

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 404 087**

51 Int. Cl.:

G01B 13/06 (2006.01)

C02F 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2009** **E 09799189 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2013** **EP 2361367**

54 Título: **Determinación de grosor de biopelícula en un reactor de biopelícula soportada en membrana**

30 Prioridad:

27.11.2008 EP 08105882

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.05.2013

73 Titular/es:

**UNIVERSITY COLLEGE DUBLIN NATIONAL
UNIVERSITY OF IRELAND, DUBLIN (100.0%)
Belfield
Dublin 4, IE**

72 Inventor/es:

**CASEY, EOIN;
SYRON, EOIN y
HEFFERNAN, BARRY**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 404 087 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

Determinación de grosor de biopelícula en un reactor de biopelícula soportada en membrana.

Introducción

La invención está relacionada con un método para evaluar el grosor de biopelículas en un reactor de biopelículas soportadas en membrana. La invención también está relacionada con un reactor de biopelículas soportadas en membrana.

El principio de funcionamiento de un reactor convencional de biopelículas soportadas en membrana se muestra en la Figura 1 (comparativa). Unas aguas residuales líquidas que contienen contaminantes orgánicos están en contacto con una biopelícula (2), que está soportada por una membrana (3) permeable a gases. El paso interno (4) de la membrana contiene aire, gas de oxígeno puro, hidrógeno u otro gas que sirva y un donante o aceptador de electrones cuando se utiliza para oxidar o reducir determinados contaminantes. El oxígeno u otros gases pueden penetrar a través de la membrana por un proceso de difusión molecular. La membrana proporciona una superficie de soporte para la biopelícula y permite al oxígeno u otros gases ser suministrados a la biopelícula sin formación de burbujas. El reactor puede consistir en una serie de membranas tubulares (a veces se conocen como una unidad de fibra hueca). El número de fibras puede ajustarse para proporcionar un área superficial deseada para el crecimiento de biopelículas.

El grosor de la biopelícula variará con el tiempo, pero se desea que esté entre 200 y 800 micrómetros. Es necesario garantizar que el grosor de la biopelícula no supere el grosor deseado con el fin de evitar el bloqueo del reactor hueco de fibra. Con el fin de cuantificar el grosor de la biopelícula y medir el efecto del grosor de la biopelícula sobre las prestaciones del biorreactor, el solicitante ha descrito anteriormente un reactor de fibra hueca de un solo tubo, mostrado en la Figura 2 (comparativa), que muestra la biopelícula (6) en contacto con las aguas residuales (5). En esta configuración es posible medir el grosor de la biopelícula mediante un simple método óptico a través de la unidad de membrana de paredes de cristal (Casey, E., B. Glennon, and G. Hamer, Oxygen mass transfer characteristics in a membrane-supported biofilm reactor. Biotecnología y bioingeniería, 1999. 62 (2): p. 183-192). Sin embargo, este método sólo es adecuado para un sistema de escala de laboratorio y no es adecuado para una realización comercial del reactor. Dado que el grosor de la biopelícula puede superar el grosor deseado es importante poder determinar el grosor y en un tiempo deseado.

Un objetivo de la invención es superar por lo menos uno de los mencionados problemas.

Declaraciones de la invención

En términos generales, la invención está relacionada con un método para la medición del grosor de una capa de biopelícula formada sobre una membrana de un reactor de biopelícula soportado en membrana (MSBR, membrane supported biofilm reactor). Estos son reactores para el tratamiento de aguas residuales líquidas para eliminar contaminantes carbonosos, nitrificar/desnitrificar los contaminantes y/o realizar biotratamiento xenobiótico de los constituyentes de las aguas residuales, y por lo general emplean una membrana permeable a aire/oxígeno/hidrógeno que proporciona una interfaz entre el fluido que se va a tratar (fase líquida) y un suministro de aire/oxígeno/hidrógeno (fase gaseosa). Típicamente, una biopelícula que consiste en una población heterogénea de bacterias (por lo general incluye bacterias nitrificantes, desnitrificantes y heterótrofas) crece sobre el lado de fase líquida de la biopelícula. En el uso, un elemento gaseoso aceptador o donante de electrones, por lo general un gas que contiene oxígeno tal como aire, oxígeno o hidrógeno, es cargado en la fase gaseosa con lo que parte del aire/oxígeno/hidrógeno se difunde a través de la membrana permeable a la biopelícula en la que es empleado por las bacterias en uno o más de los procesos mencionados anteriormente. Los gases residuales de la biopelícula (es decir CO₂) pasan de nuevo al fluido y pasan a la fase gaseosa a través de la membrana. La invención está relacionada con un método para la medición de grosor de biopelículas que emplea a la velocidad de cambio de presión intramembrana como variable de diagnóstico del grosor de las biopelículas. El método generalmente implica cerrar la fase gaseosa (de tal manera que el aire/oxígeno/hidrógeno ya no está en flujo a través de la fase gaseosa) y establecer una presión elevada en la fase gaseosa cerrada (presión superior a la atmosférica). Típicamente, la fase gaseosa será cargada con un gas inerte tal como el argón antes de cerrar la fase gaseosa. Unos medios de medición sensibles a la presión toman entonces una medición de la velocidad de cambio de la presión intramembrana (dP/dt) en estas condiciones, y luego esto se pone en correlación con el grosor de la biopelícula.

Según la invención, se proporciona un método según la reivindicación 1 para evaluar el grosor de biopelículas en un reactor de biopelícula soportada en membrana (MSBR) del tipo que comprende un paso interno que contiene una fase gaseosa, una fase líquida y una membrana permeable a gases que proporciona una interfaz entre la fase gaseosa y la líquida, el método comprende las etapas de:

- cargar opcionalmente el paso interno con un gas inerte;
- establecer una presión inicial elevada en el paso interno;

- medir la velocidad del cambio de presión (dP/dt) dentro del paso interno; y
- poner en correlación la velocidad del cambio de presión (dP/dt) con el grosor de la biopelícula.

Típicamente, la etapa de establecer una presión inicial elevada en el paso interno implica una etapa inicial de cierre del paso interno.

5 En una realización de la invención, la etapa de poner en correlación dP/dt con el grosor de la biopelícula implica:

- poner en correlación dP/dt con la velocidad de difusión del gas inerte (dn/dt);
- poner en correlación dn/dt con un coeficiente de transferencia de masa global (K);
- poner en correlación K con el coeficiente de transferencia de masa de la biopelícula (kB); y
- poner en correlación kB con el grosor de la biopelícula.

10 El método de la invención puede aplicarse a cualquier tipo de reactor de biopelículas conectadas a membrana, incluidos un reactor de biopelículas de membrana basadas en hidrógeno (en donde el elemento gaseoso comprende hidrógeno) o un biofiltro de membrana. Este método es especialmente adecuado para los MSBR de fibra hueca en los que la fase gaseosa se encuentra contenida en fibras huecas que tienen un paso interno a través de las que pasa el elemento gaseoso aceptador de electrones, por lo general a presión elevada.

15 La velocidad de cambio de la presión dentro del paso interno se mide utilizando un transductor de presión, especialmente un transductor de presión capaz de medir la presión en un intervalo de 0 a 10 bar, de 0 a 5 bar, 0 a 2 bar e idealmente de 0 a 1 bar, manométricos. En una realización preferida de la invención, el transductor de presión es capaz de medir la presión en el intervalo 0,1 a 2,0 bar, idealmente de 0,1 a 1,0 bar. Ejemplos de transductores de presión adecuadamente sensibles incluyen sensores de flexión mecánica, sensores basados en galgas extensiométricas o sensores de capacitancia variable, los expertos en la técnica conocerán los detalles de los mismos.

En una realización en la que la fase gaseosa se carga con gas inerte, el gas inerte se selecciona preferiblemente del grupo que comprende: argón, helio, neón, criptón, xenón y radón.

25 En una realización preferida de la invención, la fase gaseosa comprende un gas que contiene oxígeno. Idealmente el gas que contiene oxígeno es oxígeno o aire.

Típicamente, la presión inicial elevada en el paso interno es de por lo menos 0,01 bar, adecuadamente de 0,01 a 10 bar, típicamente de 0,05 a 5 bar, y preferiblemente de 0,1 a 1,0 bar. Idealmente, la presión inicial elevada en el paso interno es de por lo menos 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07, 0,08, 0,09 o 0,1 bar. Adecuadamente, la presión inicial elevada en el paso interno no es mayor de 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 bar. El término "presión inicial elevada" debe interpretarse como la lectura inicial de presión utilizada en el cálculo de dP/dt .

30 La invención también está relacionada con un método de funcionamiento de un reactor de biopelículas soportadas en membrana que comprende la etapa de evaluar periódicamente el grosor de las biopelículas en el reactor usando un método de la invención y, opcionalmente, iniciar un procedimiento de limpieza para eliminar el exceso de biopelícula cuando se determina que el grosor de la biopelícula es superior a un valor umbral de grosor.

35 El término "valor umbral de grosor" para la biopelícula se entenderá como el grosor de la biopelícula que resulta en que la biopelícula funcione de manera no óptima. En la mayoría de los casos esto se entenderá generalmente como la profundidad de penetración del oxígeno en la membrana sobre la que está creciendo la biopelícula. No obstante, en el caso de ciertas membranas no uniformes o no estándar, tal como por ejemplo membranas anióxicas, el valor umbral de grosor para la membrana será un valor mayor que la profundidad de penetración del oxígeno en esa membrana.

Típicamente, el grosor de la biopelícula se evalúa en un intervalo de por lo menos: 1 hora, 2 horas, 3 horas, 5 horas, 7 horas, 10 horas, 12 horas, 15 horas, 20 horas, 24 horas, 30 horas, 40 horas y 48 horas. Idealmente, el grosor de la biopelícula se evalúa por lo menos cada doce horas.

45 Típicamente, el procedimiento de limpieza es un procedimiento de limpieza de flujo en dos fases. Sin embargo, también se prevén otros métodos para limpiar las biopelículas de las membranas de reactores de biopelículas, incluido el drenaje parcial y lavado eléctrico.

En una realización de la invención, la etapa de evaluación del grosor de la biopelícula no dura más de 10 minutos, típicamente no más de 7 minutos e idealmente no más de 5 minutos.

En una realización, los métodos de la invención emplean unos medios de procesamiento adaptados para:

- 50 - recibir lecturas de presión desde el transductor de presión;

- calcular el valor de dP/dt ; y
- poner en correlación el valor de dP/dt con el valor de grosor de una biopelícula.

Adecuadamente, los medios de procesamiento están adaptados para:

- comparar el valor de grosor de la biopelícula con un valor umbral de grosor preestablecido; y
- 5 - cuando el valor de grosor de la biopelícula es mayor que el valor umbral de grosor preestablecido, proporcionar una indicación de que se necesita un procedimiento de limpieza.

Preferiblemente, los medios de procesamiento están adaptados para la activación de un procedimiento de limpieza cuando el valor del grosor de la biopelícula se encuentra por encima del valor umbral de grosor preestablecido.

10 En general, los medios de procesamiento son capaces de almacenar varios diferentes valores umbral de grosor preestablecido, que se ponen en correlación con valores umbral para diferentes tipos de biopelículas, distintos tipos de reactores y diferentes tipos de efluentes tratados. Al inicio de una operación de tratamiento de aguas residuales, un operario puede elegir uno de los valores umbral preestablecidos que se aproxime lo máximo posible al tipo de reactor o las condiciones de funcionamiento, o puede calcular el valor umbral.

15 Según la reivindicación 12 también se proporciona un programa informático que comprende instrucciones de programa para hacer que un programa informático lleve a cabo cualquiera de los métodos anteriores que pueden ser incluidos en un medio de grabación, señal portadora o memoria de sólo lectura.

20 Según la reivindicación 8 la invención también está relacionada con un reactor de biopelículas soportadas en membrana (MSBR) del tipo que comprende una membrana permeable a gases que proporciona una interfaz entre un paso interno de fase gaseosa que contiene una fase gaseosa, y una fase líquida, caracterizado porque el MSBR comprende unos medios para inundar el paso interno con un gas inerte, unos medios para cerrar y volver a abrir el paso interno, y unos medios para detectar la presión intramembrana dentro del paso interno.

25 En una realización, los medios para detectar la presión intramembrana se proporcionan mediante un transductor de presión, típicamente un transductor de presión capaz de medir presiones en un intervalo de 0 a 10 bar, 0 a 5 bar, 0 a 2 bar e idealmente de 0 a 1 bar, manométricos. En una realización preferida de la invención, el transductor de presión es capaz de medir la presión en el intervalo 0,1 a 2,0 bar, idealmente de 0,1 a 1,0 bar.

En una realización, la membrana permeable a gases es en forma de una fibra hueca en la que la fase gaseosa se encuentra situada en el paso interno de la fibra.

Típicamente, la fibra hueca pasa a través de un envase adecuado para contener la fase líquida, y en donde el transductor se comunica con una parte de la fibra hueca que está situada en el exterior del envase.

30 Adecuadamente, el MSBR comprende un procesador adaptado para:

- recibir lecturas de presión desde los medios de medición de presión, típicamente el transductor de presión;
- calcular el valor de dP/dt ; y
- poner en correlación el valor de dP/dt con el valor de grosor de una biopelícula.

Preferiblemente, el procesador está adaptado para:

- 35 - comparar el valor de grosor de la biopelícula con un valor umbral de grosor preestablecido; y
- cuando el valor de grosor de la biopelícula es mayor que el valor umbral de grosor preestablecido, proporcionar una indicación de que se necesita un procedimiento de limpieza.

Idealmente, el procesador está adaptado para:

- 40 - activar un procedimiento de limpieza cuando el valor de grosor de la biopelícula se encuentra por encima del valor umbral de grosor preestablecido.

En una realización, el MSBR comprende un aparato de limpieza de membrana, tal como, por ejemplo, aparatos de limpieza de dos fases. En una realización, el aparato de limpieza de membrana está conectado funcionalmente al procesador de tal manera que el dispositivo de limpieza se activa cuando el procesador detecta que el valor de grosor de la biopelícula está por encima del valor umbral de grosor preestablecido.

45 La invención también proporciona un programa informático que comprende unas instrucciones de programa para hacer que un ordenador realice cualquiera de los métodos de la invención. El programa informático puede incorporarse en un medio de grabación tal como una señal portadora o una memoria de sólo lectura.

La invención también proporciona según la reivindicación 13, un sistema implementado en ordenador para evaluar el grosor de biopelículas en un reactor de biopelícula soportada en membrana (MSBR) del tipo que comprende un paso interno que contiene una fase gaseosa, una fase líquida y una membrana permeable a gases que proporciona una interfaz entre la fase gaseosa y la líquida, el sistema comprende:

- 5 - unos medios para cargar el paso interno con un gas inerte;
- unos medios para cerrar el paso interno para establecer una presión elevada inicial en el paso interno;
- unos medios para medir la velocidad del cambio de presión dentro del paso interno; y
- unos medios para poner en correlación la velocidad del cambio de presión (dP/dt) con el grosor de la biopelícula.

10 Adecuadamente, el sistema comprende:

- unos medios para poner en correlación dP/dt con la velocidad de difusión del gas inerte (dn/dt);
- unos medios para poner en correlación dn/dt con un coeficiente de transferencia de masa global (K);
- unos medios para poner en correlación K con el coeficiente de transferencia de masa de la biopelícula (k_B);
y
- 15 - unos medios para poner en correlación k_B con el grosor de la biopelícula.

En una realización, el sistema también incluye unos medios para accionar un procedimiento de limpieza de biopelículas cuando el grosor medido de la biopelícula es superior a un valor umbral de biopelícula.

De este modo, la invención está relacionada con un método para evaluar el grosor de una biopelícula formada en la membrana de un reactor de biopelículas soportadas en membrana, dicho método emplea la velocidad de cambio de presión intramembrana como variable de diagnóstico del grosor de la biopelícula.

La invención también está relacionada con un método para evaluar el grosor de la biopelícula formada en la membrana de un reactor de biopelículas soportadas en membrana, dicho método emplea la velocidad de cambio de presión intramembrana como una variable de diagnóstico de grosor de la biopelícula, en donde la velocidad de cambio de la presión se mide mientras un paso interno de la membrana se inunda con un gas inerte.

25 La invención también está relacionada con la utilización del cambio de presión intramembrana como medio para determinar el grosor de una biopelícula formada en la membrana de un reactor de biopelículas soportadas en membrana.

Breve descripción de las figuras

30 La invención se entenderá con más claridad a partir de la siguiente descripción de una realización de la misma, dada a modo de ejemplo, en la que

La Figura 1 (comparativa) es una ilustración esquemática de la membrana de un reactor de biopelículas soportadas en membrana (RMID) que proporciona una interfaz entre el paso interno de la fase gaseosa y la fase líquida, que muestra el flujo de componentes a través de la membrana y la biopelícula;

35 La Fig. 2 (comparativa) es una fotografía de una fibra hueca que forma parte de un MSBR de fibra hueca y que muestra el paso interno de la fase gaseosa, la fase líquida, la membrana y el crecimiento de biopelícula en la membrana; y

La Fig. 3 es una ilustración de un reactor de biopelículas soportadas en membrana de la invención.

Descripción detallada de la invención

40 La invención está relacionada con reactores de biopelículas soportadas en membrana, y más en particular con reactores de biopelículas con autolimpieza y un método de funcionamiento y/o limpieza de tales reactores. La invención se basa en el uso de presión intramembrana como medio para determinar el grosor de las biopelículas. De este modo, en un ejemplo de un método de la invención, el método comprende las etapas inundar la membrana con un gas inerte, tomar un valor de dP/dt dentro de la membrana, y poner en correlación del valor de dP/dt con el grosor de la biopelícula. Adecuadamente, el método también implica poner en correlación el grosor de biopelícula obtenido
45 de este modo con un valor umbral de grosor de biopelícula, y cuando el valor de prueba supera el valor umbral (referencia), proporcionar una indicación de que será necesario realizar una operación de limpieza y/o iniciar una operación de limpieza. En la bibliografía se conocen diversos medios para la limpieza de membranas de los MSBR, y la invención no se limita a ningún método en particular.

La invención también está relacionada con un reactor de biopelículas, y especialmente un MSBR, que está adaptado para permitir la carga del paso interno de la membrana con un gas inerte a una presión elevada, y comprende unos medios de medición de presión capaces de medir cambios de presión intramembrana, y un procesador adaptado para poner en correlación los cambios de presión intramembrana con el grosor de biopelículas. Adecuadamente, el reactor incluye unos medios para cerrar el paso interno, generalmente después de que ha sido cargado con gas inerte. Por ejemplo, el reactor puede estar provisto de unas válvulas que se pueden accionar para cerrar cada extremo del paso interno. El procesador idealmente es capaz de procesar los datos de los medios de medición de presión para proporcionar un valor de dP/dt . Adecuadamente, el procesador es capaz de poner en correlación el valor de dP/dt con un grosor de biopelícula. En general, el procesador es capaz de comparar el valor de grosor de biopelícula con un valor umbral de grosor de biopelícula preestablecido y, cuando el valor de prueba sobrepasa el valor umbral, (a) proporcionar una indicación de que es necesario realizar una operación de limpieza y/o (b) iniciar una operación de limpieza adecuada. En una realización, la operación de limpieza puede elegirse de entre una serie de diferentes operaciones de limpieza, de por ejemplo, operaciones de limpieza suaves a operaciones de limpieza extensas. Adecuadamente, el procesador es capaz de seleccionar una adecuada operación de limpieza dependiendo del valor de grosor de prueba y el valor de referencia de grosor. De este modo, por ejemplo, si la función del valor de prueba y de referencia es una relación (prueba: referencia), el procesador puede estar adaptado entonces para poner en correlación valores más altos de relación con operaciones de limpieza más prolongadas o más extensas.

Determinación de grosor de biopelícula a través de una técnica de presión de gas inerte

Se desarrolló una técnica sensible a un proceso para permitir una rápida determinación del grosor de una biopelícula en cualquier momento que se desee en un reactor de biopelículas de membrana de funcionamiento continuo. Se hace referencia a la FIG 3, que muestra una unidad de membrana (11) insertada en un depósito (10) que contiene unas aguas residuales líquidas (12).

Se suministra gas que contiene oxígeno al paso interno de la membrana con excepción de un período ocasional, típicamente de unos pocos minutos en un ciclo de 24 horas, cuando tiene lugar el procedimiento de detección de grosor. Mediante el uso de una válvula automática de tres vías, el gas en el paso interno de la membrana es sustituido por el gas inerte, por ejemplo, argón, a una presión elevada (típicamente entre 0,1 bar y 1 bar). Cuando el paso interno contiene sólo el gas inerte, las válvulas 8 y 13 están cerradas simultáneamente. El gas inerte es transportado por difusión molecular a través de la membrana, a la biopelícula y a la fase líquida. La presión intramembrana es monitorizada por un transductor de presión (9). Utilizando la ley del gas ideal, puede determinarse la velocidad de difusión del gas inerte (dn/dt) en moles/s mediante el análisis de las lecturas de presión dependiente del tiempo (dP/dt).

$$\frac{dP}{dt} = \frac{dn}{dt} \left(\frac{RT}{V} \right)$$

donde P es la presión, T es la temperatura (K), V es el volumen total fijo del paso interno de la membrana, que se puede suponer constante y R es la constante del gas.

La velocidad de difusión (dn/dt) del gas inerte desde el paso interno de la membrana al líquido a granel es directamente proporcional a un coeficiente de transferencia de masa global, K.

$$\frac{dn}{dt} = AK(C_i^* - C_i)$$

donde A es el área total de la membrana, C_i^* es la solubilidad del gas inerte en el líquido a la temperatura predominante y C_i es la concentración del gas inerte en el líquido a granel. Este coeficiente de transferencia de masa global (K) está, a su vez, relacionado con tres coeficientes principales de transferencia de masa correspondientes a la membrana (k_M), la capa límite del líquido (k_L) y la biopelícula (k_B).

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k_M} + \frac{1}{k_L} + \frac{1}{k_B}$$

Tanto k_M como k_L pueden suponerse constantes y pueden determinarse fácilmente antes de la puesta en marcha del reactor cuando la biopelícula no está presente.

En condiciones normales de funcionamiento la resistencia a la transferencia de masa de la biopelícula es variable y depende linealmente del grosor promedio de la biopelícula.

$$k_B = \frac{D_{i,B}}{L_B}$$

donde $D_{i,B}$ es el coeficiente de difusión del gas inerte en la biopelícula (y se puede suponer razonablemente que es constante) y L_B es el grosor de biopelícula.

5 Como compendio, las mediciones de presión dinámica pueden utilizarse para estimar el grosor de la biopelícula. Un ejemplo de este cálculo es de la siguiente manera:

Ejemplo:

10 En un MSBR de un solo tubo, con una biopelícula plenamente desarrollada de *Pseudomonas fluorescens*, el paso interno de la membrana se llenó de argón a una presión de 0,1 bar. Bajo condiciones de sellado se midió la velocidad de cambio de presión y se encontró que era de 16,63 Pa/s. Según la siguiente ecuación se puede calcular dn/dt

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dP}{dt} \left(\frac{RT}{V} \right)^{-1}$$

con $V=9.41 \times 10^{-7} \text{ m}^3$, dn/dt es $6.22 \times 10^{-9} \text{ mol/s}$

K se puede calcular de la siguiente manera

$$K = \frac{\frac{dn}{dt}}{A(C_i^* - C_i)}$$

15 A es $0,0028 \text{ m}^2$, C_i^* es 1.55 mol/m^3 y se puede suponer que C_i es cero, dando un valor de $1,42 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ para K.

Para este reactor se encontró que k_L era $4,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ y se encontró que k_M era $6,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. Según la siguiente ecuación

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k_M} + \frac{1}{k_L} + \frac{1}{k_B}$$

se puede calcular que K_B es $1,5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

20 El grosor de biopelícula (L_B) está relacionado con k_B mediante la siguiente ecuación:

$$L_B = \frac{D_{i,B}}{k_B}$$

25 Donde $D_{i,B}$ es el coeficiente de difusión del argón en la biopelícula y se calculó suponiendo que la difusividad en la biopelícula es del 60% la del agua pura, lo que da un valor de $2,4 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Esto da un grosor de biopelícula de $1590 \mu\text{m}$. También se utilizó una técnica óptica para medir el grosor de la biopelícula, como medio de validar el método de detección de gas inerte y se encontró que era $2000 \mu\text{m} \pm 200 \mu\text{m}$. El acuerdo entre los dos valores es a un nivel aceptable.

Valor umbral de grosor

30 Por encima de un cierto valor umbral crítico de grosor de biopelícula es necesario iniciar un procedimiento de limpieza para eliminar el exceso de biopelícula. La determinación de grosor en cualquier momento del tiempo se puede determinar cómo se ha descrito anteriormente, pero el valor umbral real es un sistema específico y depende fundamentalmente de la profundidad de penetración del oxígeno en la biopelícula. La profundidad de penetración del oxígeno (a) puede estimarse a partir de la siguiente ecuación:

35 $a = (2DeS_0/k_0)^{1/2}$, donde De es el coeficiente de difusión efectiva del oxígeno en la biopelícula, S_0 es la concentración de oxígeno en la interfaz biopelícula-membrana y k_0 es la velocidad de reacción volumétrica del oxígeno en la biopelícula.

Ejemplo

Se hicieron estimaciones de cada uno de estos parámetros para permitir calcular la profundidad de penetración del oxígeno. El coeficiente de difusión efectiva del oxígeno en biopelículas a 30°C se tomó como el 60% del coeficiente de difusión del agua pura a esta temperatura, o $1,5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. La concentración de oxígeno disuelto en la interfaz de biopelícula-membrana se tomó como 40,0 mg litro⁻¹ y la velocidad de consumo volumétrico de oxígeno (k_0) se determinó experimentalmente en $1,1 \text{ g m}^{-3} \text{ s}^{-1}$. A partir de estas estimaciones se encontró que la profundidad calculada de penetración de oxígeno en la biopelícula desde la membrana era 380 μm . La profundidad de penetración del oxígeno depende de una serie de parámetros, en particular la velocidad de reacción volumétrica del oxígeno (k_0), que, a su vez, depende de la densidad de la biopelícula (X), la velocidad específica de crecimiento de los microorganismos (μ) y el rendimiento de biomasa en el sustrato (Y). La siguiente ecuación se puede utilizar para calcular k_0 .

$$k_0 = \frac{\mu}{Y} X$$

Para aplicaciones típicas de tratamiento de aguas residuales, los valores de los parámetros, X , Y y μ son generalmente conocidos sobre la base del análisis de datos de planta o estudios piloto. Por consiguiente, se puede determinar la profundidad de penetración del oxígeno y de este modo el valor umbral para el inicio del control del grosor de la biopelícula.

Retirada de la biopelícula

Haciendo referencia a la FIG 3, para controlar el grosor de la biopelícula se proporcionan uno o más aireadores (15) debajo de la unidad de membrana (11) y se conectan a un soplador de aire para restregar. Desde el aireador emergen burbujas de aire y ascienden a través de la membrana (11) y retiran físicamente parte o toda la biopelícula de las membranas. Una fracción importante de la biopelícula será eliminada en un corto período de tiempo (típicamente unos minutos). Una vez finalizado el ciclo de limpieza, la corriente de inundación gas-líquido se desconecta y vuelve a comenzar el funcionamiento continuo.

Las realizaciones de la invención que se describen con referencia a los dibujos comprenden un método para medir el grosor de biopelículas en un reactor de biopelículas soportadas en membrana, y un reactor de biopelículas soportadas en membrana que tiene unos medios de detección de grosor de biopelícula. En una realización, el reactor incluye unos medios de procesamiento para poner en correlación los cambios de presión intramembrana con el grosor de las biopelículas. Sin embargo, la invención también se extiende a programas informáticos, en particular programas informáticos almacenados o en un portador, adaptados para poner en práctica la invención. El programa puede ser en forma de código fuente, código objeto, o un código intermedio entre fuente y código objeto, tal como en forma compilada parcialmente o en cualquier forma adecuada para su uso en la implementación del método según la invención. El portador puede comprender un medio de almacenamiento tal como ROM, por ejemplo, CD-ROM, o soporte magnético de grabación, por ejemplo, un disquete o un disco duro. El portador puede ser una señal eléctrica u óptica que puede ser transmitida a través de un cable eléctrico u óptico o por radio u otros medios.

La invención no se limita a las realizaciones descritas anteriormente en esta memoria, que pueden variarse en su construcción y detalles sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para evaluar el grosor de biopelícula en un reactor de biopelícula soportada en membrana (MSBR) del tipo que comprende un paso interno que contiene una fase gaseosa, una fase líquida y una membrana permeable a gases que proporciona una interfaz entre la fase gaseosa y la líquida, el método comprende las etapas de:
 - cargar el paso interno con un gas inerte;
 - cerrar el paso interno para establecer una presión elevada inicial en el paso interno;
 - medir la velocidad del cambio de presión dentro del paso interno; y
 - poner en correlación la velocidad del cambio de presión (dP/dt) con el grosor de la biopelícula.
2. Un método según la reivindicación 1, en el que la etapa de poner en correlación dP/dt con el grosor de la biopelícula implica:
 - poner en correlación dP/dt con la velocidad de difusión del gas inerte (dn/dt);
 - poner en correlación dn/dt con un coeficiente de transferencia de masa global (K);
 - poner en correlación K con el coeficiente de transferencia de masa de la biopelícula (kB); y
 - poner en correlación kB con el grosor de la biopelícula.
3. Un método según la reivindicación 1 o 2 en el que el MSBR es un reactor de fibra hueca.
4. Un método según cualquier reivindicación anterior en el que la velocidad de cambio de la presión dentro del paso interno se mide utilizando un transductor de presión.
5. Un método para hacer funcionar un reactor de biopelículas soportadas en membrana que comprende las etapas de evaluar periódicamente el grosor de las biopelículas en el reactor usando un método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 e iniciar un procedimiento de limpieza para eliminar el exceso de biopelícula cuando se determina que el grosor de la biopelícula es superior a un valor umbral de grosor.
6. Un método según la reivindicación 5, en el que el valor umbral de grosor para la biopelícula es la profundidad de penetración del aceptador de electrones o donante de electrones.
7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6, que emplea un procesador adaptado para:
 - recibir lecturas de presión desde el transductor de presión;
 - calcular el valor de dP/dt ;
 - poner en correlación el valor de dP/dt con el valor de grosor de una biopelícula;
 - comparar el valor de grosor de la biopelícula con un valor umbral de grosor preestablecido; y
 - activar un procedimiento de limpieza cuando el valor de grosor de la biopelícula se encuentra por encima del valor umbral de grosor preestablecido.
8. Un reactor de biopelículas soportadas en membrana (RMID) del tipo que comprende una membrana permeable a gases que proporciona una interfaz entre un paso interno que contiene una fase gaseosa, y una fase líquida, caracterizado porque el MSBR comprende unos medios para inundar el paso interno con un gas inerte, unos medios para cerrar y volver a abrir el paso interno, unos medios de detectar la presión intramembrana dentro del paso interno, y unos medios de procesamiento adaptados para poner en correlación los cambios de presión intramembrana con el grosor de la biopelícula.
9. Un MSBR según la reivindicación 8 en el que los medios para detectar la presión intramembrana son proporcionados por un transductor de presión.
10. Un MSBR según la reivindicación 8 o 9, en el que una membrana permeable a gases es en forma de una fibra hueca en la que la fase gaseosa se encuentra situada en el paso interno de la fibra.
11. Un MSBR según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10 en el que los medios de procesamiento están adaptados para:
 - recibir lecturas de presión desde los medios de detección de presión;

- calcular el valor de dP/dt ; y
 - poner en correlación el valor de dP/dt con el valor de grosor de una biopelícula.
12. Un programa informático que comprende instrucciones de programa para hacer que un ordenador realice el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
- 5 13. Un sistema implementado en ordenador para evaluar el grosor de biopelícula en un reactor de biopelícula soportada en membrana (MSBR) del tipo que comprende un paso interno que contiene una fase gaseosa, una fase líquida y una membrana permeable a gases que proporciona una interfaz entre la fase gaseosa y la líquida, el sistema comprende:
- unos medios para cargar el paso interno con un gas inerte;
- 10
- unos medios para cerrar el paso interno para establecer una presión elevada inicial en el paso interno;
 - unos medios para medir la velocidad del cambio de presión dentro del paso interno; y
 - unos medios para poner en correlación la velocidad del cambio de presión (dP/dt) con el grosor de la biopelícula.
14. Un sistema implementado en ordenador según la reivindicación 13 y que comprende:
- 15
- unos medios para poner en correlación dP/dt con la velocidad de difusión del gas inerte (dn/dt);
 - unos medios para poner en correlación dn/dt con un coeficiente de transferencia de masa global (K);
 - unos medios para poner en correlación K con el coeficiente de transferencia de masa de la biopelícula (kB); y
 - unos medios para poner en correlación kB con el grosor de la biopelícula.
- 20 15. Un sistema implementado en ordenador según la reivindicación 13 o 14 y que incluye además unos medios para accionar un procedimiento de limpieza de biopelícula cuando el grosor medido de la biopelícula es superior a un valor umbral de biopelícula.

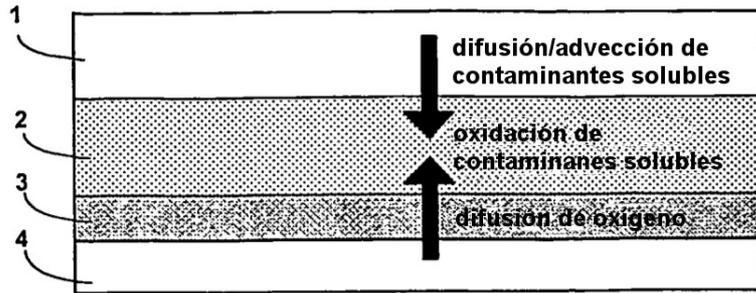


FIGURA 1

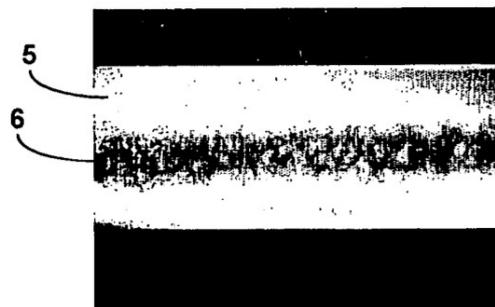


FIGURA 2

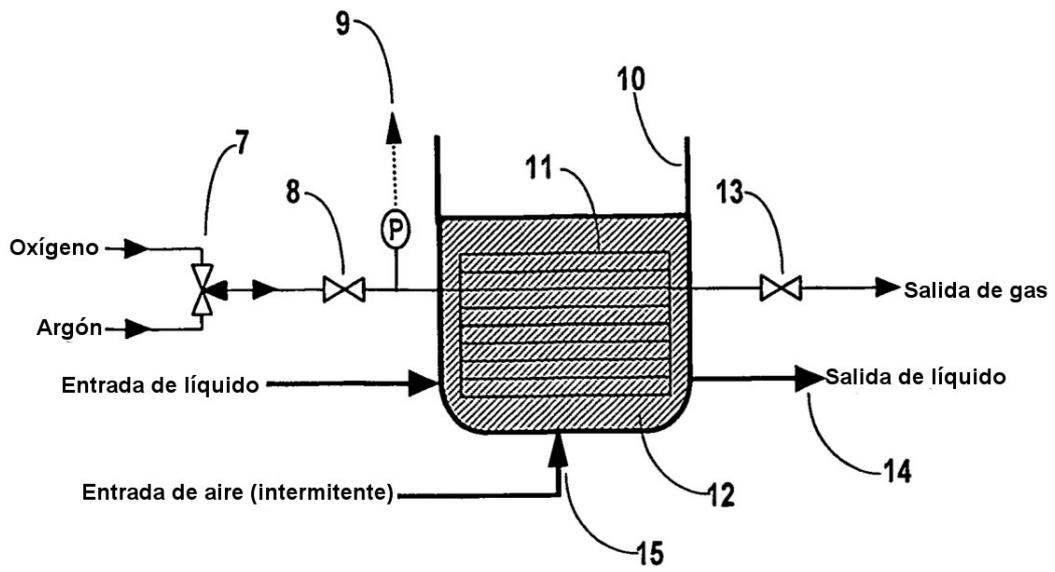


FIGURA 3