

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 766**

51 Int. Cl.:

**B01J 19/12** (2006.01)

**C10B 53/00** (2006.01)

**C10B 19/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2004** **E 04806261 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2015** **EP 1706201**

54 Título: **Reactor de pirolisis inducido por microondas y procedimiento**

30 Prioridad:

**22.12.2003 GB 0329556**

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

**15.09.2015**

73 Titular/es:

**CAMBRIDGE ENTERPRISE LIMITED (100.0%)**  
**The Old Schools Trinity Lane**  
**Cambridge, Cambridgeshire CB2 1TN, GB**

72 Inventor/es:

**LUDLOW-PALAFIX, CARLOS y**  
**CHASE, HOWARD ALLAKER**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 545 766 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**

Reactor de pirólisis inducido por microondas y procedimiento

La presente invención se refiere a un reactor y a un procedimiento para el reciclado de laminados de metal y material orgánico, mediante la pirólisis del material orgánico en un procedimiento continuo.

5 Los laminados de aluminio/polímero, formados por una o más capas de papel de aluminio y una o más capas de material orgánico, por ejemplo plástico o papel, se utilizan comúnmente como materiales de envasado o contenedores, por ejemplo, como cartón, latas o tubos para bebidas, alimentos y otros productos como dentífrico, o como recipientes tipo blíster para medicamentos. A pesar de ciertos esfuerzos para reciclar los laminados de este tipo, la mayoría terminan generalmente como residuos en vertederos, y sigue existiendo la necesidad de un procedimiento más práctico y rentable a gran escala para el reciclado de estos tipos de materiales.

10 Ensayos a escala de banco reportados por los presentes inventores sugieren que la pirólisis inducida por microondas tiene potencial como un enfoque para el reciclaje de laminados de aluminio/polímeros (C. Ludlow-Palafox y H.A. Chase, Pirólisis de Residuos Plásticos inducida por Microondas, Ind. Eng. Chem. Res. '2001' 40 4749-4756).

15 De acuerdo con este enfoque, un lecho de carbón como material de absorción de microondas se calienta con energía de microondas en una cámara de reactor, y el reactor se purga con gas nitrógeno. Normalmente, a una temperatura de 500 a 600°C, el laminado se deja caer en y se mezcla con el lecho de carbón. Con la irradiación de microondas continuada del lecho de carbón, el contenido orgánico del laminado se calienta por conducción y se piroliza a una fracción gaseosa que se puede recuperar por condensación para formar un producto de hidrocarburo aceitoso o ceroso, junto con una fracción gaseosa no condensable. El aluminio liberado del laminado se puede separar del lecho de carbono mediante tamizado grueso y, por tanto, recuperarse como un sólido.

20 Sin embargo, sigue habiendo la necesidad de un procedimiento y reactor económicamente viables para reciclar continuamente aluminio/polímero y otros laminados de metal/polímeros que se puedan operar a escala comercial. La presente invención aborda la necesidad de un procedimiento y de un reactor que cumplan con estos requisitos.

25 Por consiguiente, en un primer aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento continuo de reciclaje de un laminado de metal/orgánico que comprende un metal laminado con un material orgánico, comprendiendo el procedimiento:

30 proporcionar un reactor que comprende una primera cámara que contiene un primer lecho de material de absorción de microondas en partículas y un primer agitador giratorio, y una segunda cámara que contiene un segundo lecho de material de absorción de microondas en partículas y un segundo agitador giratorio, teniendo la segunda cámara una salida del reactor ;

introducir el laminado y el material de absorción de microondas en partículas adicional en la primera cámara que contiene el primer lecho de material de absorción de microondas en partículas;

35 agitar el material de absorción de microondas en partículas y el laminado en la primera cámara utilizando el primer agitador giratorio y aplicar energía de microondas a la mezcla de material de absorción de microondas en partículas y laminado en la primera cámara para calentar el material de absorción de microondas en partículas en la mezcla hasta una temperatura suficiente para pirolizar el material orgánico en el laminado;

transferir una porción de la mezcla en la primera cámara a la segunda cámara que contiene el segundo lecho de material de absorción de microondas en partículas;

40 agitar la mezcla en la segunda cámara mediante el segundo agitador giratorio y aplicar energía de microondas a la mezcla en la segunda cámara para calentar el material de absorción de microondas en partículas en la mezcla hasta una temperatura suficiente para pirolizar el material orgánico restante en el laminado, con lo que el metal laminado o deslaminado migra hacia y flota en la superficie superior de la mezcla en la segunda cámara,

45 caracterizado porque al menos el agitador giratorio en la segunda cámara está configurado como una pala que se extiende horizontalmente girando alrededor de un eje vertical en su punto medio, inclinándose el borde superior o superficie superior de la pala hacia abajo desde dicho punto medio hacia los extremos de la pala para fluidificar la mezcla de tal manera que la superficie superior de la mezcla fluidizada tiene un perfil radial que desvía el metal laminado o deslaminado que flota en la mezcla fluidizada para migrar radialmente hacia el exterior;

50 transferir una porción de la mezcla en la segunda cámara a la salida del reactor; y

recuperar el metal a la salida del reactor.

En un segundo aspecto, la invención proporciona un reactor para reciclar un laminado de metal/orgánico que comprende laminado de metal con un material orgánico, que comprende:

una primera cámara que contiene un primer lecho de material de absorción de microondas en partículas y un primer agitador giratorio;

5 una segunda cámara que contiene un segundo lecho de material de absorción de microondas en partículas y un segundo agitador giratorio, teniendo la segunda cámara una salida del reactor; medios para introducir el laminado y el material de absorción de microondas en partículas adicional en la primera cámara que contiene el primer lecho de material de absorción de microondas en partículas;

10 medios para transferir una porción de la mezcla en la primera cámara a la segunda cámara que contiene el segundo lecho de material de absorción de microondas en partículas; medios para aplicar energía de microondas a la mezcla de material de absorción de microondas en partículas y al laminado en la primera y segunda cámaras para calentar el material de absorción de microondas en partículas en la mezcla hasta una temperatura suficiente para pirolizar la materia orgánica en el laminado;

medios para transferir una porción de la mezcla en la segunda cámara a la salida del reactor; y

medios para recuperar metal de la salida del reactor,

15 caracterizado porque al menos el agitador giratorio en la segunda cámara está configurado como una pala que se extiende horizontalmente girando alrededor de un eje vertical en su punto medio, inclinándose el borde superior o superficie superior de la pala hacia abajo desde dicho punto medio hacia los extremos de la pala para fluidificar la mezcla de tal manera que la superficie superior de la mezcla fluidizada tiene un perfil radial que desvía el metal laminado o deslaminado que flota en la mezcla fluidizada para migrar radialmente hacia el exterior.

20 Por la expresión 'laminado metal/orgánico' como se hace referencia en la presente memoria se entiende cualquier laminado que comprenda una capa o película de metal total o parcialmente laminado o un material orgánico. El metal puede ser cualquier metal con un punto de fusión o de ebullición mayor que la temperatura de pirólisis utilizada en el reactor, por ejemplo, aluminio o hierro, preferentemente de aluminio. El material orgánico puede ser cualquier material polimérico que se pueda pirolizar bajo las temperaturas utilizadas en el reactor, por ejemplo, 25 materiales poliméricos sintéticos (tales como materiales termoestables o de plástico), papel o cartón, u otro material polimérico a base de hidrocarburos. El laminado puede incluir adicionalmente componentes que no son de metal o de material orgánico pirolizable, tales como fibras de vidrio o cargas inertes, por ejemplo, el laminado puede comprender materiales reforzados con fibra de vidrio tales como fibra de vidrio. Por lo tanto, la expresión "laminado metal/orgánico" se utiliza aquí para incluir tales laminados que se utilizan comúnmente para el envasado de 30 alimentos, bebidas y medicamentos, por ejemplo para contenedores Tetrapak®, latas de bebidas, latas de comida o paquetes tipo blíster farmacéuticos, o para otros productos de consumo tales como dentífrico.

35 El reactor tiene preferentemente solo dos cámaras de reacción, que están interconectadas de modo que una porción de la mezcla en la primera cámara se transfiere directamente a la segunda cámara a través de la acción de los agitadores giratorios en las primera y segunda cámaras. Sin embargo, si se desea, una o más cámaras adicionales interconectadas se pueden incluir en el reactor, entremedio de la primera y segunda cámaras. En el caso de que se incluyan una o más cámaras del reactor, cada cámara adicional contiene un lecho de material de absorción de microondas en partículas agitado de forma independiente por un agitador giratorio. Por lo tanto, una porción de la 40 mezcla en la primera cámara se transferirá a la cámara adicional adyacente, y una porción de la mezcla en esa cámara adicional se transferirá a la siguiente cámara adicional o, si la siguiente cámara es la segunda cámara, se transferirá a la segunda cámara.

Las cámaras del reactor son preferentemente cilíndricas, y co-axiales con sus respectivos agitadores giratorios girando alrededor de un eje vertical de giro. Si es una construcción reactor cuadrada o rectangular, las esquinas de cada cámara se proporcionan preferentemente con piezas de material transparente a microondas conformadas para ayudar al movimiento de agitación del lecho para evitar zonas muertas.

45 Una alimentación de entrada para la introducción de laminado en la primera cámara del reactor y una salida de la segunda cámara del reactor se proporcionan en el reactor. También se proporcionan tubos de entrada y de salida de gases para la introducción y extracción del gas que proporciona una atmósfera inerte o reducida, y de los gases generados a través de la pirólisis del laminado en el reactor. Los tubos de alimentación y de salida se pueden aislar preferentemente de las condiciones internos del reactor por medio de cierre o válvulas adecuados, por ejemplo, 50 mediante el uso de sistemas de bloqueo de tolva o válvulas de doble mariposa.

Los lechos en las cámaras están formados de material de absorción de microondas en partículas, es decir, un material que puede absorber energía de microondas y, por lo tanto, calentarse hasta una temperatura que es suficiente para pirolizar la materia orgánica presente en el laminado cuando el laminado se mezcla con el lecho de material. El calor del material de absorción de microondas en partículas se conduce por tanto hasta el laminado a 55 través del contacto íntimo con las partículas o polvo del material de absorción de microondas. Los materiales de absorción de microondas adecuados incluyen negro de humo, carbón activado, ciertos óxidos metálicos, tales como algunos óxidos de hierro, y ciertos otros compuestos tales como carburo de silicio. Se prefieren como materiales de absorción de microondas polvo de negro de humo y polvo de carbón activado.

Para irradiar los lechos de material de absorción de microondas en las cámaras del reactor, el reactor tiene una o más guías de microondas dispuestas alrededor de las respectivas cámaras. Las guías de microondas se aíslan preferentemente de las condiciones del reactor, por ejemplo, mediante una ventana de cuarzo en la pared del reactor, de manera conocida. Cualquier disposición de la fuente y guía de microondas adecuada se puede utilizar.

5 La aplicación de microondas a los lechos se debe controlar para asegurar que los lechos alcancen y mantengan una temperatura a la que se piroliza el material orgánico. Preferentemente, las microondas se aplican de tal manera que el material de absorción de microondas en partículas en los lechos se calienta hasta una temperatura en el intervalo de 250 a 700°C, más preferentemente en el intervalo de 500 a 600°C. Si se desea, la temperatura puede variar con el tiempo dentro de estos intervalos. Cada lecho dentro de la primera, segunda y cualquier cámara adicional se puede calentar a la misma o diferentes temperaturas dentro de estos intervalos.

Si se desea, se pueden utilizar medios de calentamiento auxiliares para precalentar los lechos de material de absorción de microondas en partículas, antes o después de introducir el laminado en el reactor, por ejemplo, mediante combustión de combustible en el interior del reactor, o con medios de calentamiento eléctrico en las paredes del reactor. Preferentemente, las microondas son el único medio de calentamiento para los lechos.

15 Antes de que los lechos se calienten hasta la temperatura de pirólisis, el reactor se purga con un gas inerte o reductor, y, posteriormente, el procedimiento se realiza bajo condiciones de pirólisis a una atmósfera inerte o reducida, para evitar o minimizar la combustión de los compuestos orgánicos presentes en el laminado. Los gases inertes o reductores adecuados incluyen nitrógeno, argón, helio, vapor de agua o hidrógeno. Preferentemente, el gas utilizado para purgar el reactor y mantener una atmósfera inerte o reducida es gas nitrógeno.

20 El laminado se alimenta en la primera cámara de alimentación con los medios apropiados, a través de una entrada en la primera cámara, y se agita en y se mezcla con el lecho de material de absorción de microondas a través de la acción de un agitador giratorio en la primera cámara. El contacto íntimo entre las partículas de material de absorción de microondas y el laminado asegura una transferencia eficaz del calor al material orgánico en todas las superficies. Si se desea o es necesario, el laminado se corta o se tritura a un tamaño adecuado de acuerdo con el tamaño de los equipos, por ejemplo, para proporcionar piezas de laminado con un área en el intervalo de 0,25 a 25 cm<sup>2</sup> antes de su introducción en el reactor. La velocidad de alimentación del laminado en el reactor se controla preferentemente, por ejemplo, para proporcionar una relación de peso del material de absorción de microondas en relación con el laminado dentro de cada cámara en el intervalo de 1:1 a 50:1, preferentemente en el intervalo de 5:1 a 10:1.

30 En el procedimiento continuo de la invención, el material de absorción de microondas en partículas adicional se introduce preferentemente en la primera cámara del reactor para proporcionar un exceso relativo de material de absorción de microondas en la primera cámara en comparación con la siguiente cámara contigua, exceso que va a reponer la cantidad correspondiente del material de absorción de microondas que sale del reactor desde la segunda cámara. Por tanto, después de un período de agitación, una porción de la mezcla de laminado y material de absorción de microondas en la primera cámara fluirá hacia y se transferirá hasta la siguiente cámara contigua. El laminado se introduce preferentemente junto con el material de absorción de microondas en partículas adicional. Más preferentemente, el material de absorción de microondas en partículas adicional se mezcla con el laminado antes de su introducción en el reactor. El material en partículas adicional introducido en la primera cámara del reactor se ha reciclado preferentemente desde la salida del reactor, después de haber sido separado del metal que sale del reactor. El material de absorción de microondas en partículas adicional o el laminado, o ambos, se puede precalentar antes su introducción en el reactor, por ejemplo utilizando aire caliente u otros medios de calentamiento adecuados.

45 Cuando el laminado alcanza la temperatura del procedimiento, a través de la conducción de calor desde las partículas del material de absorción de microondas, se producen reacciones pirolíticas, mediante las que los polímeros y otros compuestos orgánicos presentes en el laminado se degradan en compuestos gaseosos. Los compuestos gaseosos, que pueden incluir gases condensables y no condensables, salen del reactor a través de uno o más tubos de salida de gases, y los gases condensables se pueden condensar en un condensado aceitoso o ceroso para su reciclado, o se pueden someter a combustión, sin ningún gas condensable presente, para generar calor o trabajo mecánico.

50 A través de la acción de los agitadores giratorios, los lechos se fluidizan, y el metal laminado o deslaminado migra hacia la superficie superior de los lechos debido a su menor densidad relativa en comparación con la del material del lecho fluidizado. Las cámaras del reactor están interconectadas de manera que las trayectorias de los agitadores giratorios se superponen en cierto grado. Los flujos de superposición de los lechos fluidizados en cámaras contiguas, creado por las acciones de los respectivos agitadores giratorios a través de sus trayectorias superpuestas, hacen que una porción del lecho en una cámara se transfiera al lecho de la siguiente cámara, por ejemplo, de la primera cámara a la segunda cámara en un reactor de dos cámaras. Por lo tanto, con el tiempo, el laminado que se introduce en la primera cámara se transfiere a través de la primera y segunda, y cualquier cámara intermedia hasta la salida del reactor. Al mismo tiempo, en al menos la segunda cámara (es decir, la última) el metal laminado o deslaminado migra hacia la superficie superior del lecho, y puede flotar en la parte superior del lecho. El metal deslaminado se concentra, por tanto, en la parte superior del lecho en la segunda cámara, y se puede recuperar del reactor a una concentración relativamente alta con respecto al material de absorción de microondas en partículas. Después de salir del reactor, el metal deslaminado, preferentemente aluminio, se separa del material de

- absorción de microondas en partículas que sale con el mismo, y por lo tanto se puede recuperar en forma sustancialmente pura como piezas o papel de metal. El metal se puede separar del material de absorción de microondas en partículas excitado utilizando técnicas de separación adecuadas, preferentemente por tamizado. El material de absorción de microondas en partículas separado del metal se recicla preferentemente a la primera cámara del reactor, opcionalmente después de someterse a un precalentamiento o mezcla el con laminado no procesado, o ambos.
- Dado que el metal deslaminado en la segunda cámara se concentra en la parte superior del lecho, preferentemente la salida del reactor es a través de una pared lateral de la segunda cámara, y la salida tiene una superficie inferior dispuesta a una altura de o cerca del nivel de la parte superior del lecho en dicha cámara, de tal manera que el metal, y, opcionalmente, una porción del material de absorción de microondas en partículas, sale cuando su nivel excede la altura de dicha superficie inferior.
- Los agitadores giratorios en las cámaras del reactor giran preferentemente en el mismo sentido de giro, y a la misma frecuencia de giro. Preferentemente, los agitadores giran a una velocidad en el intervalo de 2 a 60 revoluciones por minuto (rpm), por ejemplo, de 5 a 20 rpm.
- Los agitadores giratorios en cada cámara respectiva pueden tener configuraciones mutuamente diferentes. Por ejemplo, el agitador en la primera cámara se configura preferentemente para mezclar completamente el laminado introducido con las partículas del primer lecho. El agitador de la segunda cámara se configura para fluidificar el segundo lecho de tal manera que el metal deslaminado tiende a migrar hacia arriba, hacia la parte superior del lecho.
- Preferentemente, el agitador giratorio en la primera cámara se configura como una pala que se extiende horizontalmente girando alrededor de un eje vertical, en el que el borde superior o superficie superior de la pala es horizontal de manera que la parte periférica de la pala está en el mismo nivel que la parte axial. La pala puede tener un solo brazo (es decir, con la parte axial en un extremo de la pala y la parte periférica en el otro extremo de la pala) o puede ser de brazo doble (es decir, con la parte axial en el punto medio de la pala y partes periféricas en los extremos de la pala), y es preferentemente de brazo doble.
- El agitador giratorio en la segunda cámara se configura como una pala que se extiende horizontalmente girando alrededor de un eje vertical, estando el borde superior o superficie superior de la pala inclinado hacia abajo desde la parte axial de la pala, que es en el punto medio de la pala, hacia la parte periférica de la pala, de manera que el borde superior o superficie de la parte periférica de la pala está a un nivel inferior con respecto a la parte axial. La pala puede tener un solo brazo o puede ser de brazo doble, y preferentemente es de brazo doble. Por ejemplo, el agitador giratorio en la segunda cámara se puede configurar como una pala trapezoidal o triangular, preferentemente una pala trapezoidal, que gira alrededor de su punto medio.
- Puesto que los agitadores giratorios de cámaras del reactor adyacentes describen trayectorias superpuestas, el material de absorción de microondas en partículas y el laminado barrido por la pala del agitador giratorio de la primera cámara en la trayectoria de superposición del agitador giratorio de la segunda cámara (o intermedia) se barrerán fuera de la parte de solapamiento por el siguiente barrido de la pala del agitador giratorio de segunda cámara (o intermedia). Se apreciará que las palas respectivas de las cámaras del reactor adyacentes no deben estar alineadas, para evitar su colisión. Preferentemente, las palas de los agitadores giratorios de las cámaras adyacentes están desalineadas en un ángulo de 90 grados.
- La invención se ilustra adicionalmente mediante los dibujos y su descripción, en los que:
- La Figura 1 representa una vista en planta del interior de un reactor de acuerdo con una realización de la invención;
- La Figura 2 representa una vista lateral del reactor de la Figura 1 cuando se observa desde el lado A;
- La Figura 3 representa una vista lateral del reactor de la Figura 1 cuando se observa desde el lado B.
- En las figuras 1 a 3, el reactor 1 tiene una primera cámara 2 cilíndrica que contiene un primer lecho de polvo de negro de humo y una cámara de segunda 3 cilíndrica que contiene un segundo lecho de polvo de negro de humo. Las cámaras 2 y 3 son contiguas y están interconectadas, y contienen los agitadores 4 y 5 giratorios, respectivamente. Los agitadores 4 y 5 giran a través de trayectorias superpuestas. Una purga de nitrógeno se hace pasar a través del reactor 1 y se mantiene como atmósfera reductora (tubos de entrada y salida de nitrógeno no mostrados). La energía de microondas se introduce en las cámaras 2 y 3 (guías no mostradas) para calentar el primer y segundo lechos a la temperatura de pirólisis. Los productos de pirólisis gaseosos salen del reactor (tubos no mostrados). El laminado y el polvo de negro de humo adicional se introducen por la entrada 6 en la cámara 2 y se mezcla en el primer lecho a través de la acción del agitador 4. Una porción de la mezcla se hace pasar al segundo lecho en la cámara 3. El aluminio deslaminado sale del reactor 1 a través de la salida 7 de la cámara 3, junto con un poco de polvo negro de humo, y se separa del polvo de negro de humo que ha salido. El polvo de negro de humo separado se recicla en la entrada 6.

La invención se puede ilustrar adicionalmente haciendo al siguiente ejemplo no limitativo:

Procedimiento experimental:

Un reactor, por ejemplo, un reactor de dos cámaras como se muestra en las Figuras 1 a 3, se utiliza continuamente como sigue:

5 En el reactor, todas las cámaras presentes (preferentemente dos) se cargan con material de absorción de microondas en partículas (preferentemente carbono) hasta el nivel de la salida en la última cámara. Una vez que las cámaras se han cargado con el material de absorción de microondas, el motor o motores que accionan los agitadores giratorios en todas las cámaras se encienden.

10 El sistema se comprueba para asegurar de que todas las conexiones están en su lugar y que el equipo está cerrado de forma estanca. En esta etapa, se permite un pequeño flujo de nitrógeno o se deja fluir otro gas inerte a través del reactor para purgar el oxígeno del interior de las cámaras de reacción.

15 Las fuentes de microondas (magnetrones) están encendidas. El material de absorción de microondas empieza a calentarse debido a la acción de las microondas. La temperatura del material de absorción de microondas se controla continuamente, y preferentemente se introduce en un equipo que ejecuta un programa de control, conectado a los magnetrones para controlar la tasa de calentamiento y la temperatura del material de absorción de microondas en el interior del reactor.

20 Una vez que se ha alcanzado una temperatura de reacción deseada, el laminado se alimenta en la primera cámara de reacción a través de la tubería de alimentación. Como alternativa, algunos materiales laminados se podrían haber alimentado al reactor antes de alcanzar la temperatura deseada. Preferentemente, el laminado se habría cortado previamente en trozos de tamaño apropiado de acuerdo con el tamaño de los equipos, por ejemplo, de modo que el tamaño de las piezas de laminado que entra en el reactor es 0,25 a 25 cm<sup>2</sup>. El laminado se alimenta utilizando válvulas de doble compuerta, combinaciones de pistones y transportadores de tornillo o cualquier otro medio similar para mantener el interior de las cámaras de reacción libres de oxígeno. La relación del material de absorción de microondas en relación con el laminado dentro de cada cámara puede variar entre 1:1 y 50:1, preferentemente la relación es de 5:1 a 10:1, en peso.

25 El laminado se empieza a pirolizar y los gases salen del reactor a través de tubos conectados al reactor. Los gases se pueden condensar y/o recogerse para su uso posterior. Como alternativa, los gases se podrían someter a combustión inmediatamente para producir calor o electricidad con medios apropiados. El laminado, o aluminio limpio una vez que se ha realizado la pirólisis, migra desde la primera hasta cualquier cámara posterior y encuentra su camino hasta la salida. El aluminio limpio sale del reactor a través de una válvula de compuerta doble, una combinación de pistones y transportadores de tornillo o cualquier otro medio similar que evite que el oxígeno entre en el reactor. A medida que sale continuamente aluminio limpio de la cámara final, se añade laminado nuevo a la primera cámara junto con cualquier material de absorción de microondas adicional necesario para "recargar" el reactor.

35

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento continuo de reciclaje de un laminado de metal/orgánico que comprende laminado de metal con un material orgánico, comprendiendo el procedimiento:
- 5 proporcionar un reactor (1) que comprende una primera cámara (2) que contiene un primer lecho de material de absorción de microondas en partículas y un primer agitador (4) giratorio, y una segunda cámara (3) que contiene un segundo lecho de material de absorción de microondas en partículas y un segundo (5) agitador giratorio, teniendo la segunda cámara una salida (7) del reactor (1);
- introducir el laminado y el material de absorción de microondas en partículas adicional en la primera cámara (2) que contiene el primer lecho de material de absorción de microondas en partículas;
- 10 agitar el material de absorción de microondas en partículas y el laminado en la primera cámara (2) utilizando el primer agitador (4) giratorio y aplicar energía de microondas a la mezcla de material de absorción de microondas en partículas y laminado en la primera cámara (2) para calentar el material de absorción de microondas en partículas en la mezcla hasta una temperatura suficiente para pirolizar el material orgánico en el laminado;
- 15 transferir una porción de la mezcla en la primera cámara (2) a la segunda cámara (3) que contiene el segundo lecho de material de absorción de microondas en partículas;
- agitar la mezcla en la segunda cámara (3) mediante el segundo agitador (5) giratorio y aplicar energía de microondas a la mezcla en la segunda cámara (3) para calentar el material de absorción de microondas en partículas en la mezcla hasta una temperatura suficiente para pirolizar el material orgánico restante en el laminado, por medio de lo cual el metal laminado o deslaminado migra hacia, y flota sobre, la superficie superior de la mezcla en la segunda cámara (3), **caracterizado porque** al menos el agitador giratorio en la segunda
- 20 cámara está configurado como una pala que se extiende horizontalmente girando alrededor de un eje vertical en su punto medio, inclinándose el borde superior o superficie superior de la pala hacia abajo desde dicho punto medio hacia los extremos de la pala para fluidificar la mezcla, de tal manera que la superficie superior de la mezcla fluidizada tiene un perfil radial que empuja el metal laminado o deslaminado que flota sobre la mezcla fluidizada para migrar radialmente hacia el exterior;
- 25 transferir una porción de la mezcla en la segunda cámara (3) a la salida (7) del reactor (1); y
- recuperar el metal a la salida (7) del reactor (1).
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la transferencia de la porción de la mezcla en la primera cámara (2) a la segunda cámara (3) es a través de una o más cámaras intermedias que contienen cada una un lecho de material de absorción de microondas partículas agitado por un agitador giratorio.
- 30 3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el reactor (1) consiste en dos cámaras (2), (3) de reacción.
4. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además la recuperación de productos pirolizados del reactor (1).
- 35 5. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el material orgánico comprende material de plástico o papel, o ambos.
6. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el material de absorción de microondas en partículas se calienta hasta una temperatura en el intervalo de 500 a 600°C.
- 40 7. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el material de absorción de microondas en partículas es polvo de negro de humo.
8. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior que comprende proporcionar además una atmósfera inerte o reducida en el reactor (1).
9. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la atmósfera es gas nitrógeno.
- 45 10. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el material de absorción de microondas en partículas adicional se mezcla con el laminado antes de su introducción en el reactor (1).
11. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el material de absorción de microondas en partículas adicional o el laminado, o ambos, se precalientan antes de su introducción en el reactor (1).
- 50 12. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que material de absorción de microondas en partículas se precalienta en el reactor (1) antes de su mezcla con el laminado.

13. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la acción del agitador (4) en la primera cámara (2) transfiere el material de absorción de microondas en partículas de la primera cámara (2) a la siguiente cámara (3).
- 5 14. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que una porción del material de absorción de microondas en partículas en la segunda cámara (3) sale del reactor (1) con el metal.
15. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14 que comprende además separar el material de absorción de microondas en partículas saliente del metal que ha salido, y reciclar el material de absorción de microondas en partículas separado al reactor (1).
- 10 16. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que los agitadores (4), (5) giratorios describen trayectorias superpuestas, mediante lo cual la acción de los agitadores (4), (5) giratorios transfiere una porción del material de absorción de microondas en partículas de la primera cámara (2) a la siguiente cámara (3).
- 15 17. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la salida (7) es a través de una pared lateral de la segunda cámara (3), y tiene una superficie inferior dispuesta a una altura en, o cerca de, el nivel de la parte superior del lecho en dicha cámara (3), de tal manera que el metal, y opcionalmente una porción del material de absorción de microondas en partículas, sale cuando su nivel excede la altura de dicha superficie inferior.
18. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que al menos el agitador (5) giratorio en la segunda cámara (3) está configurado como una pala trapezoidal que gira alrededor de su punto medio.
19. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el laminado de metal/orgánico comprende aluminio laminado con un material orgánico.
- 20 20. Un reactor (1) para el reciclaje de un laminado de metal/orgánico que comprende metal laminado con un material orgánico, que comprende:
- una primera cámara (2) que contiene un primer lecho de material de absorción de microondas en partículas y un primer agitador (4) giratorio;
- 25 una segunda cámara (3) que contiene un segundo lecho de material de absorción de microondas en partículas y un segundo agitador (5) giratorio, teniendo la segunda cámara (3) una salida (7) del reactor (1);
- medios para introducir el laminado y el material de absorción de microondas en partículas adicional en la primera cámara (2) que contiene el primer lecho de material de absorción de microondas en partículas;
- medios para transferir una porción de la mezcla en la primera cámara (2) a la segunda cámara (3) que contiene el segundo lecho de material de absorción de microondas en partículas;
- 30 medios para aplicar energía de microondas a la mezcla de material de absorción de microondas en partículas y al laminado en la primera (2) y segunda (3) cámaras para calentar el material de absorción de microondas en partículas en la mezcla hasta una temperatura suficiente para pirolizar la materia orgánica en el laminado;
- medios para transferir una porción de la mezcla en la segunda cámara (3) a la salida (7) del reactor (1); y
- medios para recuperar metal de la salida (7) del reactor (1),
- 35 **caracterizado porque** al menos el agitador giratorio en la segunda cámara está configurado como una pala que se extiende horizontalmente y que gira alrededor de un eje vertical en su punto medio, inclinándose el borde superior o superficie superior de la pala hacia abajo desde dicho punto medio hacia los extremos de la pala para fluidificar la mezcla, de tal manera que la superficie superior de la mezcla fluidizada tiene un perfil radial que empuja el metal laminado o deslaminado que flota sobre la mezcla fluidizada para migrar radialmente hacia el
- 40 exterior.
21. Un reactor (1) de acuerdo con la reivindicación 20, que comprende además una o más cámaras intermedias entre la primera (2) y segunda (3) cámaras, conteniendo cada una un lecho de material de absorción de microondas en partículas agitado mediante un agitador giratorio.
22. Un reactor (1) de acuerdo con la reivindicación 20, que consiste en dos cámaras (2), (3) de reacción.
- 45 23. Un reactor (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 22, en el que el agitador (4) en la primera cámara (2) transfiere una porción de la mezcla en la primera cámara (2) a la siguiente cámara (3).
24. Un reactor (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 23, que comprende además medios para separar el material de absorción de microondas en partículas saliente del metal que ha salido, y para reciclar el material de absorción de microondas en partículas separado al reactor (1).
- 50 25. Un reactor (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 24, en el que los agitadores (4), (5)

giratorios describen trayectorias superpuestas, mediante lo cual la acción de los agitadores (4), (5) giratorios transfiere una porción del material de absorción de microondas en partículas de la primera cámara (2) a la siguiente cámara (3).

5 26. Un reactor (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 25, en el que la salida (7) es a través de una pared lateral de la segunda cámara (3), y tiene una superficie inferior dispuesta a una altura en, o cerca de, el nivel de la parte superior del lecho en dicha cámara (3), de tal manera que el material, y opcionalmente una porción del material de absorción de microondas en partículas, sale cuando su nivel excede la altura de dicha superficie inferior.

10 27. Un reactor (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 26, en el que al menos el agitador (5) giratorio en la segunda cámara (3) está configurado como una pala trapezoidal que gira alrededor de su punto medio.

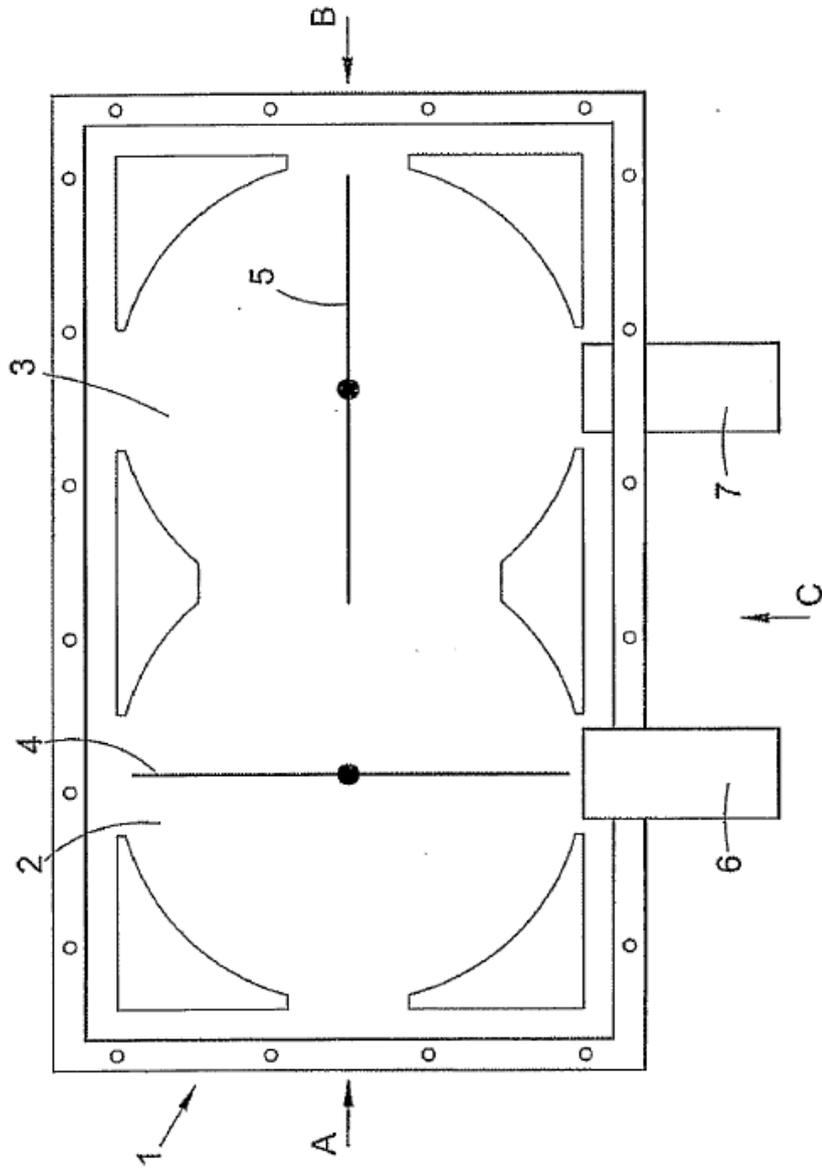


Fig. 1

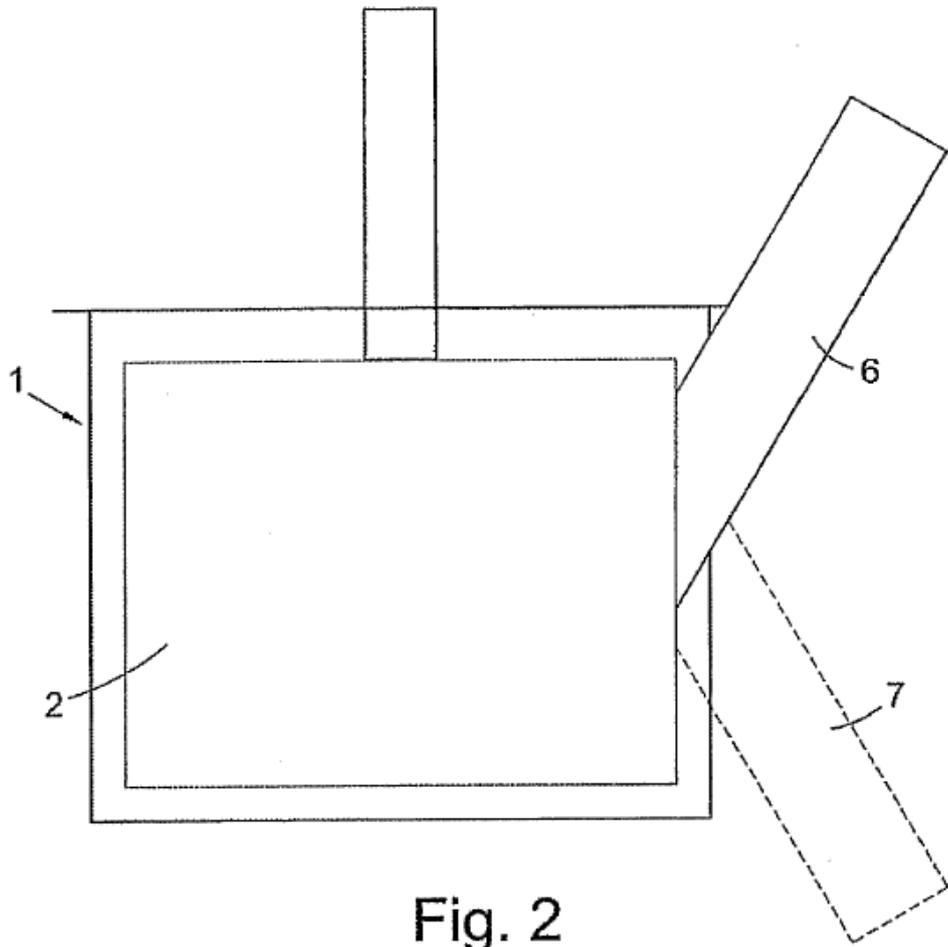


Fig. 2

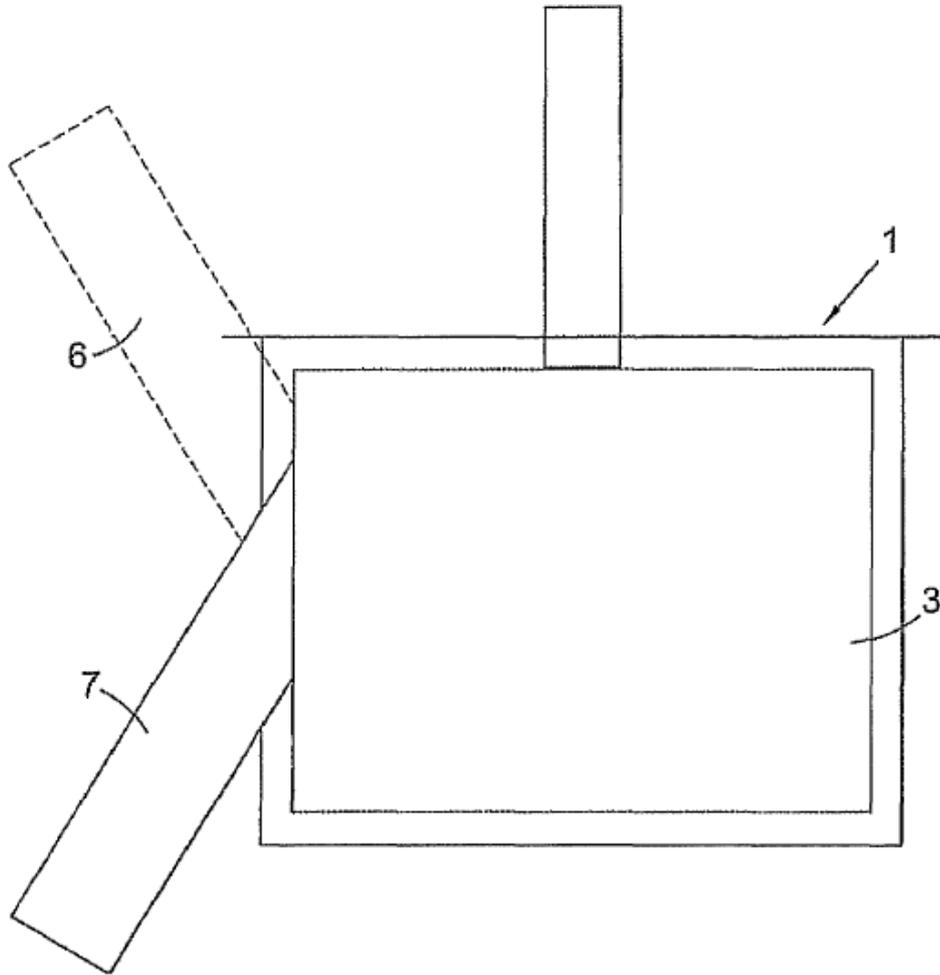


Fig. 3