

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 100**

51 Int. Cl.:

B08B 9/055 (2006.01)

C10G 75/00 (2006.01)

F28G 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.04.2017** **PCT/US2017/029514**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.11.2017** **WO17189648**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2017** **E 17723812 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2024** **EP 3448591**

54 Título: **Limpieza de depósitos de coque de equipos de proceso**

30 Prioridad:

29.04.2016 US 201615142792

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

25.11.2024

73 Titular/es:

CHEVRON PHILLIPS CHEMICAL COMPANY LP
(100.0%)
10001 Six Pines Drive
The Woodlands, Texas 77380, US

72 Inventor/es:

MCGAHEE, VINCENT DEPAUL

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 989 100 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

Limpieza de depósitos de coque de equipos de proceso

5 Campo

Esta divulgación se refiere a la limpieza de depósitos de coque de equipos de proceso utilizando un raspador.

Antecedentes

10

El funcionamiento de los procesos químicos y las reacciones involucradas en ellos pueden generalmente dar como resultado la deposición de coque y el crecimiento de floraciones de coque en las superficies internas de los equipos de proceso. La presencia de coque aumenta la temperatura de las superficies internas, lo que produce carburación y pérdida de metal de las superficies internas. Por ejemplo, las reacciones de reformado catalítico que implican la

15

conversión de hidrocarburos de nafta en reformado pueden ensuciar las superficies internas de los tubos de horno con coque, incluido al menos uno o más de coque catalítico y coque térmico. Estos depósitos iniciales de coque pueden crecer con el tiempo y convertirse en floraciones de coque. La vida útil de los equipos de proceso se ve afectada negativamente por la carburación y la pérdida de metal que resultan de las floraciones de coque.

20

Unas capas protectoras de metal (por ejemplo, una capa de estannuro) pueden proteger la superficie interna del equipo de proceso al inhibir la tasa de carburación y la pérdida de metal. Sin embargo, la propia capa protectora de metal puede verse comprometida debido a los mecanismos de erosión de los procesos, procesos que se ven agravados por las altas temperaturas en regiones localizadas donde el crecimiento de coque inhibe la transferencia de calor eficiente.

25

Incluso con una capa protectora de metal que protege las superficies internas del equipo de proceso, las superficies internas necesitan ser evaluadas periódicamente para evaluar la condición y la vida útil del equipo de proceso. Un ejemplo de dicha evaluación incluye la inspección inteligente mediante pruebas ultrasónicas inteligentes (medición UT) y/o inspección por vídeo interna. Sin embargo, las superficies internas del equipo de proceso deben descoquizarse antes de esta evaluación, ya que las áreas problemáticas pueden estar ocultas por depósitos de coque, y la evaluación sin descoquización da como resultado datos incompletos cuando se utiliza la medición UT externa estándar y datos semicualitativos cuando se utiliza la inspección de vídeo interna.

30

Los métodos de descoquización industrial incluyen la descoquización con vapor y el raspado hidráulico de raspadores, los cuales dañan la capa protectora de metal que protege las superficies internas del equipo de proceso. Como alternativa, se ha utilizado el hidrolavado para descoquificar las superficies internas de los equipos de proceso que tienen capas protectoras de metal. Sin embargo, el hidrolavado requiere mucho tiempo y en muchos casos resulta antieconómico debido al tiempo de inactividad necesario del equipo de proceso.

35

El documento US 6,170,493 divulga un método y un aparato para raspar un calentador en funcionamiento. El documento EP 0300602 divulga sistemas de tuberías de transporte de fluidos para transportar líquidos o gases masivos a lo largo de distancias sustanciales, y un raspador flexible según el preámbulo de la reivindicación 1.

40

Compendio

45

La presente invención es un raspador flexible para limpiar un depósito de coque de una superficie interna de un equipo de proceso sin dañar una capa protectora de metal de la superficie interna, que comprende un cuerpo flexible formado de un material polimérico, en donde el cuerpo flexible comprende un cuerpo polimérico moldeado formado de un material polimérico, en donde el cuerpo polimérico moldeado comprende una parte axial y una pluralidad de partes radiales formadas en intervalos espaciados a lo largo de la parte axial, y en donde un diámetro de la parte axial es menor que un diámetro exterior de cada una de la pluralidad de partes radiales; una pluralidad de cerdas, en donde al menos una parte de cada una de la pluralidad de cerdas es encapsulada parcialmente por el material polimérico parcialmente encapsulado por el material polimérico del cuerpo polimérico moldeado; en donde al menos una de la pluralidad de cerdas comprende una capa protectora de metal que contiene estannuro, según la reivindicación 1.

50

55

La presente invención también proporciona un sistema según la reivindicación 8, que comprende un equipo de proceso que tiene un depósito de coque formado sobre una superficie interna que comprende una capa protectora de metal, un raspador flexible según la reivindicación 1, una fuente de fluido que proporciona una fuerza de fluido de menos de aproximadamente 413685 Pa (60 psig) a un extremo del raspador flexible haciendo que al menos una de la pluralidad de cerdas del raspador flexible entre en contacto con el depósito de coque sin dañar la capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso.

60

La presente invención también proporciona, según la reivindicación 9, el uso de un raspador flexible según la reivindicación 1 para limpiar un depósito de coque de una superficie interna de un equipo de proceso. Realizaciones adicionales de la invención se describen por las reivindicaciones dependientes.

65

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista superior de un raspador flexible.

5 La Figura 2 es una vista superior de un raspador flexible.

La Figura 3 es una vista superior de un raspador flexible.

La Figura 4 es una vista superior de un raspador flexible.

10 La Figura 5 es una vista de extremo del raspador flexible de la Figura 3, en un tubo de horno que ha estado en contacto con una floración de coque.

Descripción detallada

15 En esta memoria se divulga uno o más raspadores flexibles utilizados para limpiar uno o más depósitos de coque (por ejemplo, floraciones de coque) de las superficies internas de equipos de proceso, y métodos que los utilizan.

20 La referencia a "equipo de proceso" en esta memoria se refiere a cualquier equipo de procesamiento de hidrocarburos expuesto a reacciones y/o condiciones que forman depósitos de coque en una superficie interna que se expone a dichas reacciones y/o condiciones. Para simplificar y aclarar, en esta memoria se describe un tubo de horno utilizado en un proceso de reformado catalítico que tiene una capa de estannuro como capa protectora como parte del equipo de proceso descrito.

25 La referencia a "superficie interna" en esta memoria se refiere a la(s) superficie(s) interior(es) del equipo de proceso que está(n) hecha(s) de un metal (por ejemplo, acero al carbono, acero dulce, acero de aleación, acero inoxidable, acero inoxidable austenítico o combinaciones de los mismos), y a la(s) superficie(s) interior(es) de un equipo de proceso que tiene una capa metálica protectora sobre la misma, tal como una capa de estannuro que protege la superficie interna del equipo de proceso, por ejemplo, un tubo de horno como se mencionó anteriormente.

30 La referencia a una "zona de transición" en esta memoria se refiere a una parte del equipo de proceso que no es lineal. Por ejemplo, en el contexto de un raspador que se desplaza dentro de un tubo de horno para los fines divulgados en esta memoria, la zona de transición puede ser un codo de tubo de 90° que conecta dos partes lineales de tubo, es decir, el codo de tubo de 90° es la parte no lineal de tubo que hace la transición del desplazamiento de un raspador entre las dos partes lineales de tubo.

La referencia a "longitud de ruta" en esta memoria se refiere a la distancia que recorre un raspador flexible de esta divulgación para pasar a través de la zona de transición, medida a lo largo de un eje longitudinal del equipo de proceso.

40 La referencia a "fluido" en esta memoria se refiere a un medio conocido por aquellos con experiencia en la técnica que con la ayuda de esta divulgación puede incluir un hidrocarburo o una solución acuosa y puede contener aditivos que incluyen surfactantes, modificadores de reología, emulsionantes, agentes antiespumantes, amoníaco o combinaciones de los mismos. El fluido propulsa el raspador flexible, suspende los materiales eliminados del equipo de procesamiento, eliminar los materiales del equipo de proceso o combinaciones de estos.

45 La referencia a "fuente de fluido" en esta memoria se refiere a equipos conocidos por los expertos en la técnica que con la ayuda de esta divulgación pueden incluir tanques, bombas, tuberías, mangueras, válvulas, colectores y sistemas de control utilizados para crear una fuerza sobre el fluido.

50 La referencia a "depósitos de coque" en esta memoria se refiere a una colección de al menos uno o más de coque catalítico y coque térmico que se deposita en las superficies internas del equipo de procesamiento de hidrocarburos. En algunos casos, la acumulación continua de coque genera un depósito de coque (por ejemplo, una floración de coque) que brota de la superficie interna del equipo de proceso. Sin querer limitarnos a ninguna teoría, cuando el coque se desprende de la superficie interna, puede producirse una erosión de sustrato del metal base del equipo de proceso.

55 La referencia a "material polimérico" en esta memoria se refiere a un material hecho de uno o más polímeros tales como polietileno, polietileno reticulado, polipropileno, poliestireno, poliuretano, caucho, neopreno, copolímeros de los mismos o combinaciones de los mismos.

60 La referencia a "cerda" en esta memoria se refiere a una varilla de forma cilíndrica que tiene una longitud mayor que su diámetro. Una cerda puede ser rígida, es decir, permanece prácticamente lineal frente a cualquier fuerza aplicada contra ella. Alternativamente, una cerda puede ser doblable en el sentido de que la cerda puede doblarse contra la superficie interior del equipo de proceso cuando un raspador en el que está contenida la cerda se coloca en el equipo de proceso y un extremo de la cerda es forzado contra la superficie interna.

La referencia a "sección de cerdas" en esta memoria se refiere a una colección de cerdas (rígidas, doblables o tanto rígidas como doblables).

La referencia a "completamente encapsulado" en esta memoria se refiere a estar completamente cubierto y rodeado.

La referencia a "parcialmente encapsulado" en esta memoria se refiere a una encapsulación inferior a la completa. Por ejemplo, una cerda que está "parcialmente encapsulada" por material polimérico significa que una parte de la cerda está completamente cubierta y rodeada por el material polimérico, mientras que el resto de la cerda no está cubierta y rodeada por el material polimérico.

El equipo de proceso que se limpia mediante la presente invención generalmente tiene una o más superficies internas en contacto con una reacción química que deposita coque en al menos una de las superficies internas. El o los raspadores flexibles de la presente invención son particularmente útiles para superficies internas que tienen una capa protectora de metal. Diversas capas protectoras de metal y métodos para aplicar recubrimientos, revestimientos u otras capas de metal aplicadas que contienen metal y curarlas para formar la capa protectora de metal se describen en las patentes de EE. UU. números 6,548,030, 5,406,014, 5,674,376, 5,676,821, 6,419,986, 6,551,660, 5,413,700, 5,593,571, 5,807,842, 5,849,969 y 8,119,203. Ejemplos de metales adecuados o compuestos que contienen metales que pueden usarse en una capa protectora de metal incluyen, sin limitación, compuestos de estaño como estannuros, antimonio como antimonuros, bismuto como bismuturos, silicio, plomo, mercurio, arsénico, germanio, indio, telurio, selenio, talio, cobre, cromo, aluminio, aleaciones intermetálicas o combinaciones de los mismos. El raspador flexible de la presente invención comprende una pluralidad de cerdas, en donde al menos una de la pluralidad de cerdas comprende una capa protectora de metal que contiene estannuro. Se contempla que las capas protectoras de metal que se pueden limpiar pueden o no estar presentes con el fin de inhibir la deposición de coque en la(s) superficie(s) interna(s) del equipo de proceso junto con la prevención de la carburación de metal y la formación de polvo metálico del metal subyacente. Por ejemplo, se pueden seleccionar y clasificar diversos compuestos metálicos útiles como capa protectora de metal según su resistencia a la carburación, al agrietamiento por corrosión bajo tensión por haluro, a la formación de polvo metálico, a la coquización, a otros mecanismos de degradación o a una combinación de los mismos. La capa protectora de metal puede tener un grosor entre aproximadamente 25 μm (1 mil) y aproximadamente 2,5 mm (100 mil).

En general, el uno o más raspadores flexibles pueden tener al menos una parte del mismo que tiene forma cilíndrica de modo que una pluralidad de cerdas de los raspadores flexibles entran en contacto y limpian las superficies internas del equipo de proceso a medida que el raspador flexible pasa a través del equipo de proceso (por ejemplo, un tubo de horno en un proceso de reformado catalítico). Los raspadores flexibles de la presente invención incluyen un cuerpo flexible formado de un material polimérico, en donde el cuerpo flexible comprende un cuerpo polimérico moldeado formado de un material polimérico, en donde el cuerpo polimérico moldeado comprende una parte axial y una pluralidad de partes radiales formadas en intervalos espaciados a lo largo de la parte axial, y en donde un diámetro de la parte axial es menor que un diámetro exterior de cada una de la pluralidad de partes radiales; y una pluralidad de cerdas en donde al menos una parte de cada una de la pluralidad de cerdas se encapsula parcialmente por el material polimérico del cuerpo polimérico moldeado; y en donde al menos una de la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) comprende una capa protectora de metal que contiene estannuro. Los diámetros exteriores del cuerpo flexible de los raspadores flexibles son generalmente más pequeños que el diámetro interior del equipo de proceso que se está descoquizando. Por ejemplo, el diámetro interior de un tubo de horno puede ser un tamaño nominal de tubería (NPS) de aproximadamente 80 milímetros, 90 milímetros o 100 milímetros (diámetro nominal (DN) de aproximadamente 3, 3,5 o 4 pulgadas), y el diámetro exterior del cuerpo flexible de un raspador flexible puede ser de aproximadamente 10 milímetros a aproximadamente 20 milímetros (aproximadamente 0,39 pulgadas a aproximadamente 0,78 pulgadas) menos que el diámetro interior del respectivo equipo de proceso. Las cerdas generalmente se extienden perpendicularmente a un eje longitudinal de un raspador flexible de tal manera que el diámetro de una sección de cerdas es de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 10 milímetros (aproximadamente 0,04 pulgadas a aproximadamente 0,39 pulgadas), de aproximadamente 3 milímetros a aproximadamente 7 milímetros (aproximadamente 0,12 pulgadas a aproximadamente 0,28 pulgadas) mayor que el diámetro interno del equipo de proceso que se está descoquizando (por ejemplo, el tubo del horno descrito anteriormente). La sección de cerdas es una colección de cerdas parcialmente encapsuladas por el material polimérico del cuerpo flexible (las secciones de cerdas se describen con más detalle a continuación). En esta memoria se analizan con más detalle las dimensiones del cuerpo flexible y de las cerdas en relación con el equipo de proceso.

El cuerpo flexible en combinación con la pluralidad de cerdas permite que los raspadores flexibles descritos se flexionen y pasen a través de tuberías, codos de tubo en forma de L (ángulos de 90°), curvas en forma de U (ángulos de 180°) y otras partes no lineales o en ángulo del equipo de proceso para eliminar los depósitos de coque de la superficie interna del equipo de proceso sin atascarse; sin rayar las superficies internas de los codos; y sin dañar la capa protectora de metal del equipo de proceso.

Las longitudes totales de los raspadores flexibles pueden ser mayores que la longitud de ruta de una zona de transición del equipo de proceso. El equipo de proceso puede incluir una zona de transición, a la que en esta memoria se hace referencia como una zona del equipo de proceso en la que la ruta de un raspador flexible no es lineal (por ejemplo, un codo de 90°). La longitud de ruta es la distancia que recorre el raspador flexible para pasar por la zona de transición,

medida a lo largo de un eje longitudinal del equipo de proceso. Por ejemplo, para un tubo de horno que tiene un codo de 90° que incluye una longitud de ruta de 0,61 m (2 pies), medida a lo largo del eje longitudinal del codo del tubo de horno, la longitud total del raspador flexible es de al menos 0,61 m (2 pies).

5 Haciendo referencia a la Figura 1, se muestra un raspador flexible 100. El raspador flexible 100 tiene un cuerpo flexible 110 hecho de un material polimérico y cerdas 120 parcialmente encapsuladas por el cuerpo flexible 110. El cuerpo flexible 110 puede incluir al menos un espaciador de espuma y, en la Figura 1, el cuerpo flexible 110 incluye cinco espaciadores de espuma 130 de forma cilíndrica. Las cerdas 120 se disponen en una o más secciones de cerdas 122, y en la Figura 1, el raspador flexible 100 incluye cuatro secciones de cerdas 122 con forma cilíndrica. Un cable flexible 10 140 (mostrado con líneas discontinuas) se extiende a lo largo de un eje longitudinal A del raspador flexible 100 y a través de los espaciadores de espuma de forma cilíndrica 130. El cable flexible 140 también se extiende a través de las secciones de cerdas de forma cilíndrica 122. En la Figura 1, el cable flexible 140 tiene un extremo 142 anclado a un extremo 102 del raspador flexible 100 y un extremo opuesto 144 anclado a un extremo opuesto 104 del raspador flexible 100.

15 Los cinco espaciadores de espuma de forma cilíndrica 130 se separan entre sí por las cuatro secciones de cerdas de forma cilíndrica 122 que contienen las cerdas 120. Se contempla cualquier número de espaciadores de espuma 130 y secciones de cerdas 122, y el número de espaciadores de espuma 130 y secciones de cerdas 122 que se muestra en la Figura 1 está pensado únicamente como ejemplo. En la Figura 1, los espaciadores de espuma 130 se hacen de una espuma de celda cerrada. La espuma de celda cerrada puede hacerse de un material polimérico como polietileno, polietileno reticulado, polipropileno, poliestireno, poliuretano, caucho, neopreno, copolímeros de los mismos o combinaciones de los mismos. La espuma de celda cerrada de los espaciadores de espuma 130 del cuerpo flexible 110 permite que el raspador flexible 100 se flexione y se doble a medida que el raspador flexible 100 pasa por las curvas y codos del equipo de proceso. La espuma de celda cerrada también proporciona una barrera de resistencia a la fuerza de fluido, lo que permite la propulsión del raspador flexible 100 a través del equipo de procesamiento mediante un fluido suministrado por una fuente de fluido. Es decir, al menos uno de los extremos (al menos uno o más del extremo 102 y el extremo opuesto 104) del raspador flexible 100 incluye un espaciador de espuma 130 para que el raspador flexible 100 pueda ser empujado a través del equipo de proceso por el fluido mientras limpia las superficies internas. Tanto el extremo 102 como el extremo opuesto 104 (como se muestra en la Figura 1) pueden incluir espaciadores de espuma 130 de modo que el raspador flexible 100 pueda pasar de un lado a otro sobre una parte deseada de la superficie interna del equipo de proceso alternando la aplicación de la fuerza del fluido entre el extremo 102 y el extremo opuesto 104 del raspador flexible 100.

35 El diámetro exterior de los espaciadores de espuma 130 es menor que el diámetro interior del equipo de proceso que se está limpiando. Por ejemplo, para un tubo de horno que tiene un diámetro interior de tamaño nominal de tubería (NPS) de aproximadamente 80 milímetros, 90 milímetros o 100 milímetros (diámetro nominal (DN) de aproximadamente 3, 3,5 o 4 pulgadas), el diámetro exterior de los espaciadores de espuma 130 del raspador flexible 100 puede ser de aproximadamente 10 milímetros a aproximadamente 20 milímetros (aproximadamente 0,39 pulgadas a aproximadamente 0,78 pulgadas) menos que el diámetro interior de tubo de horno respectivo. La longitud de los espaciadores de espuma 130 (medida a lo largo del eje longitudinal A del raspador flexible 100) puede ser de aproximadamente 12,7 milímetros a aproximadamente 127 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas a aproximadamente 5 pulgadas). En la Figura 1, la longitud de los espaciadores de espuma 130 es mayor que la longitud de las secciones de cerdas 122.

45 Una relación de longitud a diámetro (L/D) del raspador flexible 100 puede ser de aproximadamente 2:1 a aproximadamente 6:1; alternativamente de aproximadamente 3:1 a aproximadamente 5:1; alternativamente aproximadamente 4:1, para asegurar una transición hidráulica suave a través de las zonas de transición del equipo de proceso.

50 Cada uno de los espaciadores de espuma 130 tiene la misma longitud en la Figura 1, medida a lo largo del eje A; sin embargo, se contempla que al menos uno de los espaciadores de espuma 130 puede tener una longitud diferente de la longitud de al menos otro espaciador de espuma 130. Además, cada uno de los espaciadores de espuma 130 tiene el mismo material de espuma de celda cerrada en la Figura 1; sin embargo, se contempla que al menos uno de los espaciadores de espuma 130 esté hecho de un material de espuma de celda cerrada que sea diferente de la espuma de celda cerrada de al menos otro de los espaciadores de espuma 130.

60 Las cerdas 120 se incluyen en las cuatro secciones de cerdas 122. Las cerdas 120 de las secciones de cerdas 122 de la Figura 1 se disponen en la configuración de una rueda de cerdas o cepillo rotatorio (por ejemplo, las cerdas pueden extenderse radialmente hacia fuera perpendicularmente al eje longitudinal de una pieza central en forma de rosquilla). Cada una de las cerdas 120 tiene un diámetro de aproximadamente 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 o menos milímetros (aproximadamente 0,20, 0,16, 0,125, 0,08, 0,05, 0,016 o menos pulgadas). Las cerdas 120 pueden hacerse de metal, polímero o material natural. Entre los materiales metálicos para las cerdas 120 se incluyen acero inoxidable de grado superior al 304, como el acero inoxidable 316 y el acero inoxidable 321, y latón. Un ejemplo de un material polimérico para las cerdas 120 incluye nailon (incluido nailon-6, nailon-6,6 y nailon-6,12), poliéster, PEEK, polietileno y polipropileno. Los ejemplos de materiales naturales para cerdas 120 incluyen Tampico, Palmyra y Palmetto. Se contempla que una parte de las cerdas 120 sea de metal y otra parte de las cerdas 120 sea de nailon. Por ejemplo,

una de las secciones de cerdas 122 puede tener cerdas de nailon mientras que las otras secciones de cerdas 122 pueden tener cerdas de metal. También se contempla que una única sección de cerdas 122 pueda tener una o más cerdas de metal, cerdas de polímero, cerdas naturales o cualquier combinación de las mismas. Las cerdas 120 pueden no incluir hierro.

Las secciones de cerdas 122 se separan por los espaciadores de espuma 130 para proporcionar una holgura entre las secciones 122 que puede comprimirse y flexionarse, permitiendo así la flexión y el doblado del cuerpo flexible 110 del raspador 100 para adaptarse a los cambios en el contorno del equipo de proceso a medida que el raspador flexible 100 se mueve a través del equipo de proceso. La capacidad de los espaciadores de espuma 130 para comprimirse y flexionarse también obliga a las cerdas 120 a permanecer en contacto con la superficie interna del equipo de proceso.

En la Figura 1, cada una de las secciones de cerdas 122 tiene forma cilíndrica, y cada una de las cerdas 120 se extiende radialmente hacia fuera desde y perpendicularmente al eje longitudinal A de la respectiva sección de cerdas 122 en la que se encuentra la cerda. La longitud de las secciones de cerda 122 (medida a lo largo del eje longitudinal A del raspador flexible 100) puede ser de aproximadamente 12,7 milímetros a aproximadamente 127 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas a aproximadamente 5 pulgadas). En la Figura 1, la longitud de las secciones de cerdas 130 es mayor que la longitud de los espaciadores de espuma 122. Cada una de las secciones de cerdas 122 tiene la misma longitud, medida a lo largo del eje A; sin embargo, se contempla que las cerdas 120 puedan disponerse en secciones en las que al menos una sección tenga una longitud diferente en relación con al menos otra sección. Además, cada una de las secciones de cerdas 122 tiene la misma configuración de cerdas (por ejemplo, rueda de cerdas o cepillo rotatorios); sin embargo, se contempla que las cerdas 120 pueden disponerse en diversas configuraciones entre las secciones de cerdas 122 del raspador flexible 100 (por ejemplo, rueda de cerdas o cepillo rotatorios, configuración en espiral o combinaciones de las mismas).

Como se puede ver en la Figura 1, al menos un extremo de cada espaciador de espuma de forma cilíndrica 130 está en contacto con un extremo de al menos una sección de cerdas de forma cilíndrica 122. Los espaciadores de espuma 130 que se encuentran en el extremo 102 y el extremo opuesto 104 del raspador flexible 100 solo tienen un extremo que entra en contacto con una sección de cerdas 122. Los espaciadores de espuma 130 que no están en los extremos 102 y 104 del raspador flexible 100 entran en contacto con las secciones de cerdas 122 en ambos extremos de los espaciadores de espuma 130. Cada una de las secciones de cerdas 122 entra en contacto con un espaciador de espuma 130 en ambos extremos de la respectiva sección de cerdas 122.

En la presente invención, una capa protectora de metal que contiene estannuro está presente en al menos una de las cerdas 120. La capa protectora de metal de la(s) cerda(s) 120 puede ser la misma o diferente de la capa protectora de metal que protege la superficie interna del equipo de proceso.

Generalmente, la capa protectora de metal (MPL) se forma aplicando uno o más metales o compuestos que contienen metal a una cerda para formar una capa de metal aplicada (AML), que puede curarse posteriormente para formar la MPL. A continuación se describen en detalle las técnicas para aplicar la AML y curarlo para formar la MPL. Ejemplos de metales adecuados o compuestos que contienen metales que pueden usarse en una capa protectora de metal para las cerdas 120 incluyen, sin limitación, compuestos de estaño como estanniuros, antimonio como antimonuros, bismuto como bismuturos, silicio, plomo, mercurio, arsénico, germanio, indio, telurio, selenio, talio, cobre, cromo, aluminio, aleaciones intermetálicas o combinaciones de los mismos. La inclusión de una capa protectora de metal en al menos una de las cerdas 120 permite que las cerdas 120 transfieran una pequeña cantidad de capa protectora de metal a las superficies internas del equipo de proceso además de eliminar depósitos de coque sin dañar la capa protectora de metal de las superficies internas del equipo de proceso.

La dureza de la(s) cerda(s) 120 que tienen una capa protectora de metal es igual o menor que la dureza de una capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso.

Como se puede ver en la Figura 1, el cable flexible 140 del raspador flexible 100 se extiende a lo largo del eje longitudinal A y a través de las secciones de cerdas 122 y los espaciadores de espuma 130. El cable flexible 140 puede hacerse de un material que comprende polímero, acero o una combinación de polímero y acero, y opcionalmente configurado como una cuerda, fibras, enlaces o combinaciones de los mismos, que forman el cable.

El anclaje del extremo 142 y del extremo opuesto 144 del cable flexible puede realizarse mediante cualquier técnica conocida en la técnica con la ayuda de esta divulgación. Por ejemplo, el extremo 142 del cable flexible 140 puede anclarse mediante una arandela 146 y una tuerca o perno 148 (ambos mostrados en líneas discontinuas) que se colocan en una parte roscada del extremo 142 del cable flexible 140. La arandela 146, la tuerca o el perno 148, o ambos, pueden unirse (por ejemplo, soldados para un cable flexible de metal o cohesionarse para un cable flexible polimérico) al extremo 142 del cable flexible 140 para mantener juntos el cuerpo flexible 110 y las cerdas 120 como una unidad durante la limpieza de depósitos de coque. El extremo opuesto 144 del cable flexible 140 puede anclarse mediante una arandela 147 y una tuerca o perno 149 (ambos mostrados en líneas discontinuas) que se colocan en una parte roscada del extremo opuesto 144 del cable flexible 140. La arandela 147, la tuerca o el perno 149, o ambos, pueden unirse (por ejemplo, soldados para un cable flexible de metal o cohesionarse para un cable flexible polimérico) al extremo opuesto 144 del cable flexible 140 de modo que el cuerpo flexible 110 y las cerdas 120 no se separan.

durante la limpieza de depósitos de coque.

También se pueden utilizar adhesivos entre las secciones de cerdas 122, entre los espaciadores de espuma 130, entre las secciones de cerdas adyacentes 122 y los espaciadores de espuma 130, o una combinación de los mismos.

El uso de un adhesivo de esta manera puede evitar la rotación de las secciones de cerdas 122 y los espaciadores de espuma 130 en diferentes direcciones, y evitar el desgaste excesivo de las cerdas 120 asociado con la rotación excesiva dentro del equipo de proceso.

El extremo 102 del raspador flexible 100 puede recubrirse con un polímero duradero 150 o cubierto con una tapa de extremo polimérica de modo que las superficies metálicas del extremo asegurado 142 del cable flexible 140 (por ejemplo, la arandela 146 y la tuerca o perno 148 en la Figura 1) no dañen la capa protectora de metal que protege la superficie interna del equipo de proceso que se está limpiando. El extremo opuesto 104 del raspador flexible 100 puede recubrirse con un polímero duradero 152 y/o cubierto con una tapa de extremo polimérica de modo que las superficies metálicas del extremo asegurado 144 del cable flexible 140 (por ejemplo, la arandela 147 y la tuerca o perno 149 en la Figura 1) no dañen la capa protectora de metal que protege la superficie interna del equipo de proceso que se está limpiando. Si es necesario, la tapa de extremo polimérica o de polímero duradero se puede unir al extremo 102 y al extremo opuesto 104 del raspador flexible 100 mediante adhesivo, pernos, tornillos, imanes o combinaciones de los mismos. El recubrimiento de polímero duradero o la tapa de extremo polimérica se pueden moldear de tal manera que la cara exterior sea cóncava (por ejemplo, con forma de copa de delantal o disco cóncavo) con el fin de capturar más fuerza de la fuerza de fluido contra el raspador flexible 100.

Haciendo referencia a la Figura 2, se muestra un raspador flexible 200. El raspador flexible 200 tiene un cuerpo flexible 210 formado de un material polimérico y cerdas 220 parcialmente encapsuladas por el material polimérico del cuerpo flexible 210. El cuerpo flexible 210 puede incluir al menos un espaciador de espuma y, en la Figura 2, el cuerpo flexible 210 incluye cuatro espaciadores de espuma 230 de forma cilíndrica. Las cerdas 220 se disponen en una o más secciones de cerdas 222, y en la Figura 2, el raspador flexible 200 incluye tres secciones de cerdas 222 con forma cilíndrica. Un cable flexible 240 (mostrado con líneas discontinuas) se extiende a lo largo de un eje longitudinal B del raspador flexible 200 y a través de los espaciadores de espuma de forma cilíndrica 230. El cable flexible 240 también se extiende a través de las secciones de cerdas de forma cilíndrica 222. En la Figura 2, el cable flexible 240 tiene un extremo 242 anclado a un extremo 202 del raspador flexible 200 y un extremo opuesto 244 anclado a un extremo opuesto 204 del raspador flexible 200.

Los cuatro espaciadores de espuma de forma cilíndrica 230 se separan entre sí por tres secciones de cerdas de forma cilíndrica 222 que contienen las cerdas 220. Se contempla cualquier número de espaciadores de espuma 230 y secciones de cerdas 222, y el número de espaciadores de espuma 230 y secciones de cerdas 222 que se muestra en la Figura 2 está pensado únicamente como ejemplo. Al igual que el raspador flexible 100 de la Figura 1, los espaciadores de espuma 230 de la Figura 2 se hacen de una espuma de celda cerrada que se hace de un material polimérico tal como polietileno, polietileno reticulado, polipropileno, poliestireno, poliuretano, caucho, neopreno, copolímeros de los mismos o combinaciones de los mismos. La espuma de celda cerrada de los espaciadores de espuma 230 del cuerpo flexible 210 permite que el raspador flexible 200 se flexione y se doble a medida que el raspador flexible 200 pasa a través de curvas y codos del equipo de proceso. La espuma de celda cerrada también proporciona una barrera de resistencia a un fluido, lo que permite la propulsión del raspador flexible 200 a través del equipo de procesamiento mediante el fluido. Es decir, al menos uno de los extremos (al menos uno o más del extremo 202 y el extremo opuesto 204) del raspador flexible 200 incluye un espaciador de espuma 230 para que el raspador flexible 200 pueda ser empujado a través del equipo de proceso por el fluido para limpiar las superficies internas. Tanto el extremo 202 como el extremo opuesto 204 (como se muestra en la Figura 2) pueden incluir espaciadores de espuma 230 de modo que el raspador flexible 200 pueda pasar de un lado a otro sobre una parte deseada de la superficie interna del equipo de proceso alternando la aplicación de la fuerza del fluido entre el extremo 202 y el extremo opuesto 204 del raspador flexible 200.

El diámetro exterior de los espaciadores de espuma 230 es menor que el diámetro interior del equipo de proceso que se está limpiando. Por ejemplo, para un tubo de horno que tiene un diámetro interior de tamaño nominal de tubería (NPS) de aproximadamente 80 milímetros, 90 milímetros o 100 milímetros (diámetro nominal (DN) de aproximadamente 3, 3,5 o 4 pulgadas), el diámetro exterior de los espaciadores de espuma 230 del raspador flexible 200 puede ser de aproximadamente 10 milímetros a aproximadamente 20 milímetros (aproximadamente 0,39 pulgadas a aproximadamente 0,78 pulgadas) menos que el diámetro interior de tubo de horno respectivo. La longitud de los espaciadores de espuma 230 (medida a lo largo del eje longitudinal B del raspador flexible 200) puede ser de aproximadamente 12,7 milímetros a aproximadamente 127 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas a aproximadamente 5 pulgadas). En la Figura 2, la longitud de los espaciadores de espuma 230 es mayor que la longitud de las secciones de cerdas 222.

Una relación de longitud a diámetro (L/D) del raspador flexible 200 puede ser de aproximadamente 2:1 a aproximadamente 6:1; alternativamente de aproximadamente 3:1 a aproximadamente 5:1; alternativamente aproximadamente 4:1, para asegurar una transición hidráulica suave a través de las zonas de transición del equipo de proceso.

Cada uno de los espaciadores de espuma 230 tiene la misma longitud en la Figura 2, medida a lo largo del eje B; sin embargo, se contempla que al menos uno de los espaciadores de espuma 230 puede tener una longitud diferente de la longitud de al menos otro espaciador de espuma 230. Además, cada uno de los espaciadores de espuma 230 tiene el mismo material de espuma de celda cerrada en la Figura 2; sin embargo, se contempla que al menos uno de los espaciadores de espuma 230 esté hecho de un material de espuma de celda cerrada que sea diferente del material de espuma de celda cerrada de al menos otro de los espaciadores de espuma 230.

Las cerdas 220 se incluyen en las tres secciones de cerdas 222. Las cerdas 220 de las secciones de cerdas 222 de la Figura 2 se disponen en la configuración de una bobina de cerdas en espiral 221 o cepillo (por ejemplo, las cerdas pueden extenderse radialmente hacia fuera perpendicularmente al eje longitudinal de una pieza central en forma de rosquilla). Cada una de las cerdas 220 tiene un diámetro de aproximadamente 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 o menos milímetros (aproximadamente 0,20, 0,16, 0,125, 0,08, 0,05, 0,016 o menos pulgadas). Las cerdas 220 pueden hacerse de metal, polímero o material natural. Entre los materiales metálicos para las cerdas 220 se incluyen acero inoxidable de grado superior al 304, como el acero inoxidable 316 y el acero inoxidable 321, y latón. Un ejemplo de un material polimérico para las cerdas 220 incluye nailon (incluido nailon-6, nailon-6,6 y nailon-6,12), poliéster, PEEK, polietileno y polipropileno. Los ejemplos de materiales naturales para cerdas 220 incluyen Tampico, Palmyra y Palmetto. Se contempla que una parte de las cerdas 220 sea de metal y otra parte de las cerdas 220 sea de nailon. Por ejemplo, una de las secciones de cerdas 222 puede tener cerdas de nailon mientras que las otras secciones de cerdas 222 pueden tener cerdas de metal. También se contempla que una única sección de cerdas 222 pueda tener una o más cerdas de metal, cerdas de polímero, cerdas naturales o cualquier combinación de las mismas. Las cerdas 220 pueden no incluir hierro.

Las secciones de cerdas 222 se separan por los espaciadores de espuma 230 para proporcionar una holgura entre las secciones 222 que puede comprimirse y flexionarse, doblando y flexionando así el cuerpo flexible 210 del raspador 200 para adaptarse a los cambios en el contorno del equipo de proceso a medida que el raspador flexible 200 se mueve a través del equipo de proceso. La capacidad de los espaciadores de espuma 230 para comprimirse y flexionarse también obliga a las cerdas 220 a permanecer en contacto con la superficie interna del equipo de proceso.

En la Figura 2, cada una de las secciones de cerdas 222 tiene forma cilíndrica, y cada una de las cerdas 220 se extiende radialmente hacia fuera desde y perpendicularmente al eje longitudinal B de la respectiva sección de cerdas 222 en la que se encuentra la cerda. La longitud de las secciones de cerda 222 (medida a lo largo del eje longitudinal B del raspador flexible 200) puede ser de aproximadamente 12,7 milímetros a aproximadamente 127 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas a aproximadamente 5 pulgadas). En la Figura 2, la longitud de las secciones de cerdas 222 es mayor que la longitud de los espaciadores de espuma 230. Cada una de las secciones de cerdas 222 tiene la misma longitud, medida a lo largo del eje B; sin embargo, se contempla que las cerdas 220 puedan disponerse en secciones en las que al menos una sección tenga una longitud diferente en relación con al menos otra sección. Además, cada una de las secciones de cerdas 222 tiene la misma configuración de cerdas (por ejemplo, bobina en espiral o cepillo en espiral); sin embargo, se contempla que las cerdas 220 pueden disponerse en diversas configuraciones entre las secciones de cerdas 222 del raspador flexible 200 (por ejemplo, rueda o cepillo rotatorios, bobina en espiral o cepillo o combinaciones de las mismas).

Como se puede ver en la Figura 2, al menos un extremo de cada espaciador de espuma de forma cilíndrica 230 está en contacto con un extremo de al menos una sección de cerdas de forma cilíndrica 222. Los espaciadores de espuma 230 que se encuentran en el extremo 202 y el extremo opuesto 204 del raspador flexible 200 solo tienen un extremo que entra en contacto con una sección de cerdas 222. Los espaciadores de espuma 230 que no están en los extremos 202 y 204 del raspador flexible 200 entran en contacto con las secciones de cerdas 222 en ambos extremos de los espaciadores de espuma 230. Cada una de las secciones de cerdas 222 entra en contacto con un espaciador de espuma 230 en ambos extremos de la respectiva sección de cerdas 222.

En la presente invención, una capa protectora de metal que contiene estannuro está presente en al menos una de las cerdas 220. La capa protectora de metal de la(s) cerda(s) 220 puede ser la misma o diferente de la capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso. Generalmente, la capa protectora de metal (MPL) se forma aplicando uno o más metales o compuestos que contienen metal a una cerda para formar una capa de metal aplicada (AML), que puede curarse posteriormente para formar la MPL. A continuación se describen en detalle las técnicas para aplicar la AML y curarlo para formar la MPL. La MPL de las cerdas 220 del raspador flexible 200 incluye las mismas características que las descritas para la MPL de las cerdas 120 del raspador flexible 100. La inclusión de una MPL en las cerdas 220 permite que las cerdas 220 apliquen una pequeña cantidad de metal protector a las superficies internas del equipo de proceso además de eliminar depósitos de coque (por ejemplo, floraciones de coque) sin dañar la capa protectora de metal de las superficies internas del equipo de proceso.

Como se puede ver en la Figura 2, el cable flexible 240 del raspador flexible 200 se extiende a lo largo del eje longitudinal B y a través de las secciones de cerdas 222 y los espaciadores de espuma 230. El cable flexible 240 puede hacerse de un material que comprende polímero, acero o una combinación de polímero y acero, y opcionalmente configurado como una cuerda, fibras, enlaces o combinaciones de los mismos, que forman el cable.

El anclaje del extremo 242 y del extremo opuesto 244 puede realizarse mediante cualquier técnica conocida en la

técnica con la ayuda de esta divulgación. Por ejemplo, el extremo 242 del cable flexible 240 puede anclarse mediante una arandela 246 y una tuerca o perno 248 (ambos mostrados en líneas discontinuas) que se colocan en una parte roscada del extremo 242 del cable flexible 240. La arandela 246, la tuerca o el perno 248, o ambos, pueden unirse (por ejemplo, soldados para un cable flexible de metal o cohesionarse para un cable flexible polimérico) al extremo 242 del cable flexible 240 para mantener juntos el cuerpo flexible 210 y las cerdas 220 como una unidad durante la limpieza de depósitos de coque. El extremo opuesto 244 del cable flexible 240 puede anclarse mediante una arandela 247 y una tuerca o perno 249 (ambos mostrados en líneas discontinuas) que se colocan en una parte roscada del extremo opuesto 244 del cable flexible 240. La arandela 247, la tuerca 249, o ambos, pueden unirse (por ejemplo, soldados para un cable flexible de metal o cohesionarse para un cable flexible polimérico) al extremo opuesto 244 del cable flexible 240 de modo que el cuerpo flexible 210 y las cerdas 220 no se separan durante la limpieza de depósitos de coque.

También se pueden utilizar adhesivos entre las secciones de cerdas 222, entre los espaciadores de espuma 230, entre las secciones de cerdas adyacentes 222 y los espaciadores de espuma 230, o una combinación de los mismos. El uso de un adhesivo de esta manera puede evitar la rotación de las secciones de cerdas 222 y los espaciadores de espuma 230 en diferentes direcciones, y evitar el desgaste excesivo de las cerdas 220 asociado con la rotación excesiva dentro del equipo de proceso.

El extremo 202 del raspador flexible 200 puede recubrirse con un polímero duradero 250 o cubierto con una tapa de extremo polimérica de modo que las superficies metálicas del extremo asegurado 242 del cable flexible 240 (por ejemplo, la arandela 246 y la tuerca o perno 248 en la Figura 2) no dañen la capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso que se está limpiando. El extremo opuesto 204 del raspador flexible 200 puede recubrirse con un polímero duradero 252 y/o cubierto con una tapa de extremo polimérica de modo que las superficies metálicas del extremo asegurado 244 del cable flexible 240 (por ejemplo, la arandela 247 y la tuerca o perno 249 en la Figura 2) no dañen la capa protectora de metal que protege la superficie interna del equipo de proceso que se está limpiando. Si es necesario, la tapa de extremo polimérica o de polímero duradero se puede unir al extremo 202 y al extremo opuesto 204 del raspador flexible 200 mediante adhesivo, pernos, tornillos, imanes o combinaciones de los mismos. El recubrimiento de polímero duradero o la tapa de extremo polimérica se pueden moldear de tal manera que la cara exterior sea cóncava (por ejemplo, con forma de copa de delantal o disco cóncavo) con el fin de capturar más fuerza del fluido contra el raspador flexible 200.

Además de los raspadores flexibles 100 y 200 mostrados en las Figuras 1 y 2, las cerdas 120 del raspador flexible 100 y las cerdas 220 del raspador flexible 200 pueden estar en una combinación de configuraciones de espiral, cepillo rotatorio y rueda rotatoria.

Haciendo referencia a la Figura 3, se muestra un raspador flexible 300. El raspador flexible 300 tiene un cuerpo flexible 310 hecho de un material polimérico y cerdas 320 parcialmente encapsuladas por el material polimérico. En particular, al menos una parte de cada una de la pluralidad de cerdas 320 se encapsula parcialmente por el material polimérico del cuerpo flexible 310. Las cerdas 320 se disponen en una o más secciones de cerdas 322, y en la Figura 3, el raspador flexible 300 incluye cinco secciones de cerdas 322.

El cuerpo flexible 310 en la Figura 3 es un cuerpo polimérico moldeado formado de un material polimérico tal como polietileno, polietileno reticulado, polipropileno, poliestireno, neopreno, poliuretano, caucho, copolímeros de los mismos o combinaciones de los mismos. Como se puede observar, al menos una parte de cada una de las cerdas 320 se encapsula parcialmente por el material polimérico del cuerpo polimérico moldeado. El cuerpo flexible 310 incluye una parte axial 312 y partes radiales 314 formadas en intervalos espaciados a lo largo de la parte axial 312. Generalmente, las partes radiales 314 se extienden desde la parte axial 312 en una dirección perpendicular a un eje longitudinal C del raspador flexible 300. La forma de las partes radiales 314 puede tener forma de disco, con la parte axial 312 extendiéndose a través del centro de las partes radiales 314. En la Figura 3, el cuerpo flexible 310 se forma con cinco partes radiales 314. Sin embargo, se contempla que se puede formar cualquier número de partes radiales en el cuerpo polimérico moldeado. Las oquedades 316 que están presentes como resultado de la formación de las partes radiales 314 en intervalos espaciados proporcionan espacio para que las partes radiales 314 se doblen y/o flexionen en ángulos con respecto a la parte axial 312 distintos de los perpendiculares, al pasar el raspador flexible 300 a través de un equipo de proceso que incluye curvas y dobleces, como un codo de tubería o tubo.

Al menos una de las partes radiales 314 proporciona una barrera de resistencia a un fluido que permite la propulsión del raspador flexible 300 a través del equipo de procesamiento por la fuerza del fluido. Es decir, al menos uno de los extremos (al menos uno o más del extremo 302 y el extremo opuesto 304) del raspador flexible 300 incluye una parte radial 314 para que el raspador flexible 300 pueda ser empujado a través del equipo de proceso por la fuerza de fluido para limpiar las superficies internas. Tanto el extremo 302 como el extremo opuesto 304 pueden incluir partes radiales 314 (como se muestra en la Figura 3) de modo que el raspador flexible 300 pueda pasar de un lado a otro sobre una parte deseada de la superficie interna del equipo de proceso alternando la aplicación de la fuerza del fluido entre el extremo 302 y el extremo opuesto 304 del raspador flexible 300.

El diámetro exterior del cuerpo flexible 310 es menor que el diámetro interior del equipo de proceso que se está limpiando. Por ejemplo, para un tubo de horno que tiene un diámetro interior de tamaño nominal de tubería (NPS) de

- aproximadamente 80 milímetros, 90 milímetros o 100 milímetros (diámetro nominal (DN) de aproximadamente 3, 3,5 o 4 pulgadas), el diámetro exterior del cuerpo flexible 310 puede ser de aproximadamente 10 milímetros a aproximadamente 20 milímetros (aproximadamente 0,39 pulgadas a aproximadamente 0,78 pulgadas) menos que el diámetro interior de tubo de horno respectivo. La longitud de cada una de las partes radiales 314 (medida a lo largo del eje longitudinal C del raspador flexible 300) puede ser de aproximadamente 12,7 milímetros a aproximadamente 127 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas a aproximadamente 5 pulgadas). En la Figura 3, la longitud de las partes radiales 314 es menor que la longitud de las oquedades 316; sin embargo, se contempla que la longitud de al menos una de las partes radiales 314 puede ser mayor que la longitud de al menos uno de las oquedades 316.
- Una relación de longitud a diámetro (L/D) del raspador flexible 300 puede ser de aproximadamente 2:1 a aproximadamente 6:1; alternativamente de aproximadamente 3:1 a aproximadamente 5:1; alternativamente aproximadamente 4:1, para asegurar una transición hidráulica suave a través de las zonas de transición del equipo de proceso.
- Una relación entre la longitud de las partes radiales 314 y la longitud de las oquedades 316 (relación R/V) puede ser un valor en un intervalo de aproximadamente 1:8 a aproximadamente 8:1.

Cada una de las partes radiales 314 tiene la misma longitud en la Figura 3, medida a lo largo del eje C; sin embargo, se contempla que al menos una de las partes radiales 314 puede tener una longitud diferente de al menos otra parte radial 314. Además, cada una de las partes radiales 314 se hace del mismo material en la Figura 3; sin embargo, se contempla que al menos una de las partes radiales 314 se haga de un primer material (por ejemplo, uno de los descritos aquí para el cuerpo flexible 310) que es diferente de un segundo material de al menos otra de las partes radiales 314. Se entiende que la longitud de las oquedades 316 (medida a lo largo del eje longitudinal C del raspador flexible 300) puede variar según la longitud elegida y el espaciamiento de las partes radiales 314.

Al menos una parte de cada una de la pluralidad de cerdas 320 del raspador flexible 300 se encapsula parcialmente por el material polimérico en las partes radiales 314, y al menos una parte puede encapsularse parcialmente por el material polimérico tanto en las partes radiales 314 como en la parte axial 312 del cuerpo flexible 310. Las cerdas 320 parcialmente encapsuladas por el material polimérico en las partes radiales 314 pueden denominarse colectivamente secciones de cerdas 322 del cuerpo flexible 310. En la Figura 3, las cerdas 320 se incluyen en cinco secciones de cerdas 322; sin embargo, al igual que con las partes radiales 314, se contempla cualquier número de secciones de cerdas 322.

Las cerdas 320 de las secciones de cerdas 322 en la Figura 3 se disponen en la configuración de un cepillo de cerdas (por ejemplo, una parte de las cerdas 320 se agrupan en cada sección de cerdas 322 y cada una de las cerdas 320 se extiende radialmente hacia fuera perpendicular al eje longitudinal C del raspador flexible 300) de tal manera que solo un extremo de cada cerda 320 se utiliza para limpiar el equipo de proceso. También se contempla que una o más de las cerdas 320 puedan extenderse a través de todo el diámetro del raspador flexible 300 de tal manera que ambos extremos de dichas cerdas se extiendan fuera del cuerpo flexible 310 para limpiar el equipo de proceso.

Cada una de las cerdas 320 tiene un diámetro de aproximadamente 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 o menos milímetros (aproximadamente 0,20, 0,16, 0,125, 0,08, 0,05, 0,016 o menos pulgadas). Las cerdas 320 pueden hacerse de metal, polímero o materiales naturales. Ejemplos de materiales metálicos para las cerdas 320 incluyen acero inoxidable superior al acero inoxidable 304, como acero inoxidable 316 y acero inoxidable 321, y latón. Un ejemplo de un material polimérico para las cerdas 320 incluye nailon (incluido nailon-6, nailon-6,6 y nailon-6,12), poliéster, PEEK, polietileno y polipropileno. Los ejemplos de materiales naturales para cerdas 120 incluyen Tampico, Palmyra y Palmetto. Se contempla que una parte de las cerdas 320 sea de metal y otra parte de las cerdas 320 sea de nailon. Por ejemplo, una de las secciones de cerdas 322 puede tener cerdas de nailon mientras que las otras secciones de cerdas 322 pueden tener cerdas de metal. También se contempla que una única sección de cerdas 322 pueda tener una o más cerdas de metal, cerdas de polímero, cerdas naturales o cualquier combinación de las mismas. Las cerdas 320 pueden no incluir hierro.

En la Figura 3, cada una de las secciones de cerdas 322 toma la forma de las partes radiales 314, y cada una de las cerdas 320 se extiende radialmente hacia fuera desde y perpendicularmente al eje longitudinal C del raspador flexible 300. La longitud de las secciones de cerda 322 (medida a lo largo del eje longitudinal C del raspador flexible 300) puede ser de aproximadamente 12,7 milímetros a aproximadamente 127 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas a aproximadamente 5 pulgadas). En la Figura 3, la longitud de las secciones de cerdas 322 es menor que la longitud de las oquedades 316. Cada una de las secciones de cerdas 322 tiene la misma longitud, medida a lo largo del eje C; sin embargo, se contempla que las cerdas 320 puedan disponerse en secciones en las que al menos una sección tenga una longitud diferente en relación con una longitud de al menos otra sección. Además, cada una de las secciones de cerdas 322 tiene la misma configuración de cerdas (por ejemplo, un cepillo); sin embargo, se contempla que las cerdas 320 pueden disponerse en diversas configuraciones entre las secciones de cerdas 322 del raspador flexible 300 (por ejemplo, configuración de cepillo o bobina en espiral, configuración de cepillo o rueda rotatoria o combinaciones de las mismas).

Una capa protectora de metal está presente en al menos una parte de al menos una de las cerdas 320. La capa

protectora de metal de la(s) cerda(s) 320 puede ser la misma o diferente de la capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso. Generalmente, la capa protectora de metal (MPL) se forma aplicando uno o más metales o compuestos que contienen metal a una cerda para formar una capa de metal aplicada (AML), que puede curarse posteriormente para formar la MPL. A continuación se describen en detalle las técnicas para aplicar la AML y curarlo para formar la MPL. La MPL de las cerdas 320 del raspador flexible 300 incluye las mismas características que las descritas para la MPL de las cerdas 120 del raspador flexible 100. La inclusión de una MPL en las cerdas 320 permite que las cerdas 320 apliquen una pequeña cantidad de metal protector a las superficies internas del equipo de proceso además de eliminar depósitos de coque (por ejemplo, floraciones de coque) sin dañar la capa protectora de metal de las superficies internas del equipo de proceso.

Como se puede ver en la Figura 3, el raspador flexible 300 no incluye un cable flexible porque el cuerpo flexible 310 es una sola pieza de polímero moldeado. Sin embargo, se contempla que pueda estar presente un enlace central en el raspador flexible 300. El enlace central puede anclar las cerdas 320 en el raspador flexible 300. El enlace central puede encapsularse completamente por el material polimérico del cuerpo flexible 310 y puede extenderse dentro de la parte axial 312 a lo largo del eje longitudinal C del raspador flexible 300 desde el extremo 302 hasta el extremo opuesto 304 del raspador flexible 300. El enlace central puede ser una cadena o cualquier otro medio para anclar las cerdas 320 dentro del cuerpo flexible 310. Por ejemplo, el enlace central también puede realizarse como el cable flexible de las Figuras 1 y 2, excepto que las cerdas 320 se anclan/unen al cable flexible. El cable flexible se puede utilizar para mejorar la rigidez del cuerpo flexible 310, con o sin anclar las cerdas 320 al cable flexible.

Debido a que el cuerpo flexible 310 del raspador flexible 300 se hace de un material polimérico moldeado y no incluye un cable flexible, no hay necesidad de encapsular los extremos 302 y 304 del raspador flexible 300 en el material polimérico o de usar una tapa de extremo polimérica. Cuando el raspador flexible 300 utiliza un cable flexible, se pueden utilizar tapas de extremo de la misma manera que se describe en esta memoria para los raspadores flexibles 100 y/o 200.

Haciendo referencia a la Figura 4, se muestra un raspador flexible 400. El raspador flexible 400 tiene un cuerpo flexible 410 y cerdas 420 parcialmente encapsuladas por el material polimérico del cuerpo flexible 410. En particular, al menos una parte de las cerdas 420 se encapsula parcialmente por el material polimérico del cuerpo flexible 410. Las cerdas 420 se disponen en una o más secciones de cerdas 422, y en la Figura 4, el raspador flexible 400 incluye cuatro secciones de cerdas 422.

Como el cuerpo flexible 310 en la Figura 3, el cuerpo flexible 410 de la Figura 4 es un cuerpo polimérico moldeado formado de un material polimérico tal como polietileno, polietileno reticulado, polipropileno, poliestireno, neopreno, poliuretano, caucho, copolímeros de los mismos o combinaciones de los mismos. Como se puede observar, al menos una parte de cada una de las cerdas 420 se encapsula parcialmente por el material polimérico del cuerpo polimérico moldeado. El cuerpo flexible 410 incluye una parte axial 412 y partes radiales 414 formadas en intervalos espaciados a lo largo de la parte axial 412. Generalmente, las partes radiales 414 se extienden desde la parte axial 412 en una dirección perpendicular a un eje longitudinal D del raspador flexible 400. La forma de las partes radiales 414 puede tener forma de disco, con la parte axial 412 extendiéndose a través del centro de las partes radiales 414. En la Figura 4, el cuerpo flexible 410 se forma con cinco partes radiales 414. Sin embargo, se contempla que se puede formar cualquier número de partes radiales en un cuerpo polimérico moldeado. Las oquedades 416 que están presentes como resultado de la formación de las partes radiales 414 en intervalos espaciados proporcionan espacio para que las partes radiales 414 se doblen y/o flexionen en ángulos con respecto a la parte axial 412 distintos de los perpendiculares, al pasar el raspador flexible 400 a través de un equipo de proceso que incluye curvas y dobleces, como un codo de tubería o tubo.

Al menos una de las partes radiales 414 proporciona una barrera de resistencia a un fluido que permite la propulsión del raspador flexible 400 a través del equipo de procesamiento a través del fluido suministrado por la fuente de fluido. Es decir, al menos uno de los extremos (al menos uno o más del extremo 402 y el extremo opuesto 404) del raspador flexible 400 incluye una parte radial 414 para que el raspador flexible 400 pueda ser empujado a través del equipo de proceso por la fuerza de fluido para limpiar las superficies internas. Tanto el extremo 402 como el extremo opuesto 404 pueden incluir partes radiales 414 (como se muestra en la Figura 4) de modo que el raspador flexible 400 pueda pasar de un lado a otro sobre una parte deseada de la superficie interna del equipo de proceso alternando la aplicación de la fuerza del fluido entre el extremo 402 y el extremo opuesto 404 del raspador flexible 400.

El diámetro exterior del cuerpo flexible 410 es menor que el diámetro interior del equipo de proceso que se está limpiando. Por ejemplo, para un tubo de horno que tiene un diámetro interior de tamaño nominal de tubería (NPS) de aproximadamente 80 milímetros, 90 milímetros o 100 milímetros (diámetro nominal (DN) de aproximadamente 3, 3,5 o 4 pulgadas), el diámetro exterior del cuerpo flexible 410 puede ser de aproximadamente 10 milímetros a aproximadamente 20 milímetros (aproximadamente 0,39 pulgadas a aproximadamente 0,78 pulgadas) menos que el diámetro interior de tubo de horno respectivo. La longitud de cada una de las partes radiales 414 (medida a lo largo del eje longitudinal D del raspador flexible 300) puede ser de aproximadamente 12,7 milímetros a aproximadamente 127 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas a aproximadamente 5 pulgadas). En la Figura 4, la longitud de las partes radiales 414 es menor que la longitud de las oquedades 416; sin embargo, se contempla que la longitud de al menos una de las partes radiales 414 puede ser mayor que la longitud de al menos uno de las oquedades 416.

Una relación de longitud a diámetro (L/D) del raspador flexible 400 puede ser de aproximadamente 2:1 a aproximadamente 6:1; alternativamente de aproximadamente 3:1 a aproximadamente 5:1; alternativamente aproximadamente 4:1, para asegurar una transición hidráulica suave a través de las zonas de transición del equipo de proceso.

Cada una de las partes radiales 414 tiene la misma longitud en la Figura 4, medida a lo largo del eje D; sin embargo, se contempla que al menos una de las partes radiales 414 puede tener una longitud diferente de al menos otra parte radial 414. Además, cada una de las partes radiales 414 se hace del mismo material en la Figura 4; sin embargo, se contempla que al menos una de las partes radiales 414 se haga de un primer material (por ejemplo, uno de los descritos aquí para el cuerpo flexible 410) que es diferente de un segundo material de al menos otra de las partes radiales 414. Se entiende que la longitud de las oquedades 416 puede variar según la longitud elegida y el espaciado de las partes radiales 414.

El raspador flexible 400 en la Figura 4 incluye las cerdas 420 en donde al menos una parte de cada una de las cerdas se encapsula parcialmente por el material polimérico de solo la parte axial 412 del cuerpo flexible 410 de tal manera que las cerdas 420 se extienden hacia fuera de la parte axial 412 y dentro de las oquedades 416 del cuerpo flexible 410. Sin embargo, se contempla que al menos una parte de cada una de las cerdas 420 puede encapsularse parcialmente en el material polimérico de secciones del cuerpo flexible 310 de tal manera que algunas o todas las cerdas 420 se extiendan dentro de solo las partes radiales 414, tanto las partes radiales 414 como la parte axial 412 del cuerpo flexible 410, solo la parte axial 412 (como se muestra en la Figura 4), o combinaciones de las mismas. Las cerdas 420 parcialmente encapsuladas en el material polimérico de la parte axial 412 y que se extienden dentro de cada oquedad 416 pueden denominarse colectivamente secciones de cerdas 422 del cuerpo flexible 410. En la Figura 4, las cerdas 420 se incluyen en cuatro secciones de cerdas 422; sin embargo, al igual que con las partes radiales 414, se contempla cualquier número de secciones de cerdas 422.

Las cerdas 420 de las secciones de cerdas 422 en la Figura 4 se disponen en la configuración de un cepillo de cerdas (por ejemplo, una parte de las cerdas 420 se agrupan en cada sección de cerdas 422 y cada una de las cerdas 420 se extiende radialmente hacia fuera perpendicular al eje longitudinal D del raspador flexible 400) de tal manera que solo un extremo de cada cerda 420 se utiliza para limpiar el equipo de proceso. También se contempla que las cerdas 420 se extiendan a través de todo el diámetro de la parte axial 412 del raspador flexible 400 de tal manera que ambos extremos de dichas cerdas se extiendan fuera del cuerpo flexible 410 para limpiar el equipo de proceso.

Cada una de las cerdas 420 en la Figura 4 tiene un diámetro de aproximadamente 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 o menos milímetros (aproximadamente 0,20, 0,16, 0,125, 0,08, 0,05, 0,016 o menos pulgadas). Las cerdas 420 pueden hacerse de metal, polímero o materiales naturales. Ejemplos de materiales metálicos para las cerdas 420 incluyen acero inoxidable superior al acero inoxidable 304, como acero inoxidable 316 y acero inoxidable 321, y latón. Un ejemplo de un material polimérico para las cerdas 420 incluye nailon (incluido nailon-6, nailon-6,6 y nailon-6,12), poliéster, PEEK, polietileno y polipropileno. Los ejemplos de materiales naturales para cerdas 420 incluyen Tampico, Palmyra y Palmetto. Se contempla que una parte de las cerdas 420 sea de metal y otra parte de las cerdas 420 sea de nailon. Por ejemplo, una de las secciones de cerdas 422 puede tener cerdas de nailon mientras que las otras secciones de cerdas 422 pueden tener cerdas de metal. También se contempla que una única sección de cerdas 422 pueda tener una o más cerdas de metal, cerdas de polímero, cerdas naturales o cualquier combinación de las mismas. Las cerdas 420 pueden no incluir hierro.

En la Figura 4, cada una de las secciones de cerdas 422 toma la forma de las partes radiales 412, y cada una de las cerdas 420 se extiende radialmente hacia fuera desde y perpendicularmente al eje longitudinal D del raspador flexible 400. La longitud de las secciones de cerda 422 (medida a lo largo del eje longitudinal D) puede ser de aproximadamente 12,7 milímetros a aproximadamente 127 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas a aproximadamente 5 pulgadas). En la Figura 4, la longitud de las secciones de cerdas 422 es mayor que la longitud de las partes radiales 414. Cada una de las secciones de cerdas 422 tiene la misma longitud, medida a lo largo del eje D; sin embargo, se contempla que las cerdas 420 puedan disponerse en secciones en las que al menos una sección tenga una longitud diferente en relación con al menos otra sección. Además, cada una de las secciones de cerdas 422 tiene la misma configuración de cerdas (por ejemplo, un cepillo); sin embargo, se contempla que las cerdas 420 pueden disponerse en diversas configuraciones entre las secciones de cerdas 422 del raspador flexible 400 (por ejemplo, configuración de cepillo o bobina en espiral, configuración de cepillo o rueda rotatoria o combinaciones de las mismas). Cada una de las oquedades 416 tiene la misma longitud, medida a lo largo del eje D; sin embargo, se contempla que al menos una de las oquedades 416 tenga una longitud que sea diferente en relación con la longitud de al menos otra oquedad 416.

Una capa protectora de metal está presente en al menos una parte de al menos una de las cerdas 420. La capa protectora de metal de la(s) cerda(s) 420 puede ser la misma o diferente de la capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso. Generalmente, la capa protectora de metal (MPL) se forma aplicando uno o más metales o compuestos que contienen metal a una cerda para formar una capa de metal aplicada (AML), que puede curarse posteriormente para formar la MPL. A continuación se describen en detalle las técnicas para aplicar la AML y curarlo para formar la MPL. La MPL de las cerdas 420 del raspador flexible 400 incluye las mismas características que las

descritas para la MPL de las cerdas 120 del raspador flexible 100. La inclusión de una MPL en las cerdas 420 permite que las cerdas 420 apliquen una pequeña cantidad de metal protector a las superficies internas del equipo de proceso además de eliminar depósitos de coque (por ejemplo, floraciones de coque) sin dañar la capa protectora de metal de las superficies internas del equipo de proceso.

Como se puede ver en la Figura 4, el raspador flexible 400 no incluye un cable flexible porque el cuerpo flexible 410 es una sola pieza de polímero moldeado. Sin embargo, se contempla que pueda estar presente un enlace central en el raspador flexible 400. El enlace central puede anclar las cerdas 420 en el raspador flexible 400. El enlace central puede encapsularse completamente en el material polimérico del cuerpo flexible 410 y puede extenderse dentro de la parte axial 412 a lo largo del eje longitudinal D del raspador flexible 400 desde el extremo 402 hasta el extremo opuesto 404 del raspador flexible 400. El enlace central puede ser una cadena o cualquier otro medio para anclar las cerdas 420 dentro del cuerpo flexible 410. Por ejemplo, el enlace central también puede realizarse como el cable flexible de las Figuras 1 y 2, excepto que las cerdas 420 se anclan/unen al cable flexible. El cable flexible se puede utilizar para mejorar la rigidez del cuerpo flexible 410, con o sin anclar las cerdas 420 al cable flexible.

Debido a que el cuerpo flexible 410 del raspador flexible 400 se hace de un material polimérico moldeado y no incluye un cable flexible, no hay necesidad de encapsular los extremos 402 y 404 del raspador flexible 400 en el material polimérico o de usar una tapa de extremo polimérica. Un raspador flexible 400 que utiliza un cable flexible, se pueden utilizar tapas de extremo de la misma manera que se describe en esta memoria para los raspadores flexibles 100 y/o 200.

La Figura 5 muestra un ejemplo de un sistema de limpieza de coque 500. En particular, la Figura 5 muestra una vista de extremo del raspador flexible 300 de la Figura 3, colocado en un tubo de horno 510 que tiene floraciones de coque 520 y 522. El raspador flexible 300 se coloca en el tubo de horno 510 de manera que las cerdas 320 entren en contacto con la superficie interna 516 del tubo de horno 510.

El tubo de horno 510 es de un reactor de reformado catalítico, y el tubo de horno 510 tiene una capa protectora de estannuro 514 de una superficie interna 512 del tubo de horno 510, haciendo que la superficie interna 526 de la capa protectora de metal 514 sea la superficie interna 516 del tubo de horno 510 de la que se limpia la floración de coque 520. Se puede observar que falta la capa protectora de estannuro 514 en el lugar donde se ha formado la floración de coque 522, lo que hace que la superficie interior 512 del tubo de horno 510 sea la superficie interna 524 desde la que se limpia la floración de coque 522.

Se puede observar que cada una de las cerdas 320 tiene al menos una parte (mostrada en líneas discontinuas) parcialmente encapsulada por el material polimérico de la parte radial 314 del cuerpo flexible 310 en el extremo 302 del raspador flexible 300. En el raspador flexible 300, las cerdas 320 se encapsulan parcialmente en el material polimérico de la parte axial 312 (dibujada con líneas discontinuas) del cuerpo flexible 310. Las cerdas 320 se extienden radialmente hacia fuera en una dirección perpendicular al eje longitudinal C del raspador flexible 300. Si bien en el raspador flexible 300 mostrado en la figura 5, las cerdas de la parte encapsulada 320 se extienden cerca de una parte axial 312m, sin embargo se contempla que la parte encapsulada de las cerdas 320 puede extenderse dentro del material polimérico del flexible 320 sólo hasta donde sea necesario para anclar de forma segura las cerdas. Las cerdas 320 se colocan alrededor de toda la circunferencia del cuerpo flexible 310; sin embargo, se contempla que las cerdas 320 puedan colocarse en menos de toda la circunferencia, por ejemplo, en grupos espaciados alrededor de la circunferencia del cuerpo flexible 310 (por ejemplo, en la vista de la Figura 5, los grupos espaciados pueden incluir cerdas 320 colocadas en el cuerpo flexible 310 en áreas que van desde la 1 a las 2 en punto, las 3 a las 4 en punto, las 5 a las 6 en punto, las 7 a las 8 en punto, las 9 a las 10 en punto y las 11 a las 12 en punto, como ejemplo).

También se puede observar que el diámetro exterior, o.d., del raspador flexible 300 es menor que el diámetro interior, i.d., del tubo de horno 510. La distancia entre la superficie exterior del cuerpo flexible 310 del raspador flexible 300 y la superficie interior 516 del tubo de horno 510 se exagera en la Figura 5 para mayor claridad, y la distancia puede ser menor, por ejemplo, de aproximadamente 5 milímetros a aproximadamente 15 milímetros (aproximadamente 0,20 pulgadas a aproximadamente 0,59 pulgadas).

Las cerdas 320 se doblan contra la superficie interior 516 del tubo de horno 510. Aunque la Figura 5 muestra las cerdas 320 doblándose todas en la misma dirección, cada una de las cerdas 320 puede doblarse en cualquier dirección dependiendo de la dirección de la fuerza del fluido aplicada al raspador 300 (ya sea dentro de la página o fuera de la página a lo largo del eje longitudinal C) y de cualquier rotación del raspador 300 en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario a las agujas del reloj en el tubo de horno 510.

Aunque no se muestra en la Figura 5, una fuente de fluido proporciona una fuerza de fluido de menos de aproximadamente 413,7 kPa (60 psig) a uno de los extremos del raspador flexible 300 (por ejemplo, el extremo 302 del raspador flexible 300 mostrado en la Figura 5 y la Figura 3 o el extremo opuesto 304 del raspador flexible 300 mostrado en la Figura 3) en la dirección del eje longitudinal C, haciendo que al menos una de las cerdas 320 del raspador flexible 300 entre en contacto con la floración de coque 520 y la floración de coque 522 sin dañar la capa protectora de metal 514 de la superficie interna 516 del tubo de horno 510.

En esta memoria también se divulgan métodos para limpiar un depósito de coque (por ejemplo, una floración de coque) de una superficie interna de un equipo de proceso. Los métodos se pueden realizar utilizando el equipo de proceso y el raspador flexible 100, 200, 300 o 400 descritos en esta memoria. El método puede incluir generalmente (i) eliminar al menos una parte del depósito de coque de la superficie interna utilizando un raspador flexible que comprende cerdas, sin dañar una capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso; (ii) después de la etapa de eliminación, realizar un raspador inteligente para determinar una condición de la superficie interna del equipo de proceso; (iii) volver a aplicar un metal protector a cualquier parte de la superficie interna que tenga menos de un grosor umbral de la capa protectora de metal; (iv) transferir al menos una parte de la capa protectora de metal de al menos una de las cerdas sobre la superficie interna del equipo de proceso; o (v) combinaciones de los mismos.

La etapa de eliminar puede incluir (a) colocar el raspador flexible en el equipo de proceso de manera que las cerdas del raspador flexible estén en contacto con el depósito de coque y/o la capa protectora de metal de la superficie interna; (b) proporcionar una fuerza de fluido contra un extremo del raspador flexible; (c) poner en contacto el depósito de coque con al menos una de las cerdas; o (d) combinaciones de los mismos.

El raspador flexible se puede colocar en el equipo de proceso a través de cualquier técnica conocida en la técnica con la ayuda de esta divulgación. Por ejemplo, el raspador flexible puede colocarse manualmente en el equipo de proceso, o puede entregarse al equipo de proceso utilizando un aparato de entrega de raspadores (descrito con más detalle a continuación). La forma de colocación puede ser la misma o similar a la que se muestra en la Figura 5.

La fuerza del fluido puede ser proporcionada por un sistema de suministro de fluido que utiliza un fluido almacenado y luego bombearse bajo presión por la fuente de fluido para entregar el raspador flexible al equipo de proceso. La fuente de fluido también proporciona la fuerza de fluido contra el raspador flexible mientras éste se encuentra dentro del equipo de proceso, de modo que las cerdas del raspador flexible entran en contacto con el depósito de coque. La fuerza de fluido en el sistema de la presente invención se proporciona a una presión inferior a aproximadamente 413,7 kPa (60 psig). La fuerza de fluido puede proporcionarse a una presión de aproximadamente 206,9 kPa (30 psig). Cuando la fuerza de fluido se proporciona a menos de 413,7 kPa (60 psig), la fuerza de fluido se proporciona con una tolerancia de un pico de presión de hasta aproximadamente 413,7 kPa (60 psig).

La fuente de fluido puede incluir un fluido, un tanque de circulación para contener una cantidad adecuada del fluido, una bomba conectada al tanque de circulación. La fuente de fluido se conecta a un sistema de suministro de fuerza de fluido. El sistema de suministro de fuerza de fluido puede comprender tuberías adecuadas para conectarse al equipo de proceso de manera que el raspador flexible pueda entregarse desde el aparato al equipo de proceso y recuperarse en el aparato desde el equipo de proceso.

La etapa de poner en contacto el depósito de coque con al menos una de las cerdas del raspador flexible implica poner en contacto el extremo doblado de al menos una de las cerdas con el depósito de coque. La ubicación de los depósitos de coque en la superficie interna del equipo de proceso en combinación con el movimiento del raspador flexible a través del equipo de proceso induce el contacto entre las cerdas y los depósitos de coque. El movimiento lateral del raspador flexible a través del equipo de proceso proporciona una fuerza de corte que, en combinación con la fuerza radial del extremo doblado de cada cerda contra la superficie interna del equipo de proceso y contra el depósito de coque, afloja y elimina el o los depósitos de coque. Las partículas de coque extraídas son arrastradas por el fluido desde el raspador flexible.

La etapa de realizar raspado inteligente puede incluir cualquier técnica para raspado inteligente conocida en la técnica con la ayuda de esta divulgación, como las divulgadas en Patente de EE. UU. N.º 8,894,772 B2 y Publicaciones de solicitud de patente de EE. UU. N.º 2002/0011124 A1 y 2014/0013872 A1. El análisis de datos de cualquier dato recopilado en el raspado inteligente se puede realizar mediante cualquier técnica conocida en la técnica con la ayuda de esta divulgación, como las divulgadas en la Patente de EE. UU. N.º 7,542,874.

La etapa de reaplicar un metal protector puede incluir cualquier técnica de aplicación de metal protector conocida en la técnica con la ayuda de esta divulgación, incluidas aquellas técnicas divulgadas para la aplicación del metal protector. La parte de la superficie interna a la que se reaplica el metal protector puede ser un área de la superficie interna en la que el grosor de la capa de metal se ha erosionado y/o comprometido debido a la operación del proceso. La reaplicación del metal protector puede restaurar el área a un grosor restaurado adecuado para la operación del proceso. El grosor umbral de la capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso puede ser de aproximadamente 25 μm (1 mil) a aproximadamente 2,5 mm (100 mil). El grosor restituido de la capa protectora de metal puede tener entre aproximadamente 25 μm (1 mil) y aproximadamente 2,5 mm (100 mil). La etapa de reaplicación se puede distinguir de cualquier aplicación de metal protector por el propio raspador flexible, que se logra en la etapa de transferir al menos una parte de la capa protectora de metal de las cerdas a la superficie interna del equipo de proceso.

La etapa de transferencia transfiere el metal protector que se encuentra en las cerdas del raspador flexible en forma de una capa protectora de metal (MPL) sobre la superficie interna del equipo de proceso. Antes de colocar el raspador flexible en el equipo de proceso, se aplica un metal protector a las cerdas en forma de capa de metal aplicada (AML) y se cura para formar la MPL en las cerdas.

La aplicación de la AML implica aplicar uno o más metales o compuestos que contienen metales (como se describe en esta memoria) a una cerda mediante metalización, pintura, revestimiento, recubrimiento u otra técnica para aplicar los metales o compuestos que contienen metales conocidos en la técnica con la ayuda de esta divulgación. La AML se formula para ser aplicada como recubrimiento. Los métodos adecuados para aplicar la AML a una o más de las cerdas como recubrimiento incluyen, entre otros, rociado, cepillado, aplicación con rodillo, inmersión, remojo, decapado o combinaciones de estos. Los expertos en la técnica conocen dispositivos para aplicar la AML a las cerdas. La AML se puede aplicar como recubrimiento húmedo con un grosor de aproximadamente 25 μm (1 mil) a aproximadamente 2,5 mm (100 mil), o alternativamente de aproximadamente 51 μm (2 mil) a aproximadamente 1,3 mm (50 mil) por capa. Se pueden utilizar múltiples aplicaciones (por ejemplo, múltiples capas) de la AML según sea necesario, por ejemplo, para impartir un grosor deseado o una dureza deseada al MPL formado posteriormente. La AML puede tener características de viscosidad suficientes para proporcionar un recubrimiento sustancialmente continuo de grosor medible y sustancialmente controlable.

una AML aplicado a una cerda como un recubrimiento húmedo puede secarse por evaporación del solvente u otro líquido portador para formar un recubrimiento seco que puede ser adecuado para su manipulación. La AML puede tener una consistencia pegajosa o gomosa que es resistente al agrietamiento cuando el raspador flexible se manipula posteriormente, por ejemplo, para curar la AML para formar la MPL. La AML puede secarse casi instantáneamente al entrar en contacto con la cerda; alternativamente, la AML puede secarse en menos de aproximadamente 48 horas desde el momento en que la AML entra en contacto con la cerda. Se puede utilizar un dispositivo de secado para facilitar la eliminación del disolvente para formar un revestimiento seco, como aire forzado u otros medios de secado. Un experto en la técnica conoce dispositivos de secado adecuados.

una AML aplicado a una cerda como un recubrimiento húmedo puede procesarse adicionalmente, además, en lugar o junto con el secado para proporcionar una MPL. Los ejemplos de procesamiento posterior de la AML para formar la MPL incluyen, entre otros, el curado y/o la reducción, que se analizan a continuación. La AML se puede aplicar a una o más cerdas como un recubrimiento que se seca para formar un recubrimiento, que puede curarse y/o reducirse aún más para formar la MPL.

El recubrimiento puede rociarse sobre al menos una de las cerdas. Se deben aplicar cantidades suficientes del recubrimiento para proporcionar una capa continua sobre las cerdas. Después de rociar una cerda, se puede dejar secar durante aproximadamente 24 horas y se puede procesar más mediante la aplicación de un flujo lento de gas. El gas puede ser un gas inerte, un gas que contenga oxígeno o combinaciones de ellos. Ejemplos no limitativos de gases incluyen aire, nitrógeno, helio, argón o combinaciones de los mismos. El gas puede calentarse. El gas puede ser nitrógeno a aproximadamente 66 °C (150 °F) y puede aplicarse durante aproximadamente 24 horas. Posteriormente, se puede aplicar una segunda capa de recubrimiento al componente del sistema del reactor y se puede secar mediante el procedimiento descrito anteriormente. Después de que se haya aplicado la AML, la AML en al menos una de las cerdas se puede proteger de la oxidación mediante la introducción de una atmósfera de nitrógeno y se debe proteger de la exposición al agua utilizando métodos conocidos por un experto en la técnica.

Las cerdas se pueden calentar después de la aplicación de la AML para curar la AML sobre las cerdas y formar la MPL. El curado de la AML puede dar como resultado que cierto grado del metal de la AML reaccione y/o se cohesione con la cerda respectiva para formar la MPL que está completamente cohesionada a la cerda o que tiene un nivel de cohesión que permite que la MPL se adhiera adecuadamente a las cerdas mientras permite que partes de la MPL se transfieran a la superficie interna del equipo de proceso a medida que el raspador flexible se mueve a través del equipo de proceso.

La AML puede curarse a cualquier temperatura y presión compatible con el mantenimiento de la integridad estructural de las cerdas. La AML se puede curar a una temperatura de aproximadamente 288 °C (550 °F) a aproximadamente 760 °C (1.400 °F), alternativamente de aproximadamente 343 °C (650 °F) a aproximadamente 732 °C (1.350 °F), alternativamente de aproximadamente 371 °C (700 °F) a aproximadamente 704 °C (1.300 °F), alternativamente, aproximadamente 527 °C (980 °F) a aproximadamente 538 °C (1.000 °F), alternativamente, aproximadamente 296 °C (565 °F) a aproximadamente 304 °C (580 °F). El calentamiento puede llevarse a cabo durante un período de tiempo de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 150 horas, alternativamente de aproximadamente 5 horas a aproximadamente 130 horas, alternativamente de aproximadamente 10 horas a aproximadamente 120 horas.

La AML se puede curar a presión atmosférica o por encima de ella en un intervalo desde aproximadamente la presión atmosférica a aproximadamente 1482 kPa (215 psia), alternativamente de aproximadamente 138 kPa (20 psia) a aproximadamente 1138 kPa (165 psia), alternativamente de aproximadamente 172 kPa (25 psia) a aproximadamente 793 kPa (115 psia).

La AML se puede curar a presiones subatmosféricas. Sin querer limitarnos a la teoría, el curado de la AML a presiones subatmosféricas puede permitir el uso de temperaturas elevadas que promuevan la conversión rápida y casi completa de la AML en MPL. El curado se puede realizar a presiones subatmosféricas de desde aproximadamente la presión atmosférica hasta aproximadamente 0,13 Pa ($1,9 \times 10^{-5}$ psia), alternativamente de desde aproximadamente 97 kPa (14 psia) hasta aproximadamente 1,3 Pa ($1,9 \times 10^{-4}$ psia), alternativamente de desde aproximadamente 69 kPa

(10 psia) hasta aproximadamente 13 Pa ($1,9 \times 10^{-3}$ psia). En estas condiciones, la formación de una MPL con las propiedades deseadas puede ocurrir en un período de entre aproximadamente 1 hora y aproximadamente 150 horas.

5 La AML se puede curar en condiciones reductoras. La curación de la AML en condiciones reductoras puede facilitar la conversión de la AML en una MPL. Los agentes reductores adecuados dependen del metal en la AML y son conocidos por un experto en la técnica, por ejemplo, en presencia de un gas reductor (hidrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos o combinaciones de los mismos, opcionalmente mezclados con un gas de mezcla seleccionado entre uno o más de argón, helio, nitrógeno y cualquier gas inerte) en una concentración de aproximadamente 100 % en volumen, alternativamente aproximadamente 90 % en volumen, alternativamente 10 aproximadamente 80 % en volumen, alternativamente aproximadamente 75 % en volumen, alternativamente aproximadamente 50 % en volumen, alternativamente aproximadamente 25 % en volumen con cualquier saldo compuesto por el gas mezclado.

15 El grosor del metal protector (en forma de MPL) depositado sobre cada una de las cerdas puede ser de aproximadamente 25 μm (1 mil) a aproximadamente 2,5 mm (100 mil). No es necesaria la adherencia y/o aleación permanente del metal protector a las cerdas, ya que se desea la transferencia del metal protector desde las cerdas al equipo de proceso. El metal protector de las cerdas se transfiere a la superficie interna del equipo de proceso a través del contacto por fricción de las cerdas con la superficie interna del equipo de proceso.

20 La AML se puede aplicar a al menos una de las cerdas de un raspador flexible antes o después de ensamblar el raspador flexible. Por ejemplo, se puede formar una AML y una MPL resultante en las cerdas antes de que estas se coloquen en secciones de cerdas en un cable flexible o antes de que las cerdas se encapsulen parcialmente en un cuerpo polimérico flexible. Alternativamente, la AML y la MPL resultante se pueden formar en cerdas después de ensamblar el raspador flexible. Por ejemplo, las cerdas del raspador flexible se pueden recubrir con AML y luego curar para formar la MPL en las cerdas. Para raspadores flexibles que tienen 1) un cuerpo flexible polimérico y 2) la AML (y la MPL resultante) aplicada a una o más cerdas parcialmente encapsuladas en el cuerpo flexible polimérico, cada cerda que tiene una AML y una MPL resultante tiene: i) una parte de la cerda que se encapsula completamente en el cuerpo flexible polimérico y que no tiene AML ni MPL, ii) otra parte de la cerda que está recubierta de AML y la MPL resultante y que no se encapsula en el cuerpo flexible polimérico, y opcionalmente, iii) una tercera parte que no se encapsula y no se recubre con una AML y una MPL resultante.

25 Dicho método puede incluir, antes de eliminar el depósito de coque, identificar puntos calientes que comprenden un depósito de coque y/o un depósito de coque en una o más superficies internas del equipo de proceso. La etapa de identificación se puede realizar utilizando cualquier técnica conocida en la técnica con la ayuda de esta divulgación, tal como imágenes térmicas infrarrojas (IR) y/o boroscopia.

30 Después del raspado inteligente, se seca la superficie interna del equipo de proceso, por ejemplo, utilizando aire forzado que pasa a través del equipo de proceso sobre la superficie interna.

40 Las técnicas de descoquización típicas implican una progresión gradual de cerdas cada vez más rígidas de un raspador para eliminar los depósitos de coque y las floraciones de coque a expensas de eliminar la capa protectora de metal del equipo de proceso además de la eliminación del coque. La presente invención mejora estas técnicas típicas porque la capa protectora de metal no se daña durante la eliminación de coque.

45 Las cerdas descritas en esta memoria se doblan y/o flexionan cuando entran en contacto con la superficie interna del equipo de proceso. Los raspadores flexibles descritos en esta memoria se diseñan para que las puntas de las cerdas no raspen las superficies internas. Estas cerdas también se denominan en esta memoria cerdas doblables. Debido a que las puntas de las cerdas doblables no entran en contacto con la superficie interna, el raspador flexible de la presente invención no raspa las superficies internas y la capa protectora de metal incluida en la superficie interna no se daña. La curvatura de los extremos de las cerdas doblables crea una superficie redondeada y lisa que entra en contacto con la superficie interna del equipo de proceso, por lo que no se producen raspaduras a través de las puntas de las cerdas. Además, la flexión de los extremos de las cerdas doblables contra la superficie interna del equipo de proceso crea un área de contacto más grande para cada cerda doblable en comparación con las cerdas que no son doblables. Además, las cerdas doblables no se doblan previamente antes de colocar el raspador flexible en el equipo de proceso. Las cerdas doblables se doblan en respuesta al contacto con la superficie interna del equipo de proceso. Las cerdas doblables pueden ser resilientes y pueden desenrollarse cuando se retiran del contacto con la superficie interna del equipo de proceso.

50 La presente invención puede funcionar a bajas presiones de raspado. Las técnicas tradicionales de descoquización de raspadores utilizan presiones de fluido de 3,45 MPa (500 psig) a 6,89 MPa (1000 psig). Por el contrario, las técnicas y los raspadores flexibles descritos en esta memoria utilizan una fuerza de fluido de menos de aproximadamente 413,7 kPa (60 psig). Por lo tanto, no es necesario el equipo de suministro de fuerza de fluido ni la fuente de fluido necesarios para la descoquización de raspadores a alta presión. Funcionar a presiones más bajas es más seguro y reduce las especificaciones de presión de los equipos utilizados en la limpieza.

65 El flujo del fluido utilizado con los raspadores flexibles descritos es aproximadamente tres veces el volumen utilizado

para los raspadores tradicionales. El mayor flujo de fluido proporciona una mayor cantidad de fluido para eliminar las partículas de coque del área que está siendo tratada por el raspador flexible.

Los raspadores flexibles incluyen una capa protectora de metal sobre una o más cerdas y pueden recubrir nuevamente el metal protector (por ejemplo, estaño microscópico) sobre la superficie interna del equipo de proceso y así reforzar la capa protectora de metal del equipo de proceso y/o transferir el metal protector a áreas de la superficie interna donde la capa protectora de metal se ha erosionado o se ha visto comprometida por los depósitos de coque. Es decir, los raspadores flexibles descritos en esta memoria cumplen la doble función de limpiar los depósitos de coque de la superficie interna del equipo de proceso y de recubrir la superficie interna limpia con el metal protector. Como tal, la reaplicación del metal protector (mediante la transferencia desde las cerdas del raspador flexible) se produce en la misma etapa que la limpieza. En algunos casos, puede que no sea necesario un etapa separado para volver a aplicar el metal protector a la superficie interna del equipo de proceso.

Como hay una capa protectora de metal sobre las cerdas, las cerdas se diseñan para ser lo suficientemente suaves como para no rayar la superficie interna que entra en contacto con las cerdas, por ejemplo, a través de una dureza que es menor o igual a la dureza de la superficie interna del equipo de proceso.

El curado/reducción de una capa de metal aplicada de las cerdas puede ocurrir a temperaturas de menos de 538 °C (1000 °F) en las que la formación de estannuro es muy lenta y por lo tanto incompleta, mientras que deja una capa protectora de metal resultante gruesa en un estado reducido y ya no tiene un líquido que fluye libremente desde la capa de metal aplicada.

La limpieza de depósitos de coque utilizando los raspadores flexibles descritos en esta memoria reduce el tiempo de limpieza. Por ejemplo, la limpieza de los tubos de horno de un reactor de reformado catalítico puede llevar más de seis días para un solo tubo de horno utilizando raspadores y técnicas de descoquización tradicionales. Utilizando un raspador flexible, se puede descoquizar una colección completa de tubos de horno dentro de un horno dentro de un sistema de reactor de reformado catalítico, que contiene cincuenta y cuatro tubos de horno, durante un solo turno de 12 horas. Es decir, los depósitos de coque limpios se pueden limpiar de un solo tubo de horno en un tiempo promedio de aproximadamente 13 minutos. De esta forma se puede reducir el tiempo de limpieza de los equipos de proceso (por ejemplo, el tubo de un horno).

El raspador flexible en el que la longitud total del raspador flexible es mayor que la longitud de ruta de una zona de transición del equipo de proceso evita que el raspador flexible quede atascado en la zona de transición.

La invención también elimina otros residuos y coque catalítico de la superficie interna del equipo de proceso sin dañar la superficie interna.

La invención también puede limpiar eficazmente grietas (por ejemplo, las que se encuentran en las soldaduras) del equipo de proceso donde pueden acumularse depósitos de coque y otros residuos.

Si bien se han mostrado y descrito aspectos preferidos de la invención, el experto en la técnica puede realizar modificaciones de estos sin desviarse del espíritu y las descripciones de la invención. Los aspectos descritos en esta memoria son únicamente ilustrativos y no pretenden ser limitativos. Son posibles muchas variaciones y modificaciones de la invención divulgada en esta invención y están dentro del alcance de la invención. Cuando se indican de forma expresa intervalos numéricos o limitaciones, se debe comprender que dichos intervalos o limitaciones expresos incluyen intervalos o limitaciones iterativos de una magnitud similar que se encuentran dentro de los intervalos o limitaciones expresamente indicados (por ejemplo, de aproximadamente 1 a aproximadamente 10 incluye 2, 3, 4, etc.; mayor de 0,10 incluye 0,11, 0,12, 0,13, etc.). El uso del término "opcionalmente", con respecto a cualquier elemento de una reivindicación, pretende indicar que el elemento objeto es necesario, o alternativamente, no es necesario. Se pretende que ambas alternativas estén dentro del alcance de la reivindicación. Se debe comprender que el uso de términos más amplios como comprende, incluye, tiene, etc. respalda términos más limitados como consiste en, consiste esencialmente en, compuesto sustancialmente por, etc.

Por consiguiente, el alcance de la protección no está limitado por la descripción establecida anteriormente sino que está limitado únicamente por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un raspador flexible (100, 200, 300, 400) para limpiar un depósito de coque de una superficie interna de un equipo de proceso sin dañar una capa protectora de metal de la superficie interna, que comprende:
5 un cuerpo flexible (110, 210, 310, 410) formado de un material polimérico, en donde el cuerpo flexible (110, 210, 310, 410) comprende un cuerpo polimérico moldeado formado de un material polimérico, en donde el cuerpo polimérico moldeado comprende una parte axial (312, 412) y una pluralidad de partes radiales (314, 414) formadas en intervalos espaciados a lo largo de la parte axial (312, 412), y en donde un diámetro de la
10 parte axial (312, 412) es menor que un diámetro exterior de cada una de la pluralidad de partes radiales (314, 414);

una pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420); en donde al menos una parte de cada una de la pluralidad de
15 cerdas (120, 220, 320, 420) se encapsulan parcialmente por el material polimérico del cuerpo polimérico moldeado; caracterizado por que

al menos una de la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) comprende una capa protectora de metal que contiene estannuro.

20 2. El raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 1, en donde el cuerpo flexible (110, 210, 310, 410) comprende:

al menos un espaciador de espuma de forma cilíndrica (130, 230); y

25 un cable flexible (140, 240) que se extiende a lo largo de un eje longitudinal del raspador flexible (100, 200, 300, 400) y a través del al menos un espaciador de espuma de forma cilíndrica (130, 230), teniendo el cable flexible (140, 240) un extremo (142, 242) anclado a un extremo (102, 202) del raspador flexible (100, 200, 300, 400) y un extremo opuesto (144, 244) anclado a un extremo opuesto (104, 204) del raspador flexible (100, 200, 300, 400).
30
3. El raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 2, en donde la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) se disponen en al menos una sección de cerdas de forma cilíndrica (122, 222, 322, 422) en la que cada una de la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) se extiende radialmente hacia fuera desde el eje longitudinal del raspador flexible (100, 200, 300, 400), en donde un extremo del espaciador de espuma de
35 forma cilíndrica (130, 230) está en contacto con un extremo de la al menos una sección de cerdas de forma cilíndrica (122, 222, 322, 422).

4. El raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 3, en donde la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) de la al menos una sección de cerdas con forma cilíndrica (122, 222, 322, 422) están en una
40 configuración en espiral, una configuración de cepillo rotatorio, una configuración de rueda rotatoria o una combinación de configuraciones en espiral, de cepillo rotatorio y de rueda rotatoria.

5. El raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 2, en donde el cable flexible (140, 240) se hace de un material que comprende polímero, acero o una combinación de polímero y acero, en donde el al
45 menos un espaciador de espuma de forma cilíndrica (130, 230) se hace de una espuma de celda cerrada, y en donde la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) son cerdas de polímero, cerdas de acero o una combinación de cerdas de polímero y cerdas de acero.

6. El raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 1, en donde al menos una parte de cada una de la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) que se encapsulan parcialmente por el material polimérico del cuerpo polimérico moldeado están en la parte axial (312, 412), una de la pluralidad de partes radiales (314, 414), o una combinación de la parte axial (312, 412) y una de la pluralidad de partes radiales (314, 414).

7. El raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 1, en donde la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) son cerdas de polímero, cerdas de acero, cerdas naturales o cualquier combinación de cerdas de polímero, cerdas de acero o cerdas naturales.
55
8. Un sistema (500) que comprende:

60 un equipo de proceso que tiene un depósito de coque formado sobre una superficie interna que comprende una capa protectora de metal;

un raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 1; y

65 una fuente de fluido que proporciona una fuerza de fluido de menos de aproximadamente 413685 Pa (60 psig) a un extremo del raspador flexible (100, 200, 300, 400) haciendo que al menos una de la pluralidad de cerdas

(120, 220, 320, 420) del raspador flexible (100, 200, 300, 400) entre en contacto con el depósito de coque sin dañar la capa protectora de metal de la superficie interna del equipo de proceso.

5 9. Uso de un raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 1 para limpiar un depósito de coque de una superficie interna de un equipo de proceso.

10 10. Uso según la reivindicación 9, en donde la limpieza de un depósito de coque de una superficie interna de un equipo de proceso comprende eliminar al menos una parte del depósito de coque de la superficie interna utilizando el raspador flexible (100, 200, 300, 400), y en donde la etapa de eliminación comprende: colocar el raspador flexible (100, 200, 300, 400) en el equipo de proceso de manera que la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) del raspador flexible (100, 200, 300, 400) estén en contacto con la superficie interna;

proporcionar una fuerza de fluido contra un extremo del raspador flexible (100, 200, 300, 400); y

15 poner en contacto el depósito de coque con al menos una de la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420).

20 11. Uso según la reivindicación 9, en donde después de la etapa de eliminación, se realiza un raspado inteligente para determinar una condición de la superficie interna del equipo de proceso; y se vuelve a aplicar un metal protector a cualquier parte de la superficie interna que tenga menos de un grosor umbral de la capa protectora de metal.

25 12. Uso según la reivindicación 9, en donde durante el uso, al menos una parte de la capa protectora de metal sobre al menos una de la pluralidad de cerdas (120, 220, 320, 420) se transfiere a la superficie interna del equipo de proceso.

13. Uso según la reivindicación 9, en donde la limpieza del depósito de coque, comprende:

30 aromatizar hidrocarburos en un sistema de reactor de aromatización para producir un producto de aromatización, en donde el sistema de reactor de aromatización comprende un horno que tiene una pluralidad de tubos (510) dispuestos en el mismo, en donde la superficie interna (516) de cada uno de la pluralidad de tubos (510) tiene una capa protectora de metal que comprende estannuro (514) dispuesta sobre la misma, y en donde se forman depósitos de coque sobre la capa protectora de metal de la superficie interna de uno o más de la pluralidad de tubos de horno (510);

35 detener la aromatización y dar servicio al sistema de reactor de aromatización mediante la eliminación de al menos una parte del depósito de coque de la superficie interna utilizando un raspador flexible (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 1;

40 inspeccionar opcionalmente uno o más de la pluralidad de tubos de horno (510) mediante inspección por vídeo o medición ultrasónica; y

reanudar la aromatización de hidrocarburos en el sistema del reactor de aromatización.

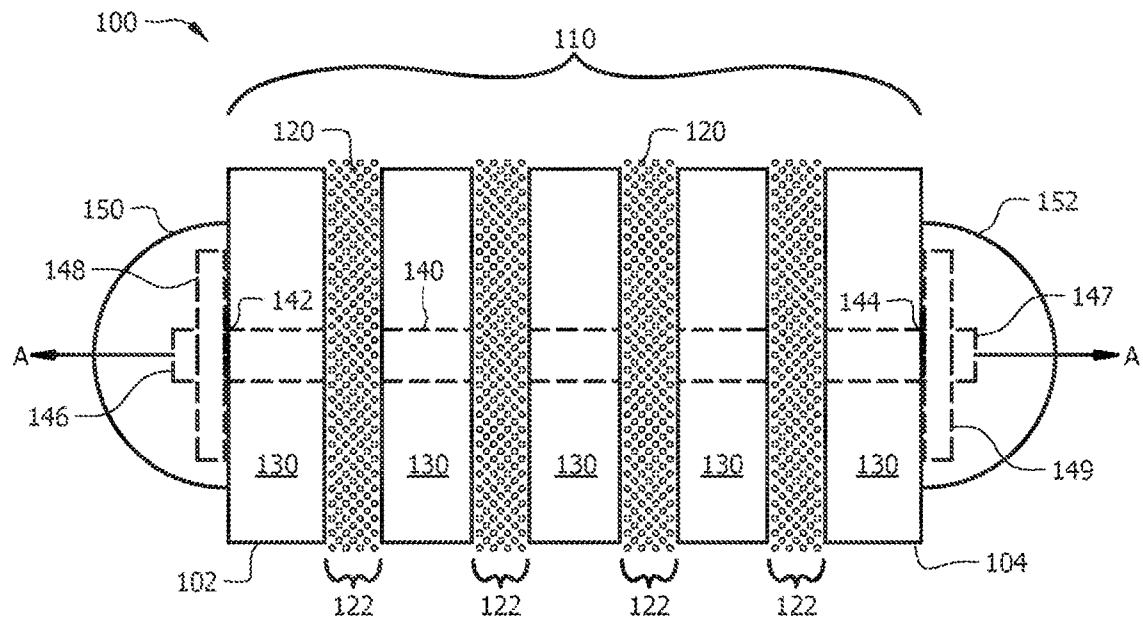


FIG. 1

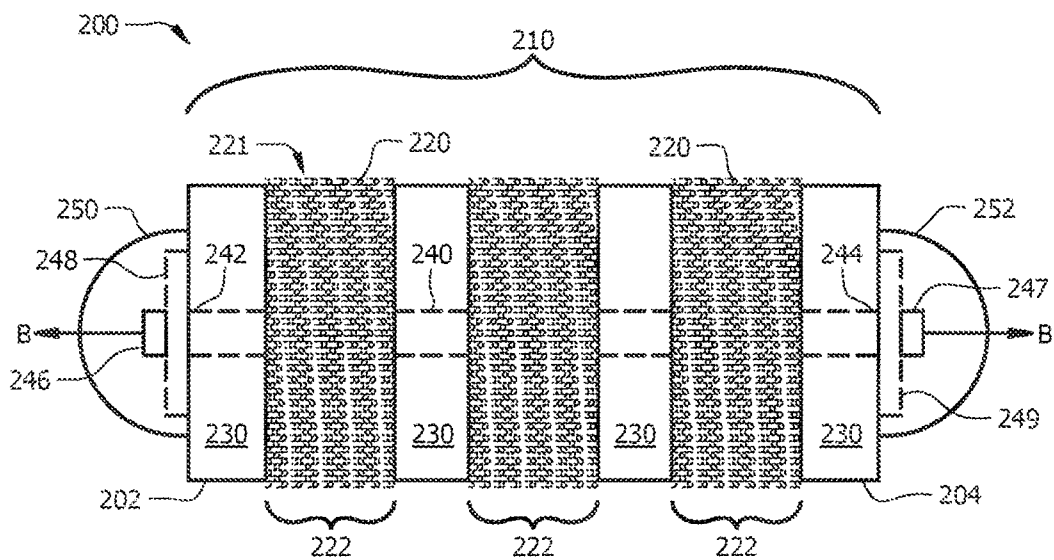


FIG. 2

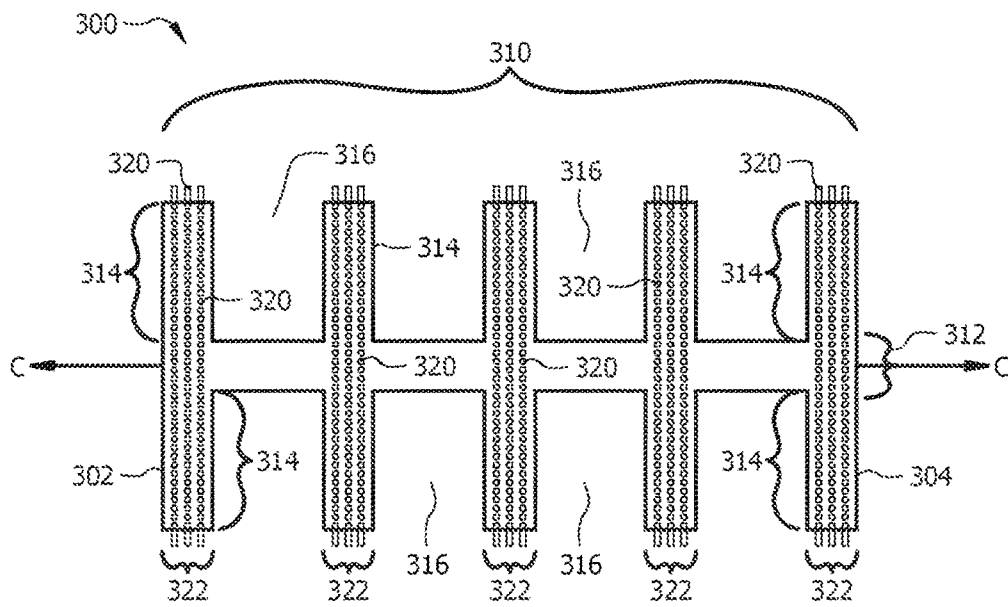


FIG. 3

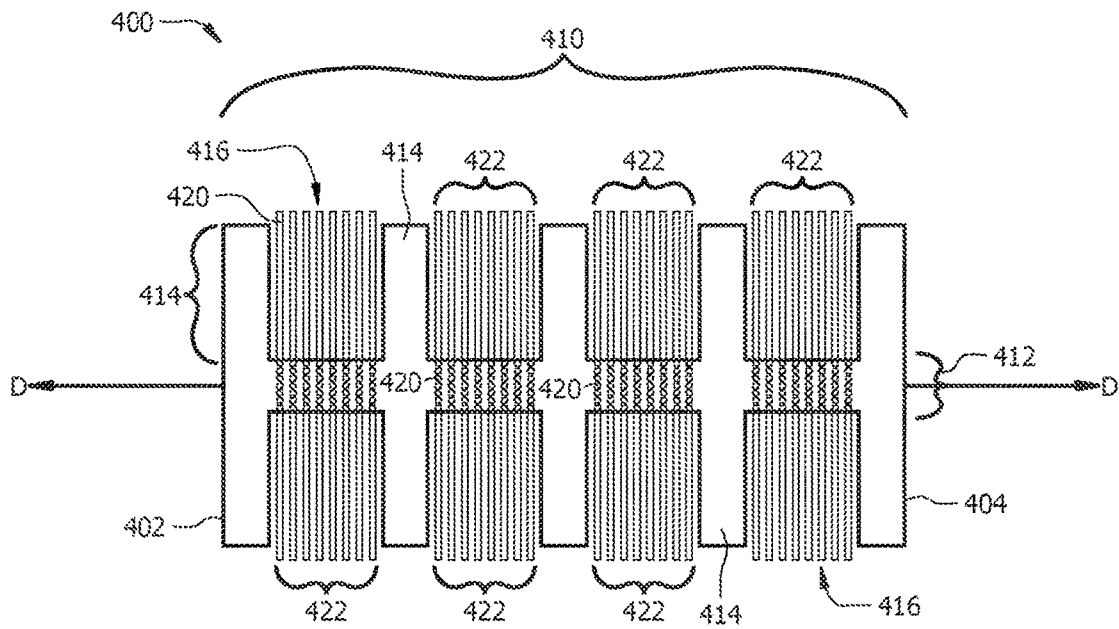


FIG. 4

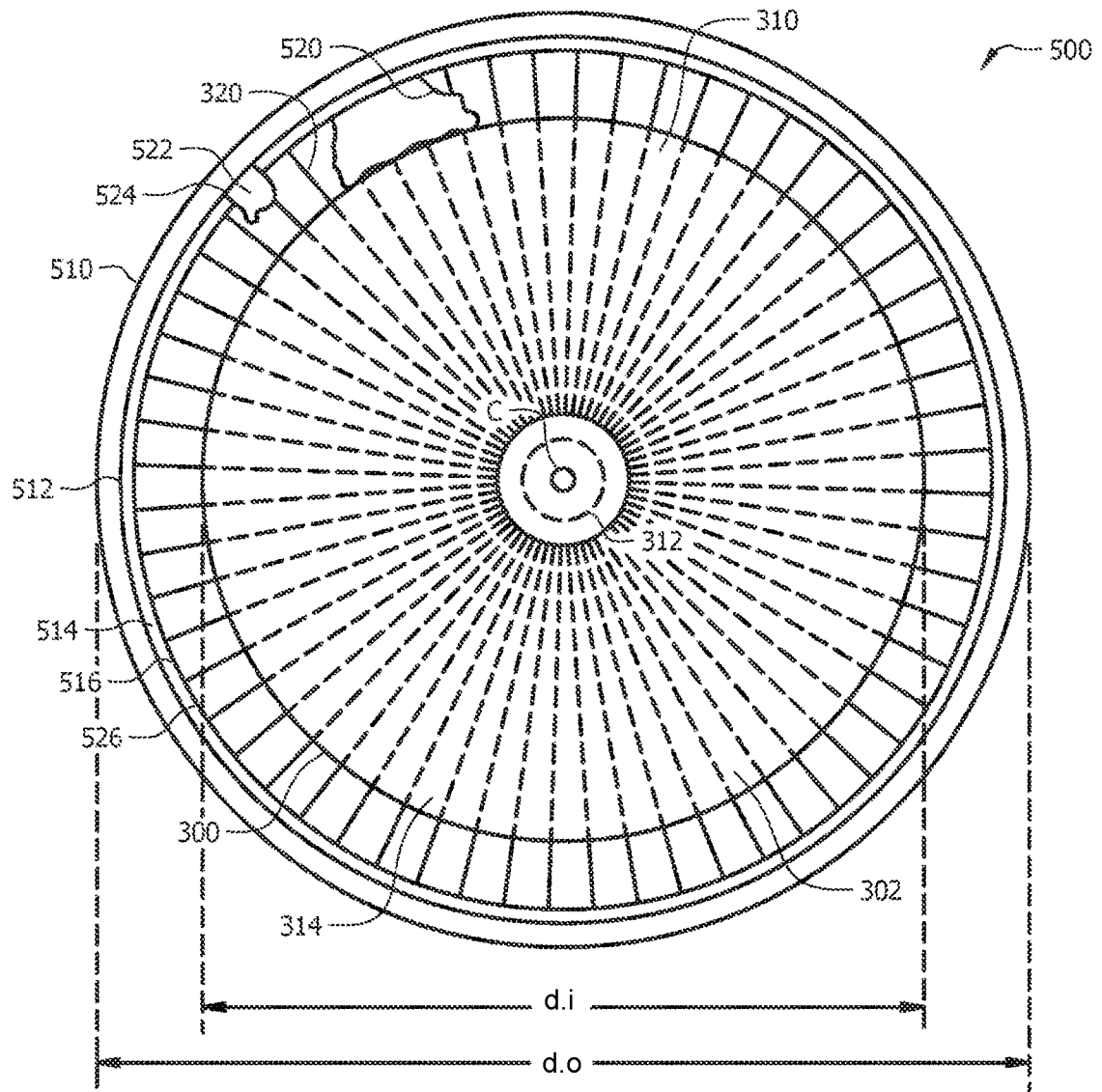


FIG. 5