4.00	16.107	0.149	0.579
4.05	15.678	0.145	0.430
4.10	9.237	0.085	0.285
4.15	5.152	0.048	0.200
4.20	4.030	0.037	0.153
4.25	3.849	0.036	0.116
4.30	2.646	0.024	0.080
4.35	3.000	0.028	0.056
4.40	1.117	0.010	0.028
4.45	0.758	0.007	0.018
4.50	0.359	0.003	0.011
4.55	0.392	0.004	0.007
4.60	0.413	0.004	0.004
4.65	0.000	0.000	0.000
4.70	0.000	0.000	0.000
suma	108.422		

Fig. 6

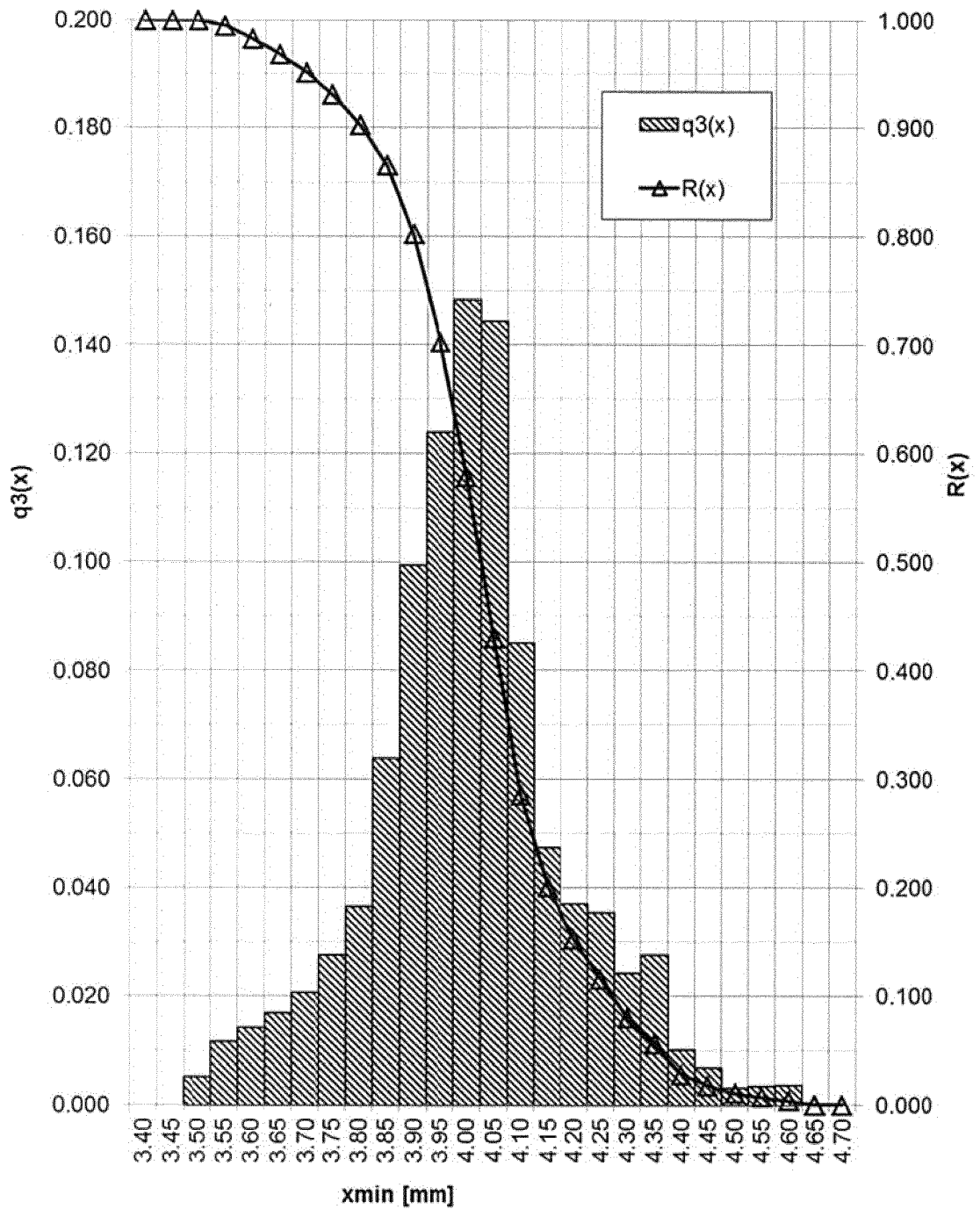


Fig. 7a

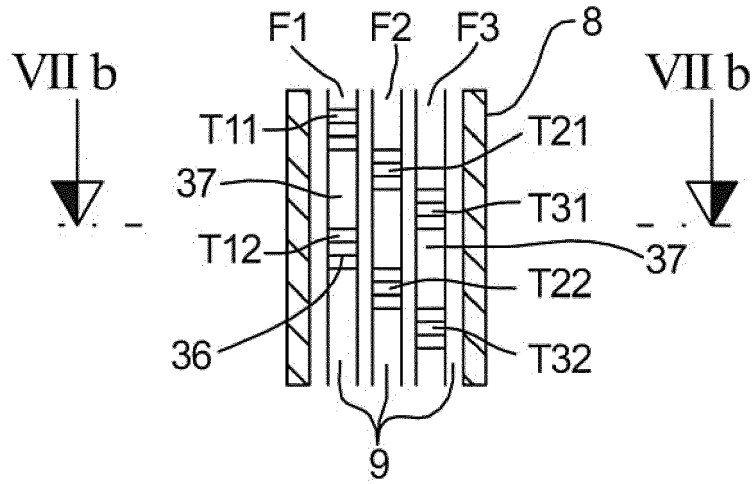


Fig. 7b

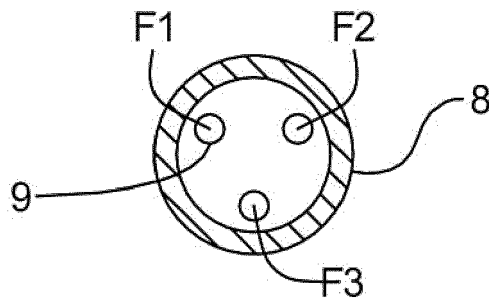


Fig. 8

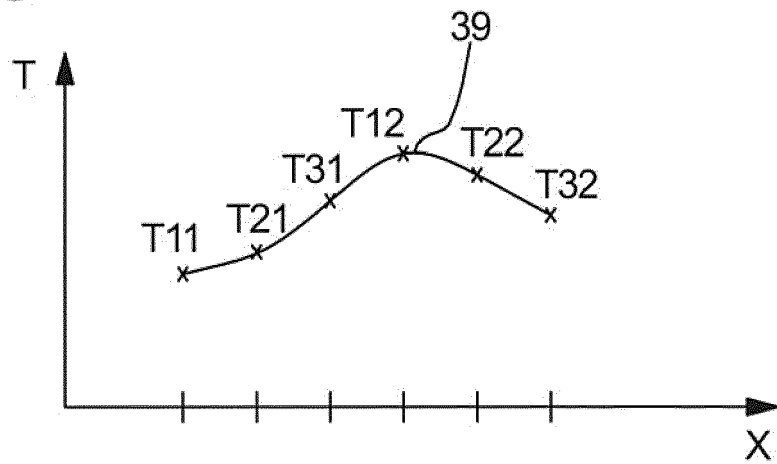


Fig. 9

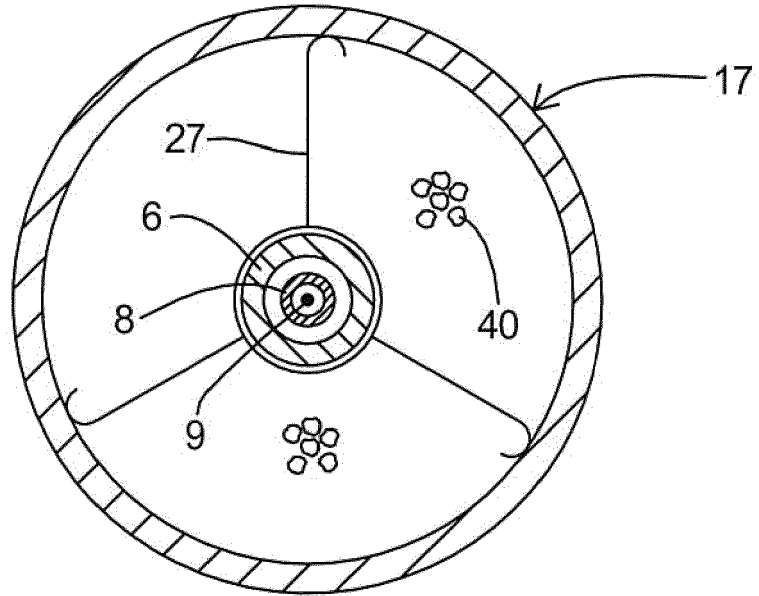


Fig. 10

