

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 102**

51 Int. Cl.:

B29C 35/04 (2006.01)

F27B 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.09.2018 E 18195755 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 3466633**

54 Título: **Sistema y método de calentamiento de una pieza de trabajo de alto rendimiento**

30 Prioridad:

26.09.2017 US 201715716188

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

19.06.2020

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**NELSON, KARL M.;
THOMPSON, MEGAN;
SERENCITS, WILLIAM;
WU, TATEH y
RIEDEL, BRIAN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 768 102 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

Sistema y método de calentamiento de una pieza de trabajo de alto rendimiento

Campo

5 La presente divulgación se refiere en general a la fabricación de compuestos y, más particularmente, a un sistema según la reivindicación 1 y a método según la reivindicación 10 para calentar una pieza de trabajo para facilitar el procesamiento (p. ej., curado) de la pieza de trabajo.

Antecedentes

10 Las piezas compuestas se utilizan cada vez más en una amplia variedad de aplicaciones debido a sus propiedades favorables, tales como alta resistencia específica, alta rigidez específica y alta resistencia a la corrosión. La fabricación de una pieza compuesta normalmente requiere la aplicación de calor y presión para curar la pieza compuesta mientras se apoya en un mandril. Los métodos convencionales de curado de piezas compuestas utilizan autoclaves grandes para aplicar calor y presión de manera controlada para maximizar las propiedades mecánicas de la pieza compuesta curada.

15 Mientras que los autoclaves grandes son generalmente satisfactorios para curar piezas compuestas grandes, se puede mejorar el uso de autoclaves grandes para el curado por lotes de múltiples piezas compuestas pequeñas. Por ejemplo, en un autoclave grande cargado con un lote de piezas compuestas, el tiempo del ciclo de curado se controla mediante la pieza compuesta de calentamiento más lento en el lote. Los tiempos del ciclo de curado por lotes a menudo son largos debido al tamaño, la forma y/o la masa térmica de los mandriles y las piezas compuestas que se curan. Además, la manera en que un autoclave grande calienta un lote de piezas compuestas puede afectar a la capacidad de calentar uniformemente todas las ubicaciones de cada pieza compuesta dentro de los intervalos de temperatura relativamente estrechos necesarios para lograr propiedades mecánicas uniformes en cada pieza compuesta curada.

25 Una consideración adicional asociada con el uso de autoclaves grandes para el curado por lotes de piezas compuestas pequeñas es la importante inversión de capital asociada con autoclaves grandes. Por ejemplo, los autoclaves grandes normalmente se fabrican en el sitio utilizando equipos pesados y técnicas de instalación especializadas que dan lugar a altos costos de fabricación e instalación. Además, los autoclaves grandes tienen costos operativos y de mantenimiento significativos. Una instalación de producción normalmente requiere un mínimo de dos autoclaves grandes para soportar la tasa de producción deseada, de modo que si una autoclave falla o es retirado del servicio para mantenimiento, el autoclave restante puede mantener una tasa de producción razonable.

30 Instalar, operar y mantener múltiples autoclaves grandes para admitir el curado por lotes de pequeñas piezas compuestas puede aumentar significativamente el costo total de un programa de producción.

El documento US 2012/003597 A1 desvela un sistema de calentamiento de una pieza de trabajo para calentar una pieza de trabajo.

Sumario

35 Las consideraciones mencionadas anteriormente asociadas con el curado de piezas compuestas se abordan específicamente y pueden aliviarse mediante la presente divulgación, que proporciona un sistema de calentamiento de una pieza de trabajo para calentar una pieza de trabajo apoyada en un mandril. El sistema de calentamiento de una pieza de trabajo incluye una cubierta exterior configurada para contener un mandril que se puede colocar de forma extraíble dentro de la cubierta exterior. El mandril tiene un extremo proximal de mandril, un extremo distal de mandril, una parte frontal de mandril configurado para soportar una pieza de trabajo y una parte posterior de mandril opuesta a la parte frontal de mandril. El sistema de calentamiento de una pieza de trabajo también incluye un dispositivo de desplazamiento de gas montado dentro de la cubierta exterior. El dispositivo de desplazamiento de gas tiene una salida circunferencial exterior configurada para descargar un gas a lo largo de una dirección hacia la parte posterior de mandril. El dispositivo de desplazamiento de gas incluye además al menos un intercambiador térmico montado dentro de la cubierta exterior aguas arriba del dispositivo de desplazamiento de gas. El intercambiador térmico está configurado para calentar el gas antes de introducirse en el dispositivo de desplazamiento de gas. Además, el dispositivo de desplazamiento de gas incluye un sistema de campana que tiene una primera pared de campana y una segunda pared de campana, cada una configurada para extenderse circunferencialmente en una relación radialmente espaciada entre sí y en una relación radialmente espaciada respectivamente con la parte posterior de mandril y la parte frontal de mandril cuando el mandril se coloca dentro de la cubierta exterior. La primera pared de campana y la parte posterior de mandril definen en conjunto un primer espacio anular configurado para recibir el gas descargado del dispositivo de desplazamiento de gas y dirigir el gas en una dirección generalmente axial a lo largo de un primer segmento de trayectoria de flujo del extremo proximal de mandril al extremo distal de mandril. La segunda pared de campana y la parte frontal de mandril definen en conjunto

40

45

50

un segundo espacio anular configurado para recibir el gas del primer espacio anular y dirigir el gas en una dirección generalmente axial a lo largo de un segundo segmento de trayectoria de flujo del extremo distal de mandril al extremo proximal de mandril.

5 En una realización adicional, el sistema de calentamiento de una pieza de trabajo incluye una cubierta exterior que
 10 tiene una primera porción de cubierta y una segunda porción de cubierta configuradas para acoplarse a lo largo de una junta de cubierta circunferencial para contener un mandril generalmente cilíndrico que se puede colocar de manera extraíble dentro de la cubierta exterior. Como se ha descrito anteriormente, el mandril tiene un extremo proximal de mandril, un extremo distal de mandril, un eje de mandril, una parte frontal de mandril configurada para soportar una pieza de trabajo y un lado trasero de mandril ubicado radialmente en el interior de la parte frontal de mandril. El sistema de calentamiento de una pieza de trabajo incluye un dispositivo de desplazamiento de gas ubicado al ras o debajo de la junta de cubierta. El dispositivo de desplazamiento de gas tiene una salida circunferencial exterior configurada para descargar un gas radialmente hacia el exterior de modo que el gas fluya a lo largo de la parte posterior del mandril. El sistema de calentamiento de una pieza de trabajo también incluye un intercambiador térmico montado dentro de la cubierta exterior debajo del dispositivo de desplazamiento de gas. Como se ha indicado anteriormente, el intercambiador térmico está configurado para calentar el gas antes de que el gas se introduzca en el dispositivo de desplazamiento de gas. El sistema de calentamiento de una pieza de trabajo incluye además un sistema de campana que tiene una primera pared de campana y una segunda pared de campana, cada una configurada para extenderse circunferencialmente en una relación radialmente espaciada entre sí y en una relación radialmente espaciada respectivamente con la parte posterior del mandril y la parte frontal del mandril cuando el mandril está colocado dentro de la cubierta exterior. Como se ha indicado anteriormente, la primera pared de campana y la parte posterior de mandril definen en conjunto un primer espacio anular configurado para recibir el gas descargado del dispositivo de desplazamiento de gas y dirigir el gas en una dirección generalmente axial a lo largo de un primer segmento de trayectoria de flujo del extremo proximal de mandril al extremo distal de mandril. La segunda pared de campana y la parte frontal de mandril definen en conjunto un segundo espacio anular configurado para recibir el gas del primer espacio anular y dirigir el gas en una dirección generalmente axial a lo largo de un segundo segmento de trayectoria de flujo del extremo distal de mandril al extremo proximal de mandril.

También se desvela un método para calentar una pieza de trabajo apoyada en un mandril. El método incluye colocar el mandril dentro de una cubierta exterior. El mandril tiene un extremo proximal de mandril, un extremo distal de mandril y un eje de mandril. Además, el mandril incluye una parte frontal de mandril que soporta una pieza de trabajo y que tiene una parte posterior de mandril opuesto a la parte frontal del mandril. El método también incluye calentar el gas usando al menos un intercambiador térmico montado dentro de la cubierta exterior. El método incluye adicionalmente descargar, usando un dispositivo de desplazamiento de gas montado dentro de la cubierta exterior, el gas del dispositivo de desplazamiento de gas a lo largo de una dirección hacia la parte posterior del mandril. Además, el método incluye dirigir, usando una primera pared de campana de un sistema de campana colocado sobre el mandril, el gas del dispositivo de desplazamiento de gas en una dirección generalmente axial a través de un primer espacio anular entre la primera pared de campana y la parte posterior de mandril a lo largo de un primer segmento de trayectoria de flujo que se extiende del extremo proximal de mandril al extremo distal de mandril. Además, el método incluye dirigir, usando una segunda pared de campana del sistema de campana, el gas del primer espacio anular en una dirección generalmente axial a través de un segundo espacio anular entre la segunda pared de campana y la parte frontal de mandril a lo largo de un segundo segmento de trayectoria de flujo que se extiende del extremo distal de mandril al extremo proximal de mandril. El método también incluye calentar el mandril en respuesta a la dirección del gas a través del primer espacio anular y el segundo espacio anular, y calentar la pieza de trabajo en respuesta al calentamiento del mandril.

45 Las características, funciones y ventajas que se han discutido pueden lograrse independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en otras realizaciones, cuyos detalles adicionales pueden observarse con referencia a la siguiente descripción y dibujos a continuación.

Breve descripción de los dibujos

50 Estas y otras características de la presente divulgación resultarán más evidentes con referencia a los dibujos en donde números similares se refieren a partes similares en todo el documento y en donde:

- La Figura 1 es una vista en perspectiva de una aeronave;
- La Figura 2 es una vista en perspectiva de un motor de turbina de la aeronave de la Figura 1 que muestra una sección de barril interior que define una pared interior de una barquilla de motor de turbina;
- La Figura 3 es una vista en perspectiva de la sección de barril interior de la Figura 2 configurada como una pieza compuesta que comprende una estructura tipo sándwich que incluye un núcleo que tiene láminas frontales en lados opuestos del núcleo;
- La Figura 4 es una vista en perspectiva de un ejemplo del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo actualmente desvelado implementado para curar una o más piezas compuestas, y que ilustra una cubierta exterior del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo que incluye una primera porción de cubierta (p. ej.,

una porción de cubierta superior) unida a una segunda porción de cubierta (p. ej., una porción de cubierta inferior);

La Figura 5 es una vista en perspectiva del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 4 que muestra la primera porción de cubierta separada de la segunda porción de cubierta y que ilustra un sistema de campana para envolver al menos parcialmente una pieza de trabajo (p. ej., una sección de barril interior) soportada en un mandril;

La Figura 6 es una vista en sección en perspectiva del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo tomada a lo largo de la línea 6 de la Figura 4 y que ilustra un ejemplo de un sistema de campana ubicado en relación espaciada con un mandril y una pieza de trabajo;

La Figura 7 es una vista en perspectiva despiezada del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 4;

La Figura 8 es una vista en sección frontal del sistema de campana tomada a lo largo de la línea 8 de la Figura 7;

La Figura 9 es una vista en perspectiva del mandril de la Figura 7 y que ilustra la pieza de trabajo configurada como una pieza compuesta que comprende una estructura tipo sándwich que tiene un núcleo tipo panel y láminas frontales opuestas;

La Figura 10 es una vista en sección frontal tomada a lo largo de la línea 10 de la Figura 9 y que ilustra la pieza de trabajo soportada en la parte frontal del mandril;

La Figura 11 es una vista en sección parcial de una porción del borde superior de la pieza de trabajo tomada a lo largo del recuadro 11 de la Figura 10 y que ilustra una bolsa de vacío sellada a la parte frontal del mandril y que ilustra además una línea de vacío que se extiende a través de la cubierta exterior a una fuente de vacío para aplicar un vacío a la bolsa de vacío para generar presión de compactación sobre la pieza de trabajo contra el mandril;

La Figura 12 es una vista en sección superior del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 4 y que ilustra el dispositivo de desplazamiento de gas configurado como un ventilador centrífugo;

La Figura 13 es una vista en sección frontal del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo tomada a lo largo de la línea 13 de la Figura 12 y que ilustra el gas que fluye a través de un primer espacio anular entre una pared interna de campana y la parte posterior del mandril a lo largo de un primer segmento de trayectoria de flujo de una trayectoria de circulación de gas, y que ilustra también el gas que fluye a través de un segundo espacio anular entre una pared exterior de campana y la parte frontal del mandril (y la pieza de trabajo) a lo largo de un segundo segmento de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas;

La Figura 14 es una vista en sección en perspectiva de un ejemplo adicional de un sistema de calentamiento de una pieza de trabajo en donde el dispositivo de desplazamiento de gas y al menos un intercambiador térmico están ubicados detrás de un extremo proximal de mandril, y que ilustra además una estructura de refuerzo de mandril acoplada a la parte posterior del mandril;

La Figura 15 es una vista en perspectiva despiezada del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 14;

La Figura 16 es una vista en sección frontal del sistema de campana tomada a lo largo de la línea 16 de la Figura 15;

La Figura 17 es una vista en perspectiva del mandril de la Figura 15 que muestra la estructura de refuerzo del mandril que incluye una pared circunferencial de mandril montada en relación espaciada con la parte posterior del mandril;

La Figura 18 es una vista en sección frontal del mandril tomada a lo largo de la línea 18 de la Figura 17;

La Figura 19 es una vista en sección frontal de un ejemplo adicional de un sistema de calentamiento de una pieza de trabajo en donde el dispositivo de desplazamiento de gas está ubicado debajo del intercambiador térmico y la pieza de trabajo está soportada en un lado radialmente interno del mandril, y que ilustra además la trayectoria de circulación de gas en la que el gas fluye inicialmente a través del primer espacio anular entre la pared exterior de campana y la parte posterior del mandril, después de lo cual el gas fluye en dirección inversa a través del segundo espacio anular entre la pared interna de campana y la parte frontal del mandril;

La Figura 20 es una vista en perspectiva despiezada del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 19;

La Figura 21 es una vista en sección frontal del sistema de campana tomada a lo largo de la línea 21 de la Figura 20;

La Figura 22 es una vista en perspectiva del mandril de la Figura 20 que muestra la pieza de trabajo soportada en la parte frontal del mandril en un lado radialmente interno del mandril y que ilustra además la estructura de refuerzo del mandril acoplada a la parte posterior del mandril en un lado radialmente externo del mandril;

La Figura 23 es una vista en sección frontal del mandril tomada a lo largo de la línea 23 de la Figura 22;

La Figura 24 es una vista en perspectiva de un ejemplo adicional de un sistema de calentamiento de una pieza de trabajo que tiene una cubierta exterior orientada generalmente de forma horizontal y que incluye una primera porción de cubierta unida a una segunda porción de cubierta a lo largo de una junta de cubierta;

La Figura 25 es una vista en perspectiva del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 24 que muestra la primera porción de cubierta separada de la segunda porción de cubierta para ilustrar un mandril generalmente orientado de forma horizontal que soporta una pieza de trabajo;

La Figura 26 es una vista en sección en perspectiva del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 25;

La Figura 27 es una vista en perspectiva despiezada del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 25 y que ilustra la orientación generalmente horizontal del mandril;

La Figura 28 es un diagrama de flujo de operaciones incluidas en un método de calentamiento de una pieza de trabajo usando el sistema de calentamiento de una pieza de trabajo actualmente desvelado;

La Figura 29 es una vista en sección frontal parcialmente despiezada del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 14 y que ilustra el posicionamiento del mandril y la pieza de trabajo dentro de la cubierta exterior;

La Figura 30 es una vista en sección frontal parcialmente despiezada del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 29 que ilustra el posicionamiento del sistema de campana sobre el mandril y la pieza de trabajo;

La Figura 31 es una vista en sección frontal parcialmente despiezada del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 30 que ilustra el conjunto de la primera porción de cubierta con respecto a la segunda porción de cubierta para contener el mandril, la pieza de trabajo, el dispositivo de desplazamiento de gas, el(los) intercambiador(es) térmico(s), y el sistema de campana; y

La Figura 32 es una vista en sección frontal del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 31 y que ilustra el gas que fluye a lo largo de la trayectoria de circulación de gas y que además ilustra la aplicación de un vacío a una bolsa de vacío (Figura 11) que cubre la pieza de trabajo, y que además ilustra la aplicación de presión positiva en el interior del sistema de calentamiento de una pieza de trabajo para aumentar la presión de compactación en la pieza de trabajo.

Descripción detallada

En el presente documento se describe un sistema y un método para curar piezas compuestas relativamente pequeñas para evitar al menos algunas de las consideraciones asociadas con el curado por lotes en un autoclave grande.

Con referencia ahora a los dibujos en donde las presentaciones tienen el fin de ilustrar realizaciones preferidas y diversas de la divulgación, lo mostrado en la Figura 1 es una vista en perspectiva de una aeronave 400 que puede incluir una o más piezas compuestas 424 (p. ej., Figura 3) que pueden procesarse usando el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo actualmente desvelado (p. ej., la Figura 6) y el método (Figura 28) que se describen en detalle a continuación. La aeronave 400 incluye un fuselaje 402 que se extiende de una nariz a un empenaje. El fuselaje 402 puede estar formado por una pluralidad de secciones de barril de fuselaje 404 unidas de extremo a extremo. El empenaje puede incluir una o más superficies de cola tales como una cola vertical 410 y una cola horizontal 408. La aeronave 400 también puede incluir un par de alas 406 que se extienden hacia el exterior del fuselaje 402, y una o más unidades de propulsión, tales como motores de turbina 412 soportados por las alas 406.

Con referencia a la Figura 2, se muestra un ejemplo de un motor de turbina 412 de la aeronave 400 de la Figura 1. El motor de turbina 412 incluye una barquilla de motor 414 que tiene una pared interior que puede definirse al menos en parte por una sección de barril interior 416. La sección interior del barril 416 puede configurarse para proporcionar una superficie lisa para dirigir el flujo de aire a través del motor de turbina 412.

El sistema 100 de calentamiento de piezas de trabajo actualmente desvelado (p. ej., Figura 6) y el método 500 (Figura 28) se describen en el contexto de calentar una pieza de trabajo 418 configurada como la sección de barril interior 416 mientras está montada en un mandril 300 (p. ej., Figura 6) durante el curado de la sección de barril interior 416. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo y el método 500 pueden implementarse para calentar piezas de trabajo 418 de una cualquiera de una variedad de diferentes tamaños, formas y configuraciones, y no se limita a curar una sección de barril interior 416. Además, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo y el método 500 pueden implementarse para calentar piezas de trabajo 418 formadas por una cualquiera de una variedad de diferentes tipos de materiales, incluyendo piezas de trabajo 418 formadas de material metálico, material no metálico o una combinación de material metálico y material no metálico. En algunos ejemplos, una pieza de trabajo puede ser una pieza compuesta, que puede describirse como un conjunto de componentes formados por el mismo material o por otro diferente.

La Figura 3 muestra la sección de barril interior 416 configurada como una pieza compuesta 424 que comprende una estructura tipo sándwich 426 que incluye un núcleo 430 que tiene láminas frontales 428 en lados opuestos del núcleo 430. En el ejemplo mostrado, el núcleo 430 tiene una configuración tipo panal y puede estar formado de material metálico (p. ej., aluminio) o material no metálico (p. ej., aramida). Una o ambas láminas frontales 428 de la sección de barril interior 416 pueden estar formadas por una pila de varias capas compuestas laminadas no curadas de material de matriz de polímero reforzado con fibra (p. ej., preimpregnado) tal como un material preimpregnado de grafito-epoxi o un material preimpregnado de fibra de vidrio-epoxi. Alternativamente, una o ambas láminas frontales 428 pueden estar formadas de material metálico tal como aluminio. Las láminas frontales 428 y el núcleo 430 pueden colocarse sobre un mandril 300 (p. ej., la Figura 9) con una capa de película adhesiva (no mostrada) entre cada lámina frontal 428 y el núcleo 430. La estructura tipo sándwich montada en el mandril 426 puede curarse dentro del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo (p. ej., la Figura 6) como se describe a continuación. Aunque no se muestra, una pieza de trabajo 418 puede comprender una pila de capas compuestas preimpregnadas sin curar con o sin capas adicionales de capas no curadas, y que pueden consolidarse y/o curarse en un mandril 300 usando el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo desvelado actualmente.

Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, se puede proporcionar una pieza de trabajo 418 en cualquier configuración, y no se limita a una estructura tipo sándwich 426 o a un laminado de capas compuestas.

La Figura 4 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que puede implementarse para calentar una pieza de trabajo 418 (Figura 5) tal como durante una operación de curado. El sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo tiene una cubierta exterior 102 configurada para contener gas (p. ej., gas calentado). La cubierta exterior 102 también puede funcionar como un recipiente a presión para versiones presurizadas del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo, como se describe a continuación. La cubierta exterior 102 puede proporcionarse como un conjunto de cubierta 104 de dos o más porciones de cubierta. En el ejemplo mostrado, el conjunto de cubierta 104 incluye una primera porción de cubierta 106 (p. ej., una porción de cubierta superior) y una segunda porción de cubierta 108 (p. ej., una porción de cubierta inferior), que puede acoplarse a lo largo de una junta de cubierta circunferencial 118 como se describe a continuación.

Con referencia a la Figura 5, se muestra una vista en perspectiva del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 4 que muestra la primera porción de cubierta 106 separada de la segunda porción de cubierta 108 para ilustrar un sistema de campana 220 configurado para ser colocado al menos parcialmente sobre una pieza de trabajo 418 soportada en un mandril 300. El sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo incluye adicionalmente un dispositivo de desplazamiento de gas 150 (p. ej., Figura 6) y al menos un intercambiador térmico 200 (p. ej., Figura 6) como se describe a continuación. El o los intercambiadores térmicos 200 pueden incluir un dispositivo de calentamiento 204 para calentar el gas 152, y pueden incluir un dispositivo de enfriamiento 206 para enfriar el gas 152. El dispositivo de desplazamiento de gas 150 (p. ej., Figura 6) y el o los intercambiadores térmicos 200 pueden estar montados opcionalmente de manera fija en la segunda porción de cubierta 108 (p. ej., la porción de cubierta inferior). En la Figura 5, el sistema de cubierta 220 puede estar acoplado o soportado por la primera porción de cubierta 106 (p. ej., la porción de cubierta superior) de modo que la primera porción de cubierta 106 y el sistema de cubierta 220 son móviles como una unidad. Sin embargo, el sistema de campana 220 puede ser un componente separado de la primera porción de cubierta 106. Como se describe a continuación, el mandril 300 y la pieza de trabajo 418 pueden colocarse en relación con el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el o los intercambiadores térmicos 200. El sistema de campana 220 puede instalarse sobre el mandril 300 antes del acoplamiento de la primera porción de cubierta 106 a la segunda porción de cubierta 108 para contener el mandril 300 y la pieza de trabajo 418, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el o los intercambiadores térmicos 200.

La Figura 6 es una vista en sección en perspectiva del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 5 que muestra un ejemplo de un mandril 300 y la pieza de trabajo asociada 418, un sistema de campana 220, un dispositivo de desplazamiento de gas 150 y un intercambiador térmico 200, todos los cuales se muestran contenidos por la cubierta exterior 102. El mandril 300 tiene un extremo proximal de mandril 304 y un extremo distal de mandril 306 y define un eje de mandril 302 que se extiende entre el extremo proximal de mandril 304 y el extremo distal de mandril 306. En la presente divulgación, un extremo proximal de un componente es el extremo más cercano al extremo inferior de la cubierta exterior 102 o el extremo de la cubierta exterior 102 que contiene el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200. En la presente divulgación, el extremo distal de un componente es el extremo más alejado del extremo inferior de la cubierta exterior 102 o más alejado del extremo que contiene el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200. En el ejemplo que se muestra en la Figura 6, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo está configurado para recibir el mandril 300 orientado aproximadamente de manera vertical (p. ej., en 30 grados). Sin embargo, en otros ejemplos, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede configurarse para contener un mandril 300 orientado en una cualquiera de una variedad de orientaciones. Por ejemplo, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo mostrado en las Figuras 24-27 y descrito a continuación está configurado para recibir un mandril 300 orientado aproximadamente de manera horizontal.

En una cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir al menos un miembro de soporte de mandril 322 (p. ej., Figuras 6 y 13) acoplado de manera fija a la segunda porción de cubierta 108 (p. ej., la porción de cubierta inferior) y configurado para soportar el mandril 300 cuando se coloca dentro de la cubierta exterior 102. Además, el miembro de soporte de mandril 322 puede soportar el sistema de campana 220. En un ejemplo, el miembro de soporte de mandril 322 puede configurarse como una placa perforada o rejilla (no mostrada) para soportar la masa del mandril 300 cuando se coloca dentro de la cubierta exterior 102. Por ejemplo, la Figura 6 ilustra el miembro de soporte de mandril 322 configurado como una placa de forma anular que tiene un borde perimetral exterior acoplado a la segunda porción de cubierta 108. La placa de forma anular puede extenderse radialmente hacia el interior al menos hasta la ubicación radial del extremo proximal de mandril 304 cuando el mandril 300 se coloca dentro de la cubierta exterior 102. El mandril 300 puede estar soportado sobre la placa de forma anular al igual que el sistema de campana 220. La placa de forma anular puede tener aberturas, orificios, ranuras o aperturas para permitir que el gas 152 pase libremente a través de la placa de forma anular a medida que el gas 152 fluye a lo largo de la trayectoria de circulación de gas 250. Alternativa o adicionalmente, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir uno o más miembros de soporte de mandril 322 configurados como una pluralidad de montantes discretos (no mostrados) que se extienden radialmente hacia el interior de la segunda porción de cubierta 108 para soportar el

mandril 300 cuando se coloca dentro de la cubierta exterior 102. En otras realizaciones, el extremo proximal de mandril 304 puede estar soportado en el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y/o en el intercambiador térmico 200, o bien ambos pueden estar montados o soportados por la segunda porción de cubierta 108 (p. ej., la porción de cubierta inferior).

5 El mandril 300 en la Figura 6 incluye una parte frontal del mandril 310 y una parte posterior del mandril 312 opuesta a la parte frontal del mandril 310. La parte frontal de mandril 310 soporta la pieza de trabajo 418 durante el procesamiento (p. ej., curado) de la pieza de trabajo cuando está contenida dentro de la cubierta exterior 102. La parte frontal del mandril 310 también puede describirse como la superficie de mantenimiento del mandril 300. Por ejemplo, la pieza de trabajo 418, tal como la sección de barril interior 416 descrita anteriormente, puede mantenerse
10 en la parte frontal del mandril 310 del mandril 300, después de lo cual la estructura tipo sándwich con soporte de mandril 426 puede colocarse dentro de la cubierta exterior 102. El intercambiador térmico 200 y el dispositivo de desplazamiento de gas 150 pueden entonces funcionar de una manera para calentar el mandril 300 y la pieza de trabajo 418 para facilitar el curado de la película adhesiva (no mostrada) de la estructura tipo sándwich 426 para unir cada lámina frontal 428 (Figura 5) al núcleo 430 (Figura 5).

15 Con referencia a la Figura 5-6, la cubierta exterior 102 puede dimensionarse y configurarse de forma complementaria al sistema de campana 220, que puede dimensionarse y configurarse de forma complementaria al mandril 300 y a la pieza de trabajo 418. En la Figura 6, la cubierta exterior 102 incluye una pared frontal de cubierta 110 que tiene una sección transversal cilíndrica y está contenida por una cúpula de cubierta 112 en el extremo proximal de cubierta 114 y en el extremo distal de cubierta 116. Las cúpulas de cubierta 112 y la sección transversal cilíndrica de las paredes frontales de cubierta 110 permiten que la cubierta exterior 102 resista la presurización interna de la cubierta exterior 102. Sin embargo, la cubierta exterior 102 puede configurarse para que no esté presurizada, en cuyo caso la pared frontal de cubierta 110 puede ser no cilíndrica, aunque una versión no presurizada de la cubierta exterior puede tener una sección transversal cilíndrica. La cubierta exterior 102 puede proporcionarse en una cualquiera de una variedad de formas y geometrías diferentes. Por ejemplo, la cubierta exterior 102 puede formarse como una pared de múltiples lados (no mostrada) que tiene una o más porciones de pared frontal plana (no mostrada) y puede estar contenida por una placa generalmente plana (no mostrada) en el extremo proximal de cubierta 114 y/o en el extremo distal de cubierta 116. En el ejemplo que se describe a continuación del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en las Figuras 24-27, la cubierta exterior 102 tiene una sección transversal de forma no cilíndrica configurada complementaria a los componentes internos. Sin embargo, la cubierta exterior 102 de la realización del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en las Figuras 24-27 puede tener una sección transversal cilíndrica.

En una cualquiera de las realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo, la cubierta exterior 102 puede estar formada por un material relativamente rígido. Por ejemplo, la cubierta exterior 102 puede estar formada por material metálico tal como acero, aluminio u otro material metálico. Alternativa o adicionalmente, la cubierta exterior 102 puede estar formada por un material no metálico, tal como material polimérico no reforzado con fibras, o la cubierta exterior 102 puede estar formada por una combinación de material metálico y material no metálico. La cubierta exterior 102 puede estar configurada para soportar físicamente la masa de los componentes que incluyen, entre otros, el intercambiador térmico 200, el dispositivo de desplazamiento de gas 150, el mandril 300 y la pieza de trabajo 418, y otros componentes.

40 Para realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo configurado para el procesamiento de las piezas de trabajo 418 a alta temperatura y/o alta presión, la cubierta exterior 102 puede estar formada de una aleación de acero que tiene un límite elástico relativamente alto a temperaturas y/o presiones elevadas. Como se ha mencionado anteriormente, en algunos ejemplos, la cubierta exterior 102 puede configurarse para presurizarse por encima de la presión atmosférica para permitir la aplicación de una presión de compactación relativamente alta en una pieza compuesta 424, tal como una pila de capas compuestas no curadas (no mostrada). Como se muestra en la Figura 6, la cubierta exterior 102 puede incluir opcionalmente aislamiento térmico 120. Por ejemplo, la superficie interna del exterior debe estar revestida con una capa de aislamiento formada de espuma, caucho, cerámica u otro material aislante térmico para reducir la pérdida de calor con respecto al ambiente exterior y/o mantener la superficie de la cubierta exterior 102 a una temperatura segura para el entorno de una fábrica.

50 Como se ha mencionado anteriormente, la cubierta exterior 102 puede incluir una primera porción de cubierta 106 y una segunda porción de cubierta 108 configuradas para acoplarse entre sí a lo largo de una junta de cubierta 118. En algunos ejemplos del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo, la primera porción de cubierta 106 se puede levantar y bajar a su posición sobre la segunda porción de cubierta 108, tal como mediante el uso de una grúa aérea u otros medios de elevación. Para mandriles relativamente pequeños 300, el mandril/pieza de trabajo, el sistema de campana 220 y la primera porción de cubierta 106 se pueden trasladar a lo largo de una planta de producción y se pueden levantar manualmente en una posición hasta la segunda porción de cubierta 108, evitando la necesidad de una grúa aérea. En el ejemplo que se muestra en la Figura 6, la junta de cubierta 118 entre la primera porción de cubierta 106 y la segunda porción de cubierta 108 se puede configurar como una junta circunferencial orientada generalmente perpendicular al eje de mandril 302 cuando el mandril 300 se coloca dentro de la cubierta exterior 102. En algunas realizaciones, la junta de cubierta 118 puede configurarse para sellar la

primera porción de cubierta 106 con la segunda porción de cubierta 108 de una manera que permita que el interior de la cubierta exterior 102 se presurice positivamente usando una fuente de presión positiva 370 (p. ej., Figura 32) como puede ser deseable para aumentar la presión de compactación en una pieza de trabajo 418.

La junta de cubierta 118 puede tener una cualquiera de una variedad de configuraciones. Por ejemplo, aunque no se muestra, la primera porción de cubierta 106 y la segunda porción de cubierta 108 pueden incluir cada una, una brida circunferencial (no mostrada) para facilitar el acoplamiento de la primera porción de cubierta 106 a la segunda porción de cubierta 108. Cada brida circunferencial puede incluir orificios de acoplamiento (no mostrados) para recibir elementos de sujeción mecánicos para sujetar la primera porción de cubierta 106 a la segunda porción de cubierta 108. En una realización adicional no mostrada, la primera porción de cubierta 106 y la segunda porción de cubierta 108 pueden estar acopladas entre sí usando un anillo externo (no mostrado) que se extiende alrededor de la circunferencia de la junta de cubierta 118 y que puede girar de una manera que fuerza la primera la porción de cubierta 106 y la segunda porción de cubierta 108 en un contacto de acoplamiento entre sí alrededor de la circunferencia de la junta de cubierta 118. En una cualquiera de las realizaciones de la cubierta exterior 102, la junta de cubierta 118 puede sellarse usando una o más juntas tóricas circunferenciales (no mostradas) montadas dentro de muescas circunferenciales (no mostradas) formadas opcionalmente en las bridas (no mostradas) de la primera porción de cubierta 106 y la segunda porción de cubierta 108. En otra realización adicional, la primera porción de cubierta 106 puede estar acoplada a la segunda porción de cubierta 108 mediante una o más bisagras (no mostradas) para permitir el pivotamiento de la primera porción de cubierta 106 lejos de la segunda porción para permitir el acceso al interior de la cubierta exterior 102 para instalar o retirar el sistema de campana 220 y el mandril 300 y la pieza de trabajo 418, y para permitir el acceso a los componentes operativos tales como el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200.

Con referencia todavía a la Figura 6, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede estar montado en la cubierta exterior 102 en una ubicación que permita que el mandril 300 esté centrado generalmente en relación con el dispositivo de desplazamiento de gas 150. El dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede incluir una carcasa de dispositivo 158 que tiene una entrada central 164 configurada para recibir gas 152 del intercambiador térmico 200. El gas 152 puede ser aire ambiente, o el gas puede ser nitrógeno, dióxido de carbono u otra composición de gas que puede inyectarse en la cubierta exterior 102 una vez que la primera porción de cubierta 106 se acopla a la segunda porción de cubierta 108. La selección de la composición del gas 152 para su uso en el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede basarse en los parámetros de procesamiento para la pieza de trabajo 418. Por ejemplo, se puede usar aire para procesar (p. ej., curar) piezas compuestas 424 a temperaturas relativamente bajas y/o a presiones relativamente bajas (p. ej., presión atmosférica) dentro del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo. En cambio, el nitrógeno o el dióxido de carbono u otro gas inerte pueden usarse para procesar una pieza de trabajo 418 a temperaturas elevadas y/o presiones elevadas (p. ej., por encima de la presión atmosférica) dentro del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo.

El dispositivo de desplazamiento de gas 150 incluye una salida circunferencial exterior 166 configurada para descargar el gas 152 radialmente hacia el exterior. En la Figura 6, la salida circunferencial exterior 166 está ubicada de tal manera que el gas 152 se descarga radialmente hacia el exterior hacia el lado trasero del mandril 312 cuando el mandril 300 se coloca dentro de la cubierta exterior 102. Como se describe a continuación, a medida que el gas 152 incide y/o se adhiere o fluye sobre la parte posterior del mandril 312, el gas 152 se calienta o enfría convectivamente (dependiendo de si el gas está más caliente o más frío que la pieza de trabajo 418) el mandril 300 calienta o enfría convectivamente la pieza de trabajo 418 apoyada en el mandril 310. Además, en el lado opuesto del mandril 300, el gas 152 que fluye sobre la pieza de trabajo 418 calienta o enfría convectivamente la pieza de trabajo 418.

El dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede descargar el gas 152 (p. ej., gas calentado o enfriado) de tal manera que el gas 152 incide o se adhiere o fluye uniformemente sobre la parte posterior del mandril 312 a una velocidad relativamente alta. Por ejemplo, el gas 152 puede fluir directamente a lo largo de la parte posterior del mandril 312 del mandril 300 a una velocidad controlada de una manera que da como resultado un calentamiento circunferencialmente uniforme del mandril 300. En algunos ejemplos, como en la Figura 6, el impacto del gas 152 a lo largo de la parte posterior del mandril 312 puede describirse como un impacto directo en el sentido de que al menos parte del gas 152 que sale de la salida circunferencial exterior 166 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 fluye directamente hacia la parte posterior del mandril 312 sin cambiar de dirección y/o sin ser obstruido por ninguna otra estructura o componente. En un ejemplo, el impacto directo puede describirse como el resultado de una trayectoria de flujo de la línea de visión de al menos parte del gas 152 de la salida circunferencial exterior 166 a la parte posterior del mandril 312. El impacto directo del gas 152 contra la parte posterior del mandril 312 o la fijación o movimiento del gas 152 a lo largo de la parte posterior del mandril 312 puede aumentar significativamente la velocidad a la que cambia la temperatura de la pieza de trabajo 418 (p. ej., se calienta o enfría). Además de dirigir el gas 152 hacia y/o a lo largo de la parte posterior del mandril 312, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede describirse como un ventilador de circulación configurado para hacer circular el gas 152 a través del interior del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo 100 como se describe a continuación.

El dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede incluir un disco de ventilador 156 (p. ej., Figura 12) que tiene

aspas de ventilador o una rueda de ventilador para extraer gas 152 hacia la entrada central 164 y descargar radialmente gas 152 de la salida circunferencial exterior 166. El dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede ser accionado rotativamente por un motor 180, tal como un motor eléctrico, aunque el dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede ser accionado rotativamente por otros medios, como medios neumáticos (no mostrados). En el ejemplo de las Figuras 6-7, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 está acoplado operativamente por un árbol 184 a un motor 180 (p. ej., motor eléctrico) ubicado fuera de la cubierta exterior 102 para evitar la necesidad de un motor capaz de alta temperatura 180. El motor 180 puede estar contenido dentro de una carcasa de motor 182 para su protección contra los elementos. La carcasa de motor 182 puede estar montada en el exterior de la cubierta exterior 102. El árbol 184 puede sellarse a la cubierta exterior 102 usando un sello del árbol 186. Sin embargo, en otros ejemplos, el motor 180 puede estar montado dentro de la cubierta exterior 102. Por ejemplo, el motor 180 puede estar montado o integrado con el dispositivo de desplazamiento de gas 150 como se muestra en la realización de las Figuras 14, 19, 26 y 32 como se describe a continuación.

En las Figuras 6-7, el intercambiador térmico 200 está montado dentro de la cubierta exterior 102 aguas arriba del dispositivo de desplazamiento de gas 150. El intercambiador térmico 200 puede incluir una carcasa de intercambiador térmico 202 configurada para ser acoplada a la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150. El intercambiador térmico 200 está configurado para recibir el gas 152 que circula por el interior de la manera mostrada en las Figuras 6, 13, 14, 19 y 26, y acondiciona (p. ej., calentar o enfriar) el gas 152 antes de que el gas 152 entre a la entrada central 164 del dispositivo de desplazamiento de gas 150. El intercambiador térmico 200 puede calentar o enfriar el gas 152 dependiendo de si la pieza de trabajo 418 requiere calentamiento o enfriamiento para mantener la pieza de trabajo 418 dentro del intervalo de temperatura y/o ritmo constante de variación dictados por los requisitos de procesamiento de la pieza de trabajo 418 (p. ej., consolidación, curado, etc.).

El intercambiador térmico 200 puede ubicarse inmediatamente aguas arriba del dispositivo de desplazamiento de gas 150 sin otros componentes entre el intercambiador térmico 200 y el dispositivo de desplazamiento de gas 150. En algunos ejemplos, el intercambiador térmico 200 (p. ej., un dispositivo de calentamiento 204 y un dispositivo de enfriamiento opcional 206) puede acoplarse de manera fluida (p. ej., a través de un conducto anular, no mostrado) a la entrada central 164 del dispositivo de desplazamiento de gas 150. En otros ejemplos, la salida del intercambiador térmico 200 puede estar directamente acoplada a la entrada central 164 del dispositivo de desplazamiento de gas 150. Como se ha indicado anteriormente, el intercambiador térmico 200 está configurado para calentar y/o enfriar el gas 152 que circula a través del interior del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo antes de que el gas 152 se introduzca en la entrada central 164 del dispositivo de desplazamiento de gas 150.

Con referencia todavía a las Figuras 6-7, el intercambiador térmico 200 puede configurarse como un intercambiador térmico 200 dispuesto circunferencialmente. Alternativamente, en una realización no mostrada, el intercambiador térmico 200 puede configurarse como una pluralidad de intercambiadores térmicos 200 dispuestos circunferencialmente. El uno o más intercambiadores térmicos 200 pueden incluir uno o más dispositivos de calentamiento 204. Una pluralidad de dispositivos de calentamiento 204 pueden estar dispuestos circunferencialmente. Uno o más de los dispositivos de calentamiento 204 pueden configurarse como un calentador eléctrico tal como un calentador que contiene elementos de calentamiento por resistencia eléctrica.

En otra realización adicional, uno o más de los dispositivos de calentamiento 204 pueden proporcionarse como un calentador que hace circular un medio fluido tal como vapor, agua caliente o aceite a través de tubos de transferencia de calor (no mostrados) del dispositivo de calentamiento 204. Por ejemplo, los dispositivos de calentamiento 204 pueden configurarse para extraer y hacer circular un medio fluido dentro del dispositivo de calentamiento 204. El fluido térmico puede calentarse mediante la combustión de gas o petróleo en una cámara de combustión (no mostrada) ubicada externamente a la cubierta exterior 102. Sin embargo, el uno o más dispositivos de calentamiento 204 se pueden proporcionar en una cualquiera de una variedad de configuraciones capaces de calentar el gas 152 de una manera que permita calentar la pieza de trabajo 418 a la temperatura de procesamiento deseada (p. ej., curado).

El intercambiador térmico 200 también puede incluir uno o más dispositivos de enfriamiento 206 para enfriar activamente la pieza de trabajo 418 y/o controlar la velocidad de enfriamiento de la pieza de trabajo 418. Por ejemplo, el intercambiador térmico 200 puede incluir una pluralidad de dispositivos 206 de enfriamiento dispuestos circunferencialmente ubicados radialmente en el interior de una pluralidad de dispositivos 204 de calentamiento dispuestos circunferencialmente, o los dispositivos de calentamiento 204 pueden estar ubicados radialmente en el interior de los dispositivos de enfriamiento 206. Dichos dispositivos de enfriamiento 206 pueden permitir enfriar la pieza de trabajo 418 y el mandril 300 a una velocidad más rápida que la que se podría lograr con un enfriamiento pasivo. Ventajosamente, un dispositivo de enfriamiento 206 puede permitir enfriar la pieza de trabajo 418 a una velocidad que puede reducir o prevenir el microcraqueo que, de otro modo, podría ocurrir debido a tensiones inducidas térmicamente causadas por diferencias en el coeficiente de expansión térmica (CET) de los materiales que conforman la pieza de trabajo 418. En un ejemplo, un dispositivo de enfriamiento 206 puede incluir una pluralidad de tubos de enfriamiento (no mostrados) a través de los cuales puede circular un fluido de enfriamiento tal como agua de enfriamiento.

Con referencia a las Figuras 6-8, se muestra el sistema de campana 220, que incluye una primera pared de campana 222 y una segunda pared de campana 224, cada una configurada para extenderse circunferencialmente en una relación radialmente espaciada entre sí. En las realizaciones descritas en el presente documento, cuando el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo está en el estado ensamblado o contenido como se muestra en la Figura 6, el sistema de campana 220 está configurado de tal manera que la primera pared de campana 222 está en relación radialmente espaciada con la parte posterior del mandril 312, y la segunda pared de campana 224 está en relación radialmente espaciada con la pared frontal del mandril 310. En la Figura 6, la primera pared de campana 222 está situada radialmente hacia el interior de la segunda pared de campana 224, y la parte posterior del mandril 310 está situada radialmente en el exterior de la parte posterior 312 del mandril. A este respecto, la Figura 6 y las Figuras 14 y 26 descritas a continuación ilustran realizaciones en las que la pieza de trabajo 418 tiene una línea de molde interna (LMI) 420 ubicada en el lado radialmente interno de la pieza de trabajo 418. Una línea de molde puede describirse como la superficie de la pieza de trabajo 418 que está en contacto con la parte frontal del mandril 310 y está moldeada con respecto al contorno de la parte frontal del mandril 310. La Figura 19 descrita a continuación ilustra una realización en la que la pieza de trabajo 418 tiene una línea de molde exterior (LMO) 422 ubicada en un lado radialmente exterior de la pieza de trabajo 418.

El sistema de campana 220 en combinación con el mandril 300 y la pieza de trabajo 418 definen en conjunto una trayectoria de circulación de gas 250 a lo largo de la cual el gas 152 fluye por el mandril 300 y la pieza de trabajo 418. A este respecto, la primera pared de campana 222 y el parte posterior del mandril 312 definen en conjunto un primer espacio anular 256 configurado para recibir el gas 152 descargado del dispositivo de desplazamiento de gas 150, y dirigir el gas 152 en una dirección generalmente axial a lo largo de un primer 254 segmento de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas 250 del extremo proximal del mandril 304 hasta el extremo distal del mandril 306. La segunda pared de campana 224 y la parte posterior del mandril 310 definen en conjunto un segundo espacio anular 260 configurado para recibir el gas 152 del primer espacio anular 256 y dirigir el gas 152 en una dirección generalmente axial a lo largo de un segundo 258 segmento de trayectoria del flujo de la trayectoria de circulación de gas 250 del extremo distal del mandril 306 al extremo proximal del mandril 304. El gas 152 del segundo 258 segmento de trayectoria de flujo es arrastrado hacia el intercambiador térmico 200 bajo la fuerza de circulación del dispositivo de desplazamiento de gas 150. El gas 152 es acondicionado (p. ej., calentado o enfriado) por el intercambiador térmico 200 antes de volver a entrar en el dispositivo de desplazamiento de gas 150 para recircular a lo largo de la trayectoria de circulación de gas 250.

Con referencia todavía a las Figuras 6-8, la primera pared de campana 222 y la segunda pared de campana 224 tienen cada una un extremo proximal de pared y un extremo distal de pared. El extremo proximal de pared de la primera pared de campana 222 puede estar acoplado al extremo distal de carcasa 162 de la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150. El sistema de campana 220 puede incluir una pared de extrema de campana 226 que conecta los extremos distales de pared de la primera pared de campana 222 y la segunda pared de campana 224. La pared de extremo de campana 226 puede incluirse en una cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, y puede facilitar una inversión suave en la dirección del gas 152 que fluye a lo largo del primer 254 segmento de trayectoria de flujo respecto a una dirección opuesta del gas 152 que fluye a lo largo del segundo 258 segmento de trayectoria de flujo. Cuando el sistema de campana 220 se ve a lo largo de una sección transversal radial como se muestra en la Figura 8, la pared de extremo de campana 226 puede tener un perfil que forma un arco de aproximadamente 180 grados para proporcionar una trayectoria suavemente curvada para invertir la dirección del flujo del gas 152. La pared de extremo de campana 226 puede ser tangente al extremo distal de pared de la primera pared de campana 222 y tangente al extremo distal de pared de la segunda pared de campana 224.

En el ejemplo de las Figuras 6-8, la primera pared de campana 222, la pared de extremo de campana 226 y la segunda pared de campana 224 pueden formarse como una estructura de una pieza dimensionada y conformada complementaria al mandril 300 y a la pieza de trabajo 418. El sistema de campana 220 puede estar formado de material metálico y/o material no metálico. Por ejemplo, el sistema de campana 220 puede estar formado de aluminio, acero y/o material polimérico capaz de retener la integridad estructural a temperaturas de funcionamiento en el interior del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo. Cuando se ve a lo largo de una sección transversal radial como se muestra en la Figura 8, el sistema de campana 220 puede configurarse de modo que la primera pared de campana 222 esté contorneada de manera que se mantenga una separación deseada de la parte posterior del mandril 312. Del mismo modo, la segunda pared de campana 224 puede estar contorneada de una manera que mantenga una separación deseada de la parte frontal del mandril 310 y la pieza de trabajo 418. Como se describe a continuación, el contorno y la separación entre el sistema de campana 220 y el mandril 300 pueden ser dictados en parte por el caudal volumétrico del gas 152 a lo largo de la trayectoria de circulación de gas 250, la velocidad de flujo del gas 152 y otros parámetros. A este respecto, la geometría del sistema de campana 220 puede ser diferente para diferentes configuraciones del mandril 300 y la pieza de trabajo 418.

Con referencia a las Figuras 9-11, se muestra el mandril 300 de las Figuras 5-7 con la pieza de trabajo 418 apoyada en la parte posterior del mandril 310. La Figura 10 es una sección transversal del mandril 300 que muestra el contorno de la pieza de trabajo 418 y la parte posterior del mandril 310. La Figura 11 es una vista en sección de una porción del borde superior de la pieza de trabajo 418 que muestra un ejemplo de una bolsa de vacío 362 que cubre

la pieza de trabajo 418. En la Figura 11, la pieza de trabajo 418 puede configurarse como una pieza compuesta 424 que comprende una estructura tipo sándwich 426 que tiene un núcleo tipo panel 430 y láminas frontales opuestas 428. La bolsa de vacío 362 puede sellarse en la parte posterior del mandril 310 usando un sellador de bolsa 364. También se muestra una línea de vacío 366 que puede acoplarse de manera fluida a la bolsa de vacío 362 y extenderse a través de la cubierta exterior 102 a una fuente de vacío 360 para aplicar un vacío a la bolsa de vacío 362. La bolsa de vacío 362 puede facilitar la extracción de aire, humedad y/o volátiles de la pieza de trabajo 418 y/o generar una presión de compactación sobre la pieza de trabajo 418 durante la aplicación de vacío en la bolsa de vacío 362.

Aunque el mandril 300 en la Figura 9 es generalmente cilíndrico y tiene una parte frontal del mandril radialmente externa 310 (Figura 10) para impartir un contorno de línea de molde interna 420 (Figura 10) en la pieza compuesta 424, en otros ejemplos no mostrados, el mandril 300 puede tener una forma no cilíndrica, tal como una forma ovalada, y puede tener una parte frontal de mandril 310 radialmente interna (p. ej., Figura 19). En otros ejemplos aún no mostrados, el mandril 300 puede tener un perfil de sección transversal no redondeado, tal como una forma que tiene una o más superficies de mandril generalmente planas (no mostradas) opcionalmente unidas por esquinas redondeadas (no mostradas). A este respecto, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede estar conformado y configurado para contener un mandril 300 que tiene una cualquiera de una variedad de diferentes tamaños, formas y configuraciones. Por ejemplo, el mandril 300 puede configurarse como un mandril hueco que tiene una sección transversal de perfil aerodinámico (no mostrada) sobre la cual pueden mantenerse capas compuestas y luego colocarse dentro de una versión complementariamente configurada del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo 100 para consolidar y curar la disposición de la capa compuesta. Los ejemplos no limitativos de mandriles que tienen una sección transversal de perfil aerodinámico incluyen un mandril para fabricar un ala 406 (Figura 1), una superficie de cola (p. ej., cola horizontal 408 o una cola vertical 410 - Figura 1), una aleta marginal o una superficie de control. Tal mandril hueco puede colocarse en una orientación aproximadamente vertical similar a la orientación vertical del mandril 300 de la Figura 6 con el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200 centrados con respecto al mandril 300. En otro ejemplo, el mandril 300 puede configurarse como un mandril curado hueco 300 para disponer y curar una pieza 424 compuesta alargada hueca tal como una sección de barril de fuselaje 404 (Figura 1) usando un sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo configurado de modo similar a la realización mostrada en las Figuras 24-27 y descrito a continuación.

Con referencia a la Figura 12, se muestra una vista en sección superior del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 6 que muestra el mandril 300 y la pieza de trabajo 418, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el sistema de campana 220 contenido por la cubierta exterior 102. También se muestra una capa de aislamiento térmico 120 que opcionalmente recubre la cubierta exterior 102. La segunda pared de campana 224 (es decir, la pared exterior de la campana) se muestra rodeando el mandril 300 y la pieza de trabajo 418, que está soportada en la parte frontal del mandril 310 del mandril 300. El dispositivo de desplazamiento de gas 150 está ubicado en el centro con respecto al mandril 300 y tiene una carcasa de dispositivo 158 para recibir gas 152 en la entrada central 164 y descargar el gas 152 (p. ej., aire calentado) de la salida circunferencial exterior 166 en una dirección radial hacia la parte posterior del mandril 312. En la realización mostrada, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 está configurado como un único ventilador centrífugo 154 que tiene un disco de ventilador 156. El disco de ventilador 156 puede incluir una pluralidad de aspas de ventilador. El ventilador centrífugo 154 puede descargar el gas 152 radialmente hacia el exterior 360 grados alrededor de la salida circunferencial exterior 166.

Aunque el dispositivo de desplazamiento de gas 150 se ilustra en la Figura 12 como un único ventilador centrífugo 154, en una realización no mostrada, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede estar comprendido por una pluralidad de ventiladores axiales (no mostrados) dispuestos en un conjunto circular alrededor de la carcasa de ventilador. Cada ventilador axial puede estar configurado para recibir gas 152 de la entrada central 164, y puede estar orientado para descargar gas 152 radialmente hacia el exterior de la salida circunferencial exterior 166. Se puede describir que cada ventilador axial del conjunto circular tiene aspas de ventilador dispuestas para acelerar el gas 152 a lo largo de una dirección paralela a un eje de rotación de las aspas de ventilador. Por el contrario, las aspas de ventilador del único ventilador centrífugo 154 ilustrado en la Figura 12 aceleran el gas 152 a lo largo de una dirección perpendicular al eje de rotación de las aspas del ventilador que puede coincidir con el eje del mandril 302.

Con referencia a la Figura 13, se muestra una vista en sección frontal del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 12 que ilustra el gas 152 que fluye a través del primer espacio anular 256 entre la primera pared de campana 222 (p. ej., la pared interior de campana) y la parte posterior del mandril 312 a lo largo del primer 254 segmento de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas 250, y también ilustra el gas 152 que fluye a través del segundo espacio anular 260 entre la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana) y la parte frontal 310 del mandril 310 (y la pieza de trabajo 418) a lo largo del segundo 258 segmento de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se muestra en las Figuras 6 y 12, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 está colocado de tal manera que el extremo proximal de carcasa 160 de la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 no está axialmente más aguas abajo

que el extremo proximal del mandril 304. Más específicamente, la salida circunferencial exterior 166 está generalmente en la misma ubicación axial que la porción aguas abajo de la pieza de trabajo 418.

Al colocar el dispositivo de desplazamiento de gas 150 como se muestra, el gas 152 que se descarga de la salida circunferencial exterior 166 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 incide directamente en el parte posterior del mandril 312 a una velocidad relativamente alta en una ubicación en el mandril 300 opuesta a la pieza de trabajo 418, dando como resultado una transferencia de calor relativamente alta del gas 152 al mandril 300 y la pieza de trabajo 418. Debido a que el gas 152 que se descarga de la salida circunferencial exterior 166 puede estar a la temperatura más alta (para el gas calentado 152), el gas 152 que incide y/o fluye a lo largo de la parte posterior del mandril 312 se calienta rápidamente y se distribuye a través de la masa térmica del mandril 300 causando calentamiento conductivo de la pieza de trabajo 418. La difusión o distribución de calor a través de la masa térmica del mandril 300 reduce o evita ventajosamente los gradientes de temperatura que de otro modo pueden ocurrir en diferentes ubicaciones de la pieza de trabajo 418 si el gas 152 que se descarga desde el dispositivo de desplazamiento de gas 150 impactara directamente en la pieza de trabajo de en lugar de la parte posterior del mandril 312. De esta manera, la disposición del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo promueve el calentamiento uniforme (o enfriamiento) de todas las ubicaciones a través de la pieza de trabajo 418, lo que puede dar como resultado la capacidad de curar la pieza de trabajo 418 dentro de intervalos de temperatura relativamente estrechos que pueden requerirse en cada una de una o más etapas de curado de un ciclo de curado, asegurando así propiedades mecánicas uniformes en todas las ubicaciones a lo largo de la pieza de trabajo curada 418.

Con referencia todavía a la Figura 13, el sistema de campana 220 dirige el gas 152 a través del primer espacio anular 256 y el segundo espacio anular 260 haciendo que el gas 152 fluya sobre el mandril 300 y la pieza de trabajo 418, añadiendo además la transferencia de calor a la pieza de trabajo 418 y reduciendo el tiempo total del ciclo de curado. En algunos ejemplos, el sistema de campana 220 puede configurarse para proporcionar un espaciado de parte posterior de pared 228 de aproximadamente 1-10 pulgadas (2,54-25,4 centímetros) entre la primera pared de campana 222 y la parte posterior del mandril 312. Además, el sistema de campana 220 puede configurarse para proporcionar un espaciado de parte frontal de pared 230 de aproximadamente 1 a 10 pulgadas (2,54-25,4 centímetros) entre la segunda pared de campana 224 y la parte frontal del mandril 310 y la pieza de trabajo 418 apoyada en la parte frontal del mandril 310. En algunos ejemplos, el espaciado de parte posterior de pared 228 y/o el espaciado de parte frontal de pared 230 pueden estar en el intervalo de aproximadamente 2-6 pulgadas (5,08-15,2 centímetros). Sin embargo, el espaciado de parte posterior de pared 228 y/o el espaciado de parte frontal de pared 230 pueden ser inferiores a 1 pulgada (2,54 centímetros) o superiores a 10 pulgadas (25,4 centímetros). Además, el espaciado de parte posterior de pared 228 puede ser diferente del espaciado de parte frontal de pared 230. A este respecto, la geometría del sistema de campana 220 tal como el perfil en sección transversal de la primera pared de campana 222 y la segunda pared de campana 224 puede configurarse para proporcionar las características de flujo deseadas del gas 152. Sin embargo, la geometría del sistema de campana 220 y el espaciado entre las paredes de campana y el mandril 300 y la pieza de trabajo 418 pueden depender de uno o más de varios parámetros que incluyen, entre otros, el caudal volumétrico del gas 152, velocidad de gas diana, temperatura del gas 152 que sale del dispositivo de desplazamiento, fijación del flujo del gas 152 al mandril 300 y/o pieza de trabajo 418, ritmo constante de variación del calentamiento diana de la pieza de trabajo y otros parámetros. La geometría del sistema de campana 220 puede ser diferente para diferentes configuraciones de mandril 300 y/o diferentes configuraciones de pieza de trabajo 418.

Cabe señalar que la estructura, funcionalidad y/o disposición de una cualquiera de las realizaciones de cualquiera de los componentes de uno cualquiera de los ejemplos del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo descritos en el presente documento y/o mostrados en las figuras pueden implementarse indistintamente en una cualquiera de las otras realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo. Por ejemplo, una cualquiera de las realizaciones de cualquiera de los componentes descritos anteriormente del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de las Figuras 4-13 puede usarse en una cualquiera de las realizaciones descritas a continuación de los sistemas 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de las Figuras 14-27.

Con referencia a las Figuras 14-15, se muestra una realización del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo configurado de manera similar a la realización descrita anteriormente mostrada en la Figura 6 con varias diferencias. En la Figura 14, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200 están montados dentro de la cubierta exterior 102 de tal manera que cuando el mandril 300 se coloca dentro de la cubierta exterior 102, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200 están ubicados axialmente debajo o aguas abajo del extremo proximal de mandril 304. El dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200 pueden estar montados de manera fija en la segunda porción de cubierta 108 (p. ej., la porción de cubierta inferior). El extremo distal de carcasa 162 de la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 puede ubicarse al ras o ligeramente por debajo del extremo proximal del mandril 304 que puede estar aproximadamente en la misma posición axial que la junta de cubierta 118 entre la primera porción de cubierta y la segunda porción de cubierta 108. El motor 180 puede integrarse en el dispositivo de desplazamiento de gas 150 o el motor 180 puede ubicarse fuera de la cubierta exterior 102 de forma similar a la disposición descrita anteriormente de las Figuras 6 y 13. Al ubicar el extremo distal (p. ej., el extremo superior) del dispositivo de desplazamiento de gas 150 al ras o por debajo del nivel de la junta de cubierta 118, el mandril 300 se puede

trasladar horizontalmente a su posición sobre el dispositivo de desplazamiento de gas 150, evitando así la necesidad de levantar verticalmente el mandril 300 hacia arriba y sobre el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y bajar verticalmente el mandril 300 en una posición alrededor del dispositivo de desplazamiento de gas 150, como puede ser requerido para la realización del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 6.

5 En la Figura 14, una extensión de carcasa anular 274 se extiende entre el perímetro exterior de la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el extremo proximal de la primera pared de campana 222. La primera pared de campana 222 es la pared radialmente más interna del sistema de campana 220. En algunas realizaciones, la extensión de carcasa anular 274 puede ser integral con la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 o integral con la carcasa del intercambiador térmico 202. En otras
10 realizaciones, la extensión de carcasa anular 274 puede ser un componente separado de la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 o un componente separado de la carcasa del intercambiador térmico 202. La extensión de carcasa 274 puede ser única para cada configuración de mandril única. La extensión de carcasa anular 274 puede estar fijada y/o sellada al extremo proximal de la primera pared de campana 222.

15 También en la Figura 14, el mandril 300 incluye una estructura de refuerzo de mandril 314, que también se describirá como una estructura de caja de huevos, acoplada a la parte posterior del mandril 312 para reducir la distorsión térmica del mandril 300 durante los cambios de temperatura del mandril 300 durante el funcionamiento del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo. La estructura de refuerzo del mandril 314 incluye una pared circunferencial del mandril 316 ubicada en relación espaciada con respecto a la parte posterior del mandril 312. La pared circunferencial del mandril 316 comprende o funciona como una porción inferior de la primera pared de
20 campana 222 que es la pared radialmente más interna. Como se muestra en la Figura 16, la porción superior de la primera pared de campana 222 es integral con la pared de extremo de campana 226 y la segunda pared de campana 224, que es la pared radialmente más externa en las Figuras 14-15.

Con referencia a las Figuras 14-15, se muestra una guía 270 de flujo de gas interno anular configurada para extenderse entre una circunferencia del extremo proximal de carcasa 160 de la carcasa del dispositivo 158 del
25 dispositivo de desplazamiento de gas 150 y la circunferencia del extremo proximal de mandril 304 cuando el mandril 300 se coloca dentro de la cubierta exterior 102. En las Figuras 14-15, la guía 270 de flujo de gas interno está configurada para guiar suavemente el gas 152 descargado del dispositivo de desplazamiento de gas 150, y hacer que el gas 152 fluya a lo largo de la parte posterior del mandril 312 a una velocidad relativamente alta de manera controlada. Además, como se muestra en la Figura 14, la guía 270 de flujo de gas interno puede mantener la
30 separación entre el gas 152 que fluye desde el dispositivo de desplazamiento de gas 150 hacia el primer espacio anular 256, y el gas 152 que fluye del segundo espacio anular 260 hacia el intercambiador térmico 200. Como se ha mencionado anteriormente, el gas 152 en el primer espacio anular 256 fluye generalmente a lo largo de una dirección axial del extremo proximal del mandril 304 al extremo distal del mandril 306, y luego invierte la dirección en la pared de extremo de campana 226 y fluye generalmente a lo largo de una dirección axial del extremo distal del
35 mandril 306 al extremo proximal del mandril 304. La guía 270 de flujo de gas interno puede ser única para cada configuración única de mandril 300.

En las Figuras 14-15, la guía 270 interna de flujo de gas y la extensión de carcasa 274 pueden confinar el gas 152 que fluye del dispositivo de desplazamiento de gas 150 al primer espacio anular 256. La guía 270 interna de flujo de gas puede tener un perfil de sección transversal curvado o radial. El borde circunferencial superior de la guía 270 de
40 flujo de gas interno puede estar acoplado o apoyado contra el borde circunferencial inferior del mandril 300. En algunos ejemplos, el borde circunferencial superior de la guía 270 interna de flujo de gas puede ser aproximadamente tangente a la parte frontal del mandril 310 del mandril 300 para proporcionar una superficie continua para dirigir suavemente el gas 152 hacia arriba en el primer espacio anular 256. A este respecto, la guía 270 interna de flujo de gas dirige suavemente el gas 152 para que fluya a lo largo de una dirección paralela a la
45 parte posterior del mandril 312 de tal manera que el gas 152 pueda fijarse y fluir a lo largo de la parte posterior del mandril 312 a una velocidad elevada de manera controlada para un calentamiento uniforme del mandril 300.

Las Figuras 14-15 ilustran adicionalmente una guía 272 exterior de flujo de gas anular 272 configurada para extenderse de una circunferencia del extremo proximal de la carcasa del intercambiador térmico 202 a la circunferencia de la segunda pared de campana 224 del sistema de campana 220 cuando se instala sobre el mandril
50 300. El borde circunferencial superior de la guía 272 exterior de flujo de gas puede estar acoplado o apoyado contra el borde circunferencial inferior de la segunda pared de campana 224. La guía 270 interior de flujo de gas y la guía 272 exterior de flujo de gas 272 pueden confinar en conjunto el gas 152 que fluye del segundo espacio anular 260 al intercambiador térmico 200. La guía 272 de flujo de gas exterior puede tener un perfil de sección transversal curva que tiene un borde circunferencial superior que puede ser aproximadamente tangente al borde circunferencial
55 inferior de la segunda pared de campana 224 para proporcionar una superficie continua para dirigir suavemente el gas 152 del segundo espacio anular 260 al intercambiador térmico 200. Similar a la guía 270 de flujo de gas interior, la guía 272 de flujo de gas exterior puede ser única para cada configuración única del sistema de campana 220. Cuando el mandril 300 y el sistema de campana 220 están en una posición sobre el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y la primera porción de cubierta 106 (p. ej., la porción de cubierta superior) se acopla a la segunda
60 porción de cubierta 108 (p. ej., la porción de cubierta inferior) como se muestra en la Figura 14, la inclusión de la

guía 270 de flujo de gas interior y la guía 272 de flujo de gas exterior puede dar como resultado una trayectoria 250 de circulación de gas de trayectoria de circuito cerrado en la que el gas 152 circula a través del intercambiador térmico 200, el dispositivo de desplazamiento de gas 150, el primer espacio anular 256, y el segundo espacio anular 260, antes de regresar al intercambiador térmico 200 para reacondicionamiento (p. ej., calentamiento o enfriamiento) seguido por el gas 152 que fluye hacia el dispositivo de desplazamiento de gas 150 para recirculación.

Con referencia a las Figuras 17-18, se muestra el mandril 300 de las Figuras 15-16 y en el que la estructura de refuerzo del mandril 314 tiene una pared circunferencial de mandril 316. La pared circunferencial de mandril 316 se puede acoplar a la parte posterior del mandril 312 por una pluralidad de bastidores 318 circunferenciales separados axialmente y una pluralidad de bastidores 320 axiales separados circunferencialmente. Los bastidores 318 circunferenciales separados axialmente y los bastidores 320 axiales separados circunferencialmente pueden tener orificios o aberturas para permitir que el gas 152 fluya a través del primer espacio anular 256 mostrado en la Figura 14. La pared circunferencial de mandril 316 en combinación con la parte posterior del mandril 312 define el primer espacio anular 256 para guiar el flujo de gas 152 a lo largo de la parte posterior del mandril 312. Además, la pared circunferencial de mandril 316 en combinación con los bastidores circunferenciales 318 y los bastidores axiales 320 aumenta la resistencia y la rigidez del mandril 300 y puede reducir la distorsión térmica del mandril 300 durante el calentamiento y/o enfriamiento del mandril 300 durante el procesamiento de una pieza de trabajo 418. Como se ha descrito anteriormente, la pared circunferencial de mandril 316 funciona como la porción inferior de la primera pared de campana 222 (p. ej., la pared interior de campana). Sin embargo, en una realización no mostrada, la pared circunferencial de mandril 316 puede omitirse de la estructura de refuerzo de mandril 314, y el sistema de campana 220 puede estar provisto de una primera pared de campana 222 configurada para colocarse ya sea en contacto con o en una relación radialmente espaciada con respecto a los bordes radialmente internos de los bastidores 318 circunferenciales espaciados axialmente y los bastidores 320 axiales espaciados circunferencialmente de la estructura de refuerzo del mandril 314.

Con referencia a las Figuras 19-20, se muestra una realización adicional del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo configurado para recibir un mandril 300 para el cual la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente en el interior de la parte posterior del mandril 312, a diferencia de las realizaciones de las Figuras 9 y 13 que están configuradas para recibir un mandril 300 para el cual la parte frontal del mandril 310 está ubicada radialmente en el exterior de la parte posterior del mandril 312. En las Figuras 19-20, la pieza de trabajo 418 está soportada en el lado radialmente interno del mandril 300 de tal manera que la pieza de trabajo 418 tiene una línea de molde exterior 422 en el lado radialmente externo de la pieza de trabajo 418. Como se ha mencionado anteriormente, una línea de molde es la superficie de la pieza de trabajo 418 que está en contacto con la parte frontal del mandril 310.

En las Figuras 19-21, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 está ubicado debajo del intercambiador térmico 200, lo que da como resultado que la dirección del flujo de gas en la Figura 19 sea opuesta a la dirección del flujo de gas que se muestra en las Figuras 6, 13 y 14. En las Figuras 19-21, la primera pared de campana 222 está situada radialmente fuera de la segunda pared de campana 224. La Figura 20 ilustra el sistema de campana 220 como una estructura unitaria que incluye la primera pared de campana 222 y la segunda pared de campana 224 interconectadas por la pared de extremo de campana 226, como se ha descrito anteriormente. La primera pared de campana 222 y la parte posterior del mandril 312 definen en conjunto el primer espacio anular 256. La segunda pared de campana 224 y la parte frontal del mandril 310 (y la pieza de trabajo) definen en conjunto el segundo espacio anular 260. Como se ha descrito anteriormente con respecto a la realización de la Figura 13, la primera pared de campana 222 y la segunda pared de campana 224 en la Figura 19-21 pueden estar contorneadas de manera que mantengan, respectivamente, un espaciado 230 de la parte frontal de pared deseado y un espaciado 228 de la parte posterior de pared que puede ser dictado en parte por el caudal volumétrico del gas 152, la fijación del flujo al mandril 300 y/o la pieza de trabajo 418, la velocidad del gas diana y otros parámetros mencionados anteriormente.

En la Figura 19, una guía 272 de flujo de gas exterior anular puede incluirse opcionalmente entre la circunferencia del extremo proximal de carcasa 160 de la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 y la circunferencia de la primera pared de campana 222 (p. ej., la pared exterior de campana). Además, se puede incluir opcionalmente una guía 270 de flujo de gas interno anular entre la circunferencia del extremo proximal de la carcasa del intercambiador térmico 202 y la circunferencia del extremo proximal del mandril 304 cuando el mandril 300 se coloca dentro de la cubierta exterior 102. La guía 270 de flujo de gas interior y la guía 272 de flujo de gas exterior confinan el gas 152 que fluye de la salida circunferencial exterior 166 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 al primer espacio anular 256 entre la primera pared de campana 222 y la parte posterior del mandril 312. Además, la guía 270 de flujo de gas interior y la guía 272 de flujo de gas exterior guían suavemente el gas 152 en una dirección paralela a la parte posterior del mandril 312 de tal manera que el gas 152 se fija y/o fluye sobre la parte posterior del mandril 312 a medida que el gas 152 fluye a través del primer espacio anular 256.

En la Figura 19, una extensión de carcasa anular 274 puede incluirse opcionalmente entre el perímetro exterior de la carcasa del intercambiador térmico 202 y el extremo proximal de la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared interior de campana) para cerrar cualquier espacio anular que pueda existir entre el extremo proximal del mandril

304 y la carcasa del intercambiador térmico 202. La guía 270 de flujo de gas interior y la extensión de carcasa 274 confinan el gas 152 que fluye del segundo espacio anular 260 al intercambiador térmico 200. La guía 272 de flujo de gas exterior, la guía 270 de flujo de gas interior y la extensión de carcasa 274 pueden configurarse como se ha descrito anteriormente para la realización mostrada en la Figura 14, y contener en conjunto el gas 152 en una trayectoria 250 de circulación de gas de circuito cerrado que puede mejorar la eficiencia y la velocidad de calentamiento o enfriamiento del mandril 300 y la pieza de trabajo 418 en relación con un autoclave convencional (no mostrado).

En la Figura 19, el extremo distal (p. ej., el extremo superior) de la carcasa del intercambiador térmico 202 está ubicado aproximadamente al ras con el extremo proximal del mandril 304, y el dispositivo de desplazamiento de gas 150 está ubicado debajo del intercambiador térmico 200. Similar a la disposición descrita anteriormente de la Figura 14, el dispositivo de desplazamiento de gas 150, el intercambiador térmico 200, y opcionalmente la extensión de carcasa 274, la guía 272 de flujo de gas exterior y la guía 270 de flujo de gas interior pueden montarse dentro de la segunda porción de cubierta 108 (p. ej., la porción de cubierta inferior) al ras o ligeramente por debajo de la junta de cubierta 118 entre la primera cubierta (p. ej., la porción de cubierta superior) y la segunda porción de cubierta 108. Como se ha mencionado anteriormente, al ubicar los componentes mencionados anteriormente (p. ej., el intercambiador térmico 200, el dispositivo de desplazamiento de gas 150) en o por debajo del nivel de la junta de cubierta 118, el mandril 300 se puede trasladar horizontalmente a su posición sobre dichos componentes, evitando así necesita levantar verticalmente el mandril 300 y bajar verticalmente y manipular el mandril 300 en su posición alrededor de los componentes (p. ej., intercambiador térmico 200, dispositivo de desplazamiento de gas 150) como podría ser necesario si los componentes sobresalieran por encima de la junta de cubierta 118.

Con referencia a las Figuras 22-23, se muestra la estructura de refuerzo de mandril 314 del mandril 300 que incluye una pluralidad de bastidores 318 circunferenciales espaciados axialmente y una pluralidad de bastidores 320 axiales espaciados circunferencialmente que están acoplados a la parte posterior del mandril 312. Como se ha mencionado anteriormente, la estructura de refuerzo de mandril 314 puede aumentar la resistencia y rigidez del mandril 300 y, por lo tanto, reducir la distorsión térmica del mandril 300 durante el calentamiento y/o enfriamiento del mandril 300. Aunque el mandril 300 se muestra sin una pared circunferencial de mandril 316, el mandril 300 puede estar provisto opcionalmente de una pared circunferencial de mandril 316 para aumentar la rigidez del mandril 300 y también para servir como al menos una porción de la primera pared de campana 222 (p. ej., la pared exterior de campana).

Con referencia a las Figuras 24-25, se muestra un ejemplo adicional de un sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo en una configuración longitudinal. La cubierta exterior 102 está orientada, dimensionada y configurada para contener un mandril generalmente alargado 300 y una pieza de trabajo 418 y un sistema de campana 220 en una orientación generalmente horizontal. Aunque la cubierta exterior 102 se muestra con una forma de sección transversal no cilíndrica que puede implementarse para el funcionamiento no presurizado del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo, la cubierta exterior 102 puede proporcionarse preferentemente en una forma de sección transversal cilíndrica para operaciones presurizadas. El mandril 300 puede dimensionarse y configurarse para fabricar una pieza 418 de trabajo hueca alargada. Por ejemplo, el mandril 300 puede configurarse para soportar una disposición de capas compuestas para una sección de barril de fuselaje 404 (Figura 1) que puede curarse usando el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo.

En las Figuras 24-25, la cubierta exterior 102 incluye una primera porción de cubierta 106 que se puede acoplar a una segunda porción de cubierta 108 a lo largo de una junta de cubierta 118. La primera porción de cubierta 106, la segunda porción de cubierta 108 y la junta de cubierta 118 pueden configurarse en cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente. Por ejemplo, aunque la Figura 25 muestra la primera porción de cubierta 106 completamente separada de la segunda porción de cubierta 108, en una realización no mostrada, la primera porción de cubierta 106 puede estar acoplada articuladamente a la segunda porción de cubierta 108 para permitir que la primera porción de cubierta 106 sea pivotada abierta para proporcionar acceso al interior del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo. De esta manera, la segunda porción de cubierta 108 puede recibir el mandril 300 con el eje del mandril 302 orientado aproximadamente de manera horizontal. Por ejemplo, el mandril 300 y la pieza de trabajo 418 pueden estar soportados en un bastidor de soporte de mandril 340 que puede estar equipado con ruedas (no mostradas) para permitir que el bastidor de soporte de mandril 340 que soporta el mandril 300 y el sistema de campana 220 se trasladen a una planta de producción e inserten en el interior de la segunda porción de cubierta 108. Una vez que el bastidor de soporte de mandril 340 y el mandril 300 y el sistema de campana 220 se colocan dentro de la segunda porción de cubierta 108, la primera porción de cubierta 106 se puede acoplar a la segunda porción de cubierta 108 en la junta de cubierta 118.

Con referencia a la Figura 26, se muestra la primera porción de cubierta 106 acoplada a la segunda porción de cubierta 108 para contener el bastidor de soporte de mandril 340 que soporta el mandril 300 y la pieza de trabajo 418. La cubierta exterior 102 puede incluir opcionalmente una capa de aislamiento térmico (no mostrada) a lo largo de la superficie interna de la cubierta exterior 102, similar al aislamiento térmico 120 descrito anteriormente que se muestra en las Figuras 6, 14 y 19. El bastidor de soporte de mandril 340 puede tener una base 342 y una pluralidad de montantes 344 que se extienden hacia arriba desde la base 342 a un cubo de soporte proximal 346 y un centro de soporte distal 348. El mandril 300 puede ser hueco al menos en el extremo proximal del mandril 304 y en el

extremo distal del mandril 306 para recibir respectivamente el cubo de soporte proximal 346 y el cubo de soporte distal 348 del bastidor de soporte del mandril 340.

En la Figura 26-27, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede configurarse de manera similar a la realización descrita anteriormente del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en la Figura 14. A este respecto, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 26 puede configurarse para recibir un mandril 300 que tiene una pared circunferencial de mandril 316 acoplada a la parte posterior del mandril 312 por una pluralidad de bastidores 318 circunferenciales espaciados axialmente y una pluralidad de bastidores 318 axiales espaciados circunferencialmente 320 que tienen orificios, espacios o aberturas que permiten que el gas 152 fluya a través del primer espacio anular 256 entre la pared circunferencial de mandril 316 y la parte posterior del mandril 312. La pared circunferencial del mandril 316 funciona como la primera pared de campana 222 (p. ej., la pared interior de campana) del sistema de campana 220 de la Figura 26. El sistema de campana 220 incluye además una segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana) y una pared de extremo de campana 226. La segunda pared de campana 224 y la pared de extremo de campana 226 pueden formarse como una estructura unitaria que está soportada en extremos axialmente opuestos por el cubo de soporte proximal 346 y el cubo de soporte distal 348 del bastidor de soporte de mandril 340.

El sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 26-27 incluye un dispositivo de desplazamiento de gas 150 y un intercambiador térmico 200 ubicados aguas abajo del dispositivo de desplazamiento de gas 150. El dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200 pueden estar acoplados de manera fija al extremo aguas abajo de la segunda porción de cubierta 108. El sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir opcionalmente una guía 272 de flujo de gas exterior anular y/o una guía 270 de flujo de gas interior anular. La guía 272 de flujo de gas exterior puede estar acoplada de manera fija al intercambiador térmico 200 y/o al extremo aguas abajo de la segunda porción de cubierta 108. La guía 270 de flujo de gas interior puede estar acoplada fijamente al dispositivo de desplazamiento de gas 150.

En la Figura 26, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200 se pueden montar dentro de la segunda porción de cubierta 108 de tal manera que cuando el bastidor de soporte de mandril 340 se coloca dentro de la segunda porción de cubierta 108, el cubo de soporte proximal 346 se puede poner en contacto con o hacer tope contra la carcasa del dispositivo 158 del dispositivo de desplazamiento de gas 150. Si se incluye con el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo de la Figura 26, el borde circunferencial de la guía 272 de flujo de gas exterior puede configurarse para alinearse y/o engancharse con el borde circunferencial de la pared exterior de campana (p. ej., la segunda pared de campana 224) para formar una trayectoria de flujo suave para el gas 152. Asimismo, el borde circunferencial de la guía 272 de flujo de gas interior puede configurarse para alinearse y/o engancharse con el borde circunferencial del extremo proximal del mandril 304 de la parte frontal del mandril 310. Similar a la disposición descrita anteriormente que se muestra en la Figura 14, la pared circunferencial del mandril 316 y la parte posterior del mandril 312 en la Figura 26 definen en conjunto el primer espacio anular 256 configurado para recibir el gas 152 descargado de la salida circunferencial exterior 166 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 y dirigir el gas 152 sobre la parte posterior del mandril 312. La segunda pared de campana 224 y la parte frontal del mandril 310 (y la pieza de trabajo) definen en conjunto el segundo espacio anular 260 configurado para recibir el gas 152 del primer espacio anular 256, y dirigir el gas 152 sobre la parte frontal del mandril 310 y la pieza de trabajo 418 y regresar hacia el intercambiador térmico 200 para su acondicionamiento y luego hacia el dispositivo de desplazamiento de gas 150 para su recirculación.

En una cualquiera de las realizaciones desveladas en el presente documento, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede dimensionarse y configurarse para contener un único mandril 300 y la pieza de trabajo asociada 418. Alternativamente, una cualquiera de las realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede dimensionarse y configurarse para contener una familia (no mostrada) de mandriles 300 de tamaño similar y/o de forma similar y piezas de trabajo asociadas 418. Por ejemplo, un sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede configurarse para contener una familia de mandriles 300 de forma similar uno a la vez. En otra realización, un sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede configurarse para contener simultáneamente múltiples piezas de trabajo 418 (no mostradas) soportadas en un único mandril 300. En otra realización, un sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo 100 puede configurarse para contener una pluralidad de mandriles (no mostrados), cada uno de los cuales soporta una o más piezas de trabajo 418. Por ejemplo, un sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede configurarse para contener una pluralidad de mandriles generalmente cilíndricos que están dispuestos de extremo a extremo dentro del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo.

El sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir opcionalmente la capacidad de controlar la temperatura del mandril 300, la pieza de trabajo 418 y/o los componentes del sistema (p. ej., dispositivo de desplazamiento de gas 150, intercambiador térmico 200, etc.) del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo. Por ejemplo, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir o puede configurarse para alojar sensores de temperatura (no mostrados) montados en diferentes ubicaciones en la pieza de trabajo 418 y/o el mandril 300, la cubierta exterior 102, el sistema de campana 220 o cualquier otro componente para facilitar la detección directa o indirecta de la temperatura de la pieza de trabajo 418 o el mandril 300 tal como durante el

procesamiento de la pieza de trabajo 418. Los sensores de temperatura se pueden acoplar comunicativamente a un controlador (no mostrado) del intercambiador térmico 200 para controlar el intercambiador térmico 200 de manera que se mantenga la temperatura de la pieza de trabajo 418 dentro de un intervalo predeterminado durante el procesamiento de la pieza de trabajo 418. Los sensores de presión (no mostrados) como los transductores de presión pueden estar montados en la pieza de trabajo 418 y pueden estar acoplados a un controlador (no mostrado) para controlar la fuente de vacío 360 y/o la fuente de presión positiva 370 para regular la magnitud de la presión de compactación aplicada a la pieza de trabajo 418. Alternativa o adicionalmente, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir la capacidad de controlar la presión del autoclave dentro de la cubierta exterior 102, y/o controlar el nivel de la bolsa de vacío de la pieza de trabajo dentro de una bolsa de vacío 362 (Figura 11) que cubre la pieza de trabajo 418. Por ejemplo, el nivel de vacío dentro de la bolsa de vacío 362 puede controlarse fuera de la cubierta exterior 102 usando una manguera rematada (no mostrada) que comunica el nivel de vacío dentro de la bolsa de vacío 362 a un sensor o medidor externo (no mostrado).

Con referencia a la Figura 28 mostrada, se muestra un diagrama de flujo de operaciones incluidas en un método 500 de calentamiento de una pieza de trabajo 418 usando el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo actualmente descrito. El método 500 se describe en el contexto del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en la Figura 29-32, que es similar a la realización descrita anteriormente del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en las Figuras 14-18.

Con referencia a la Figura 29, la etapa 502 del método 500 incluye colocar el mandril 300 dentro de una cubierta exterior 102 del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo. Como se ha descrito anteriormente con respecto a la realización de la Figura 14, el mandril 300 tiene un extremo proximal de mandril 304 y un extremo distal de mandril 306 y un eje de mandril 302. Además, el mandril 300 incluye un mandril 300 que tiene una parte frontal del mandril 310 que soporta una pieza de trabajo 418, y una parte posterior del mandril 312 opuesta a la parte frontal del mandril 310. El mandril 300 también puede incluir una pared circunferencial de mandril 316 acoplada a la parte posterior del mandril 312 por una pluralidad de bastidores 318 circunferenciales separados axialmente y bastidores 320 axiales circunferencialmente separados. Como se ha mencionado anteriormente, la pared circunferencial de mandril 316 puede funcionar como una porción inferior de la primera pared de campana 222a (p. ej., pared interior de campana).

Como se muestra en la Figura 29, la instalación del mandril 300 puede incluir colocar el mandril 300 sobre el dispositivo de desplazamiento de gas 150 trasladando horizontalmente el mandril 300 a su posición de modo que el dispositivo de desplazamiento de gas 150 esté generalmente centrado en relación con el mandril 300 cuando se observa a lo largo de una dirección axial. Como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el intercambiador térmico 200 pueden montarse de manera fija en la segunda porción de cubierta 108 (p. ej., la porción de cubierta inferior) al igual que la guía 270 de flujo de gas interior opcional y la guía 272 de flujo de gas exterior. Como también se ha mencionado anteriormente, la extensión de carcasa anular 274 se extiende entre el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y el borde circunferencial de la pared circunferencial de mandril 316. El borde circunferencial superior de la guía 272 de flujo de gas exterior puede configurarse de forma complementaria al borde circunferencial inferior de la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana), y el borde circunferencial superior de la guía 270 de flujo de gas interior puede configurarse de forma complementaria al borde circunferencial inferior del mandril 300, como se muestra en la Figura 30.

La Figura 30 muestra la instalación del sistema de campana 220 sobre el mandril 300 y la pieza de trabajo 418. En una realización, el sistema de campana 220 se eleva sobre el mandril 300 y luego se baja a su posición. A este respecto, el sistema puede colocarse de manera que el borde circunferencial inferior de la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana) esté alineado con el borde circunferencial superior de la guía 272 de flujo de gas exterior y el borde circunferencial inferior de la primera pared de campana 222 está alineada con el borde superior de la pared circunferencial de mandril 316.

La Figura 31 muestra el conjunto de la primera porción de cubierta 106 con la segunda porción de cubierta 108. En una realización, la primera porción de cubierta 106 se puede levantar sobre el sistema de campana 220 y bajar hasta que la primera porción de cubierta 106 se acople con la segunda porción de cubierta 108 a lo largo de la junta de cubierta circunferencial 118 descrita anteriormente. Como se muestra en la Figura 32, el conjunto de la primera porción de cubierta 106 respecto a la segunda porción de cubierta 108 contiene el mandril 300 y la pieza de trabajo 418 junto con el sistema de campana 220, el dispositivo de desplazamiento de gas 150, el intercambiador térmico 200, la guía 272 de flujo de gas exterior, y la guía 270 de flujo de gas interior. Aunque no se muestra, el sistema de campana 220 puede acoplarse opcionalmente de manera fija a la primera porción de cubierta 106 de tal manera que la primera porción de cubierta 106 y el sistema de campana 220 se pueden bajar como una unidad en posición sobre el mandril 300 y la pieza de trabajo 418.

La Figura 32 también muestra una fuente de vacío 360 y una fuente de presión positiva 370 que pueden incluirse opcionalmente con el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo para aplicar presión de compactación sobre la pieza de trabajo 418. Una o más líneas de vacío 366 pueden extenderse a través de la cubierta exterior 102 para acoplar fluidamente la bolsa de vacío 362 a una o más de las fuentes de vacío 360. Cada fuente de vacío 360

- 5 puede evacuar la bolsa de vacío 362 y generar así presión de compactación (p. ej., presión atmosférica) sobre la pieza de trabajo 418 contra el mandril 300. La aplicación de un vacío a la bolsa de vacío 362 también puede extraer de la pieza de trabajo 418 aire, humedad y/o volátiles que pueden generarse durante la consolidación y/o curado de la pieza de trabajo 418. Para realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo para el cual la cubierta exterior 102 está configurada para ser presurizada, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir una o más fuentes de presión positiva 370 acoplables de manera fluida al interior de la cubierta exterior 102. En tal disposición, la junta de cubierta 118 puede configurarse para sellar la primera porción de cubierta 106 a la segunda porción de cubierta 108 de una manera que permita que el interior de la cubierta exterior 102 esté presurizado positivamente para aumentar la presión de compactación sobre una pieza de trabajo 418.
- 10 Con referencia todavía a la Figura 32, la etapa 504 del método 500 incluye calentar el gas 152 dentro del interior de la cubierta exterior 102 usando al menos un intercambiador térmico 200. Como se ha mencionado anteriormente, el intercambiador térmico 200 puede incluir uno o más dispositivos de calentamiento 204 configurados en una cualquiera de una variedad de configuraciones diferentes que incluyen, entre otros, un calentador eléctrico que contiene elementos de calentamiento por resistencia eléctrica (no mostrados), y/o como un calentador que contiene tubos de transferencia de calor (no mostrados) para hacer circular un medio fluido como vapor, agua caliente o aceite. El intercambiador térmico 200 puede estar configurado para calentar el gas 152 de una manera que permita el calentamiento rápido de la pieza de trabajo 418 a la temperatura de procesamiento deseada y a un ritmo constante de variación deseado. Como se ha mencionado anteriormente, el intercambiador térmico 200 puede incluir opcionalmente uno o más dispositivos de enfriamiento 206 para enfriar activamente la pieza de trabajo 418 al final de una o más permanencias de temperatura de un ciclo de curado. Ventajosamente, tales dispositivos de enfriamiento 206 pueden permitir reducir la temperatura de la pieza de trabajo 418 a una velocidad de enfriamiento especificada, que también puede tener el efecto de reducir el tiempo total del ciclo de curado.
- 15 Como se muestra en la Figura 32, la etapa 506 del método 500 incluye la descarga de gas 152 usando un dispositivo de desplazamiento de gas 150 montado dentro de la cubierta exterior 102 y ubicado aguas abajo del intercambiador térmico 200. El dispositivo de desplazamiento de gas 150 incluye una entrada central 164 que puede estar acoplada de forma fluida al intercambiador térmico 200. El gas 152 acondicionado por el intercambiador térmico 200 se introduce en la entrada central 164 y es acelerado por el dispositivo de desplazamiento de gas 150 y descargado radialmente hacia el exterior desde la salida circunferencial exterior 166. El gas 152 puede descargarse generalmente de manera uniforme 360° alrededor de la salida circunferencial exterior 166 hacia la parte posterior del mandril 312. La guía 270 de flujo de gas interior puede guiar el gas 152 hacia la entrada del primer espacio anular 256 que, en el ejemplo mostrado, se define entre la parte posterior del mandril 312 y la pared circunferencial del mandril 316 que funciona como la primera pared de campana 222 del sistema de campana 220. El gas 152 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 inicialmente incide y/o fluye a lo largo de la parte posterior del mandril 312.
- 20 La etapa 508 del método 500 incluye dirigir el gas 152 desde el dispositivo de desplazamiento de gas 150 en una dirección generalmente axial a través del primer espacio anular 256 a lo largo del primer segmento 254 de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el primer segmento 254 de trayectoria de flujo se extiende del extremo proximal del mandril 304 al extremo distal del mandril 306. A medida que el gas 152 fluye a través del primer espacio anular 256, el gas 152 fluye sobre la parte posterior del mandril 312 dando como resultado un calentamiento convectivo del mandril 300 uniformemente a lo largo de toda la circunferencia de la parte posterior del mandril 312. La pared 226 del extremo anular de campana en el extremo proximal del sistema de la campana 220 invierte suavemente la dirección del flujo del gas 152 que sale del primer espacio anular 256, como se muestra en la Figura 32.
- 25 La etapa 510 del método 500 incluye dirigir el gas 152 en una dirección generalmente axial a través del segundo espacio anular 260 definido entre la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana) y la parte frontal del mandril 310 (y la pieza de trabajo) a lo largo del segundo flujo 258 del segmento de trayectoria de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el segundo segmento 258 de trayectoria de flujo se extiende del extremo distal del mandril 306 al extremo proximal del mandril 304. Para las realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo mostradas en las Figuras 6, 13, 14, 26 y 32 en las que la primera pared de campana 222 está situada radialmente hacia el interior de la segunda pared de campana 224 y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente hacia el exterior de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente dentro del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente fuera del mandril 300. Sin embargo, para la realización del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en la Figura 19 en la que la primera pared de campana 222 está situada radialmente fuera de la segunda pared de campana 224, y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente dentro de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente fuera del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente en el interior del mandril 300.
- 30 La etapa 508 del método 500 incluye dirigir el gas 152 desde el dispositivo de desplazamiento de gas 150 en una dirección generalmente axial a través del primer espacio anular 256 a lo largo del primer segmento 254 de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el primer segmento 254 de trayectoria de flujo se extiende del extremo proximal del mandril 304 al extremo distal del mandril 306. A medida que el gas 152 fluye a través del primer espacio anular 256, el gas 152 fluye sobre la parte posterior del mandril 312 dando como resultado un calentamiento convectivo del mandril 300 uniformemente a lo largo de toda la circunferencia de la parte posterior del mandril 312. La pared 226 del extremo anular de campana en el extremo proximal del sistema de la campana 220 invierte suavemente la dirección del flujo del gas 152 que sale del primer espacio anular 256, como se muestra en la Figura 32.
- 35 La etapa 510 del método 500 incluye dirigir el gas 152 en una dirección generalmente axial a través del segundo espacio anular 260 definido entre la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana) y la parte frontal del mandril 310 (y la pieza de trabajo) a lo largo del segundo flujo 258 del segmento de trayectoria de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el segundo segmento 258 de trayectoria de flujo se extiende del extremo distal del mandril 306 al extremo proximal del mandril 304. Para las realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo mostradas en las Figuras 6, 13, 14, 26 y 32 en las que la primera pared de campana 222 está situada radialmente hacia el interior de la segunda pared de campana 224 y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente hacia el exterior de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente dentro del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente fuera del mandril 300. Sin embargo, para la realización del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en la Figura 19 en la que la primera pared de campana 222 está situada radialmente fuera de la segunda pared de campana 224, y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente dentro de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente fuera del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente en el interior del mandril 300.
- 40 La etapa 508 del método 500 incluye dirigir el gas 152 desde el dispositivo de desplazamiento de gas 150 en una dirección generalmente axial a través del primer espacio anular 256 a lo largo del primer segmento 254 de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el primer segmento 254 de trayectoria de flujo se extiende del extremo proximal del mandril 304 al extremo distal del mandril 306. A medida que el gas 152 fluye a través del primer espacio anular 256, el gas 152 fluye sobre la parte posterior del mandril 312 dando como resultado un calentamiento convectivo del mandril 300 uniformemente a lo largo de toda la circunferencia de la parte posterior del mandril 312. La pared 226 del extremo anular de campana en el extremo proximal del sistema de la campana 220 invierte suavemente la dirección del flujo del gas 152 que sale del primer espacio anular 256, como se muestra en la Figura 32.
- 45 La etapa 510 del método 500 incluye dirigir el gas 152 en una dirección generalmente axial a través del segundo espacio anular 260 definido entre la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana) y la parte frontal del mandril 310 (y la pieza de trabajo) a lo largo del segundo flujo 258 del segmento de trayectoria de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el segundo segmento 258 de trayectoria de flujo se extiende del extremo distal del mandril 306 al extremo proximal del mandril 304. Para las realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo mostradas en las Figuras 6, 13, 14, 26 y 32 en las que la primera pared de campana 222 está situada radialmente hacia el interior de la segunda pared de campana 224 y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente hacia el exterior de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente dentro del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente fuera del mandril 300. Sin embargo, para la realización del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en la Figura 19 en la que la primera pared de campana 222 está situada radialmente fuera de la segunda pared de campana 224, y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente dentro de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente fuera del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente en el interior del mandril 300.
- 50 La etapa 508 del método 500 incluye dirigir el gas 152 desde el dispositivo de desplazamiento de gas 150 en una dirección generalmente axial a través del primer espacio anular 256 a lo largo del primer segmento 254 de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el primer segmento 254 de trayectoria de flujo se extiende del extremo proximal del mandril 304 al extremo distal del mandril 306. A medida que el gas 152 fluye a través del primer espacio anular 256, el gas 152 fluye sobre la parte posterior del mandril 312 dando como resultado un calentamiento convectivo del mandril 300 uniformemente a lo largo de toda la circunferencia de la parte posterior del mandril 312. La pared 226 del extremo anular de campana en el extremo proximal del sistema de la campana 220 invierte suavemente la dirección del flujo del gas 152 que sale del primer espacio anular 256, como se muestra en la Figura 32.
- 55 La etapa 510 del método 500 incluye dirigir el gas 152 en una dirección generalmente axial a través del segundo espacio anular 260 definido entre la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana) y la parte frontal del mandril 310 (y la pieza de trabajo) a lo largo del segundo flujo 258 del segmento de trayectoria de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el segundo segmento 258 de trayectoria de flujo se extiende del extremo distal del mandril 306 al extremo proximal del mandril 304. Para las realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo mostradas en las Figuras 6, 13, 14, 26 y 32 en las que la primera pared de campana 222 está situada radialmente hacia el interior de la segunda pared de campana 224 y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente hacia el exterior de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente dentro del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente fuera del mandril 300. Sin embargo, para la realización del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en la Figura 19 en la que la primera pared de campana 222 está situada radialmente fuera de la segunda pared de campana 224, y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente dentro de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente fuera del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente en el interior del mandril 300.
- 60 La etapa 508 del método 500 incluye dirigir el gas 152 desde el dispositivo de desplazamiento de gas 150 en una dirección generalmente axial a través del primer espacio anular 256 a lo largo del primer segmento 254 de trayectoria de flujo de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el primer segmento 254 de trayectoria de flujo se extiende del extremo proximal del mandril 304 al extremo distal del mandril 306. A medida que el gas 152 fluye a través del primer espacio anular 256, el gas 152 fluye sobre la parte posterior del mandril 312 dando como resultado un calentamiento convectivo del mandril 300 uniformemente a lo largo de toda la circunferencia de la parte posterior del mandril 312. La pared 226 del extremo anular de campana en el extremo proximal del sistema de la campana 220 invierte suavemente la dirección del flujo del gas 152 que sale del primer espacio anular 256, como se muestra en la Figura 32.
- 65 La etapa 510 del método 500 incluye dirigir el gas 152 en una dirección generalmente axial a través del segundo espacio anular 260 definido entre la segunda pared de campana 224 (p. ej., la pared exterior de campana) y la parte frontal del mandril 310 (y la pieza de trabajo) a lo largo del segundo flujo 258 del segmento de trayectoria de la trayectoria de circulación de gas 250. Como se ha descrito anteriormente, el segundo segmento 258 de trayectoria de flujo se extiende del extremo distal del mandril 306 al extremo proximal del mandril 304. Para las realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo mostradas en las Figuras 6, 13, 14, 26 y 32 en las que la primera pared de campana 222 está situada radialmente hacia el interior de la segunda pared de campana 224 y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente hacia el exterior de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente dentro del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente fuera del mandril 300. Sin embargo, para la realización del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que se muestra en la Figura 19 en la que la primera pared de campana 222 está situada radialmente fuera de la segunda pared de campana 224, y la parte frontal del mandril 310 está situada radialmente dentro de la parte posterior del mandril 312, la etapa 508 de dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 comprende dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 ubicado radialmente fuera del mandril 300, y la etapa 510 de dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 comprende dirigir el gas 152 a través del segundo espacio anular 260 ubicado radialmente en el interior del mandril 300.

La etapa 512 del método 500 incluye calentar el mandril 300 en respuesta a dirigir el gas 152 a través del primer espacio anular 256 y el segundo espacio anular 260 y calentar la pieza de trabajo 418 al menos parcialmente en respuesta al gas 152 que calienta el mandril 300. Como se ha mencionado anteriormente, a medida que el gas calentado 152 del dispositivo de desplazamiento de gas 150 incide en el parte posterior del mandril 312 y fluye axialmente a través del primer espacio anular 256 y se fija y/o pasa sobre la parte posterior del mandril 312, el gas calentado 152 calienta de manera convectiva el mandril 300. El calor en el mandril 300 se conduce a la pieza de trabajo 418, lo que da como resultado el calentamiento de la pieza de trabajo 418. Además, a medida que el gas calentado 152 fluye axialmente a través del segundo espacio anular y pasa sobre la parte frontal del mandril 310 y la pieza de trabajo 418, el gas 152 calienta adicionalmente de manera convectiva la pieza de trabajo 418.

Como se ha indicado anteriormente, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir opcionalmente una extensión de carcasa anular 274 y una guía 270 de flujo de gas interior anular. En tal disposición, el método 500 puede incluir confinar el gas 152 descargado del dispositivo de desplazamiento de gas 150 al área entre la guía 270 de flujo de gas interior y la extensión de carcasa 274. Además, el método 500 puede incluir mantener, usando la guía 270 de flujo de gas interior, la separación entre el gas 152 que fluye del dispositivo de desplazamiento de gas 150 hacia el primer espacio anular 256 y el gas 152 que fluye en una dirección opuesta del segundo espacio anular 260 hacia el intercambiador térmico 200. Para realizaciones del sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo que tiene una guía 272 de flujo de gas exterior, el método 500 puede incluir además confinar el gas 152 entre la guía 270 de flujo de gas interior y la guía 272 de flujo de gas exterior. Al incluir la extensión de carcasa 274, la guía 270 de flujo de gas interior y la guía 272 de flujo de gas exterior, el sistema de calentamiento 100 de una pieza de trabajo define una trayectoria 250 de circulación de gas de circuito cerrado que puede mejorar la eficiencia con la que puede ser controlada la temperatura de la pieza de trabajo 418.

Como se ha indicado anteriormente, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede incluir opcionalmente una fuente de presión positiva 370 que puede permitir que el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo funcione como un autoclave. La fuente de presión positiva 370 puede comprender un compresor (no mostrado) configurado para bombear aire, nitrógeno u otra composición de gas al interior de la cubierta exterior 102. En tal disposición, el método 500 puede incluir presurizar el interior de la cubierta exterior 102. El interior de la cubierta exterior 102 puede presurizarse durante o después de la aplicación opcional de vacío a una bolsa de vacío opcional 362 (Figura 11) sellando la pieza de trabajo 418 al mandril 300. La fuente de presión positiva 370 puede facilitar la aplicación de presión de compactación elevada (es decir, por encima de la presión atmosférica) sobre la pieza de trabajo 418 contra la parte frontal del mandril 310. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede funcionar sin la aplicación de presión positiva. En tal disposición, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede funcionar como un horno para calentar y/o enfriar una pieza de trabajo 418 con o sin una bolsa de vacío 362 sellando la pieza de trabajo 418 al mandril 300.

El sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo actualmente descrito puede ventajosamente permitir la carga y descarga rápida de mandriles 300 y piezas de trabajo asociadas 418. Además, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo incide gas 152 directamente en la parte posterior del mandril 312 y/o el gas 152 se fija y fluye a lo largo de la parte posterior del mandril 312, lo que puede aumentar significativamente la transferencia de calor a una pieza de trabajo 418 en relación con un autoclave convencional, y por lo tanto, reduce el tiempo total del ciclo de curado. A este respecto, una pluralidad de los sistemas 100 de calentamiento de una pieza de trabajo descritos actualmente pueden procesar en conjunto una mayor cantidad de piezas de trabajo individuales 418 a un costo menor y a una tasa de producción más rápida que la que se podría lograr procesando por lotes múltiples piezas de trabajo 418 usando un único autoclave grande. Además, el sistema 100 de calentamiento de una pieza de trabajo puede fabricarse de forma externa y transportarse a través de carreteras a una fábrica de piezas de trabajo, evitando así los altos costos de fabricación e instalación asociados con la fabricación de un autoclave grande in situ utilizando equipos pesados y técnicas de instalación especializadas.

Se le ocurrirán muchas modificaciones y otras configuraciones de la divulgación a un experto en la materia, a la que pertenece esta divulgación, que tiene el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos asociados. Las configuraciones descritas en el presente documento tienen el fin de ser ilustrativas y no tienen por objeto ser limitantes o exhaustivas. Aunque en el presente documento se emplean términos específicos, se usan solo en un sentido genérico y descriptivo y no con fines de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo para calentar una pieza de trabajo (418) soportada sobre un mandril (300), comprendiendo el sistema (100):

un mandril (300):

5 una cubierta exterior (102) configurada para contener el mandril (300) que se puede colocar de manera extraíble dentro de la cubierta exterior (102), teniendo el mandril (300) un extremo proximal de mandril (304), un extremo distal de mandril (306), una parte frontal de mandril (310) configurada para soportar una pieza de trabajo (418), y un parte posterior de mandril (312) opuesta a la parte frontal de mandril (310);

10 un dispositivo de desplazamiento de gas (150) montado dentro de la cubierta exterior (102) y que tiene una salida circunferencial exterior (166) configurada para descargar un gas (152) hacia la parte posterior de mandril (312);

al menos un intercambiador térmico (200) montado dentro de la cubierta exterior (102) aguas arriba del dispositivo de desplazamiento de gas (150) y configurado para calentar el gas (152) antes de entrar en el dispositivo de desplazamiento de gas (150);

15 un sistema de campana (220) que tiene una primera pared de campana (222) y una segunda pared de campana (224) cada una configurada para extenderse circunferencialmente en una relación radialmente espaciada entre sí y en una relación radialmente espaciada respectivamente con la parte posterior de mandril (312) y la parte frontal de mandril (310) cuando el mandril (300) se coloca dentro de la cubierta exterior (102);

20 la primera pared de campana (222) y la parte posterior de mandril (312) definen en conjunto un primer espacio anular (256) configurado para recibir el gas (152) descargado del dispositivo de desplazamiento de gas (150) y dirigir el gas (152) en una dirección generalmente axial a lo largo de un primer segmento (254) de trayectoria de flujo del extremo proximal de mandril (304) al extremo distal de mandril (306); y

25 la segunda pared de campana (224) y la parte frontal de mandril (310) definen en conjunto un segundo espacio anular (260) configurado para recibir el gas (152) del primer espacio anular (256) y dirigir el gas (152) en una dirección generalmente axial a lo largo de un segundo segmento (258) de trayectoria de flujo del extremo distal de mandril (306) al extremo proximal de mandril (304).

2. El sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo de la reivindicación 1, en donde:

la primera pared de campana (222) está ubicada radialmente en el interior de la segunda pared de campana (224); y

30 la parte frontal de mandril (310) está ubicada radialmente en el exterior de la parte posterior de mandril (312).

3. El sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo de la reivindicación 1, en donde:

la primera pared de campana (222) está ubicada radialmente en el exterior de la segunda pared de campana (224); y

la parte frontal de mandril (310) está ubicada radialmente en el interior de la parte posterior de mandril (312).

35 4. El sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde:

el mandril (300) incluye una pared circunferencial de mandril (316) ubicada en una relación espaciada con la parte posterior de mandril (312); y

40 la pared circunferencial de mandril (316) que comprende al menos una porción de la primera pared de campana (222).

5. El sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que incluye además:

45 una guía (270) de flujo de gas interior anular configurada para extenderse entre un extremo distal del dispositivo de desplazamiento de gas (150) y el extremo proximal de mandril (304) cuando el mandril (300) se coloca dentro de la cubierta exterior (102); y

la guía (270) de flujo de gas interior configurada para guiar el gas (152) que fluye del dispositivo de desplazamiento de gas (150) a la parte posterior de mandril (312).

6. El sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo de la reivindicación 5, que incluye además:

50 una guía (272) de flujo de gas exterior anular configurada para extenderse entre la segunda pared de campana (224) y un extremo proximal del intercambiador térmico (200); y

la guía (270) de flujo de gas interior y la guía (272) de flujo de gas exterior confinan el gas (152) que fluye del segundo espacio anular (260) al intercambiador térmico (200).

7. El sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo (100) de la reivindicación 5 o 6, que incluye además:

una extensión de carcasa anular (274) configurada para extenderse entre el dispositivo de desplazamiento de gas (150) y la primera pared de campana (222); y
la guía (270) de flujo de gas interior y la extensión de carcasa (274) que confinan el gas (152) que fluye del dispositivo de desplazamiento de gas (150) al primer espacio anular (256).

8. El sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde: el dispositivo de desplazamiento de gas (150) y el intercambiador térmico (200) están montados dentro de la cubierta exterior (102) de modo que cuando el mandril (300) está colocado dentro de la cubierta exterior (102), el dispositivo de desplazamiento de gas (150) y el intercambiador térmico (200) están ubicados axialmente debajo o hacia atrás del extremo proximal de mandril (304).

9. El sistema (100) de calentamiento de una pieza de trabajo de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde: la cubierta exterior (102) comprende una primera porción de cubierta (106) y una segunda porción de cubierta (108) configuradas para acoplarse entre sí a lo largo de una junta de cubierta (118), que incluye preferentemente además: al menos un miembro de soporte de mandril (322) acoplado de manera fija a la segunda porción de cubierta (108) y configurado para soportar el mandril (300) cuando se coloca dentro de la cubierta exterior (102).

10. Un método (500) para calentar una pieza de trabajo (418) soportada sobre un mandril (300), comprendiendo el método:

colocar (502) el mandril (300) dentro de una cubierta exterior (102), teniendo el mandril (300) un extremo proximal de mandril (304), un extremo distal de mandril (306), un eje de mandril, una parte frontal de mandril (310) que soporta la pieza de trabajo (418) y una parte posterior de mandril (312) opuesta a la parte frontal de mandril (310); calentar (504) gas (152) usando un intercambiador térmico (200) montado dentro de la cubierta exterior (102); descargar (506), usando un dispositivo de desplazamiento de gas (150) montado dentro de la cubierta exterior (102), el gas (152) del dispositivo de desplazamiento de gas (150) hacia la parte posterior del mandril (312);
dirigir (508), usando una primera pared de campana (222) de un sistema de campana (220) colocado sobre el mandril (300), el gas (152) del dispositivo de desplazamiento de gas (150) en una dirección generalmente axial a través de un primer espacio anular (256) entre la primera pared de campana (222) y la parte posterior de mandril (312) a lo largo de un primer segmento de trayectoria de flujo (254) que se extiende del extremo proximal de mandril (304) al extremo distal de mandril (306);
dirigir (510), usando una segunda pared de campana (224) del sistema de campana (220), el gas (152) del primer espacio anular (256) en una dirección generalmente axial a través de un segundo espacio anular (260) entre la segunda pared de campana (224) y la parte frontal del mandril (310) a lo largo de un segundo segmento de trayectoria de flujo (258) que se extiende del extremo distal de mandril (306) al extremo proximal de mandril (304); y calentar (512) el mandril (300) en respuesta a la dirección del gas (152) a través del primer espacio anular (256) y el segundo espacio anular (260) y calentar la pieza de trabajo (418) en respuesta al calentamiento del mandril (300).

11. El método (500) de la reivindicación 10, en donde las etapas de dirigir (508) el gas (152) a través del primer espacio anular (256) y dirigir (510) el gas (152) a través del segundo espacio anular (260) comprenden respectivamente:

dirigir (508) el gas (152) a través del primer espacio anular (256) ubicado radialmente en el interior del mandril (300); y
dirigir (510) el gas (152) a través del segundo espacio anular (260) ubicado radialmente en el exterior del mandril (300).

12. El método (500) de la reivindicación 10, en donde las etapas de dirigir (508) el gas (152) a través del primer espacio anular (256) y dirigir (510) el gas (152) a través del segundo espacio anular (260) comprenden respectivamente:

dirigir (508) el gas (152) a través del primer espacio anular (256) ubicado radialmente en el exterior del mandril (300); y
dirigir (510) el gas (152) a través del segundo espacio anular (260) ubicado radialmente en el interior del mandril (300).

13. El método (500) de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde la etapa de dirigir (508) el gas (152) a través del primer espacio anular (256) comprende:
dirigir (508) el gas (152) a través del primer espacio anular (256) definido entre la parte posterior del mandril (312) y

la primera pared de campana (222) que comprende una pared circunferencial de mandril (316) fijada a la parte posterior del mandril (312).

- 5 14. El método (500) de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, que incluye además:
mantener, usando una guía (270) de flujo de gas interior anular que se extiende entre una circunferencia del dispositivo de desplazamiento de gas (150) y una circunferencia del extremo proximal de mandril (304), la separación entre el gas (152) que fluye del dispositivo de desplazamiento de gas (150) hacia el primer espacio anular (256) y el gas (152) que fluye en una dirección opuesta del segundo espacio anular (260) hacia el intercambiador térmico (200).
- 10 15. El método (500) de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en donde la etapa de descargar (506) el gas (152) del dispositivo de desplazamiento de gas (150) comprende:
descargar (506) el gas (152) del dispositivo de desplazamiento de gas (150) ubicado axialmente al ras o hacia atrás del extremo proximal de mandril (304).

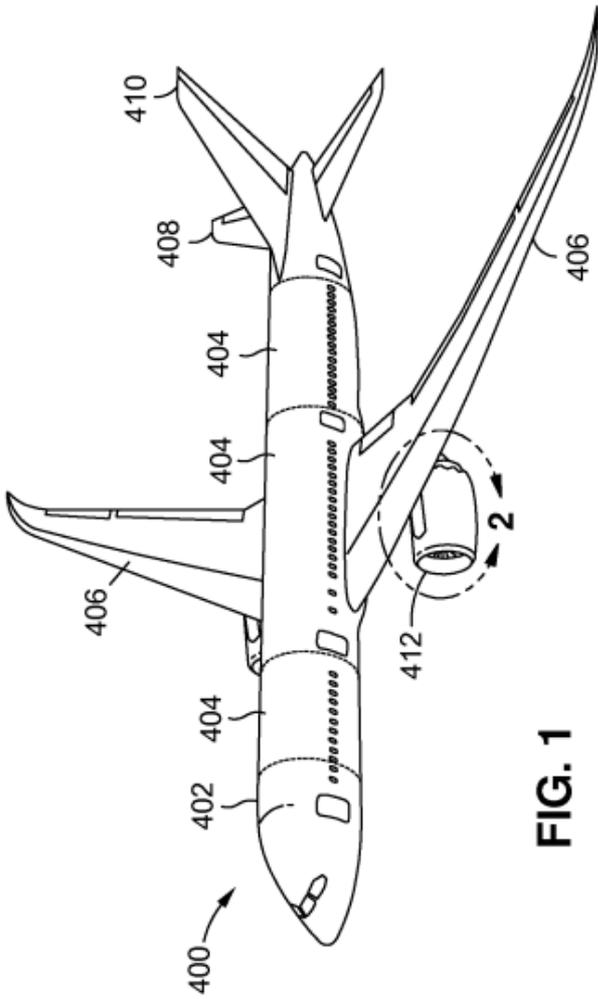


FIG. 1

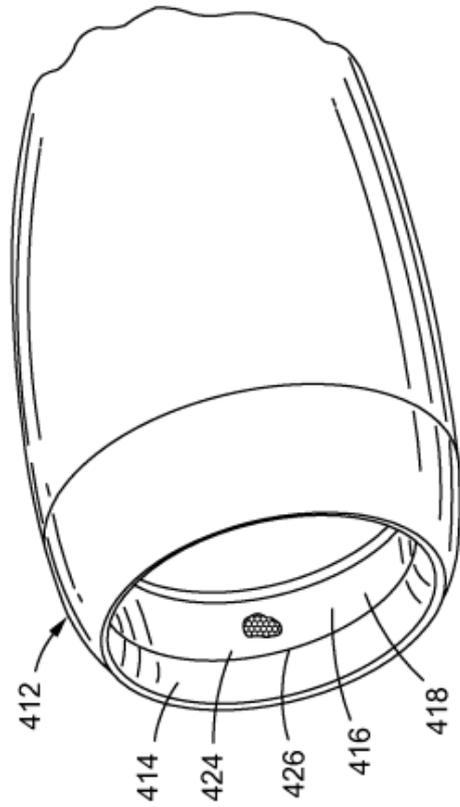


FIG. 2

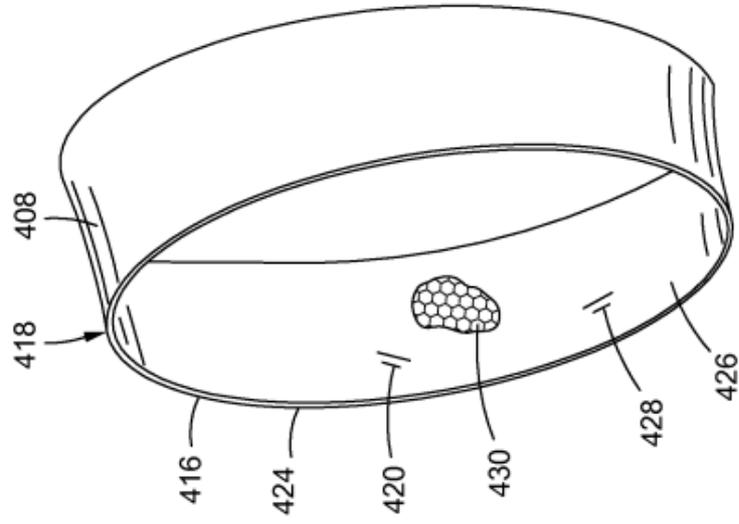


FIG. 3

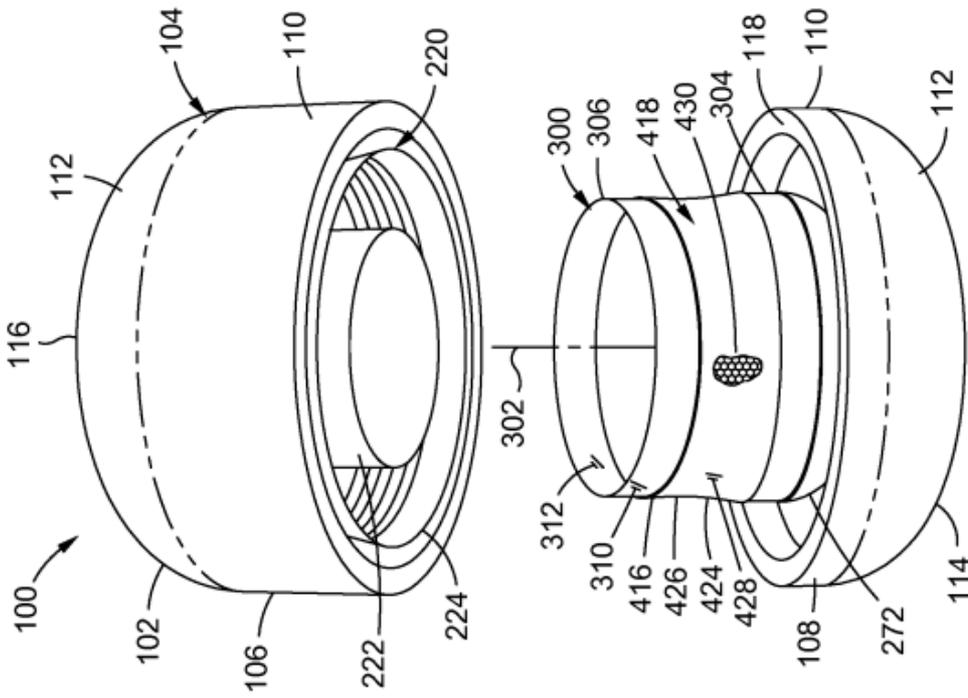


FIG. 5

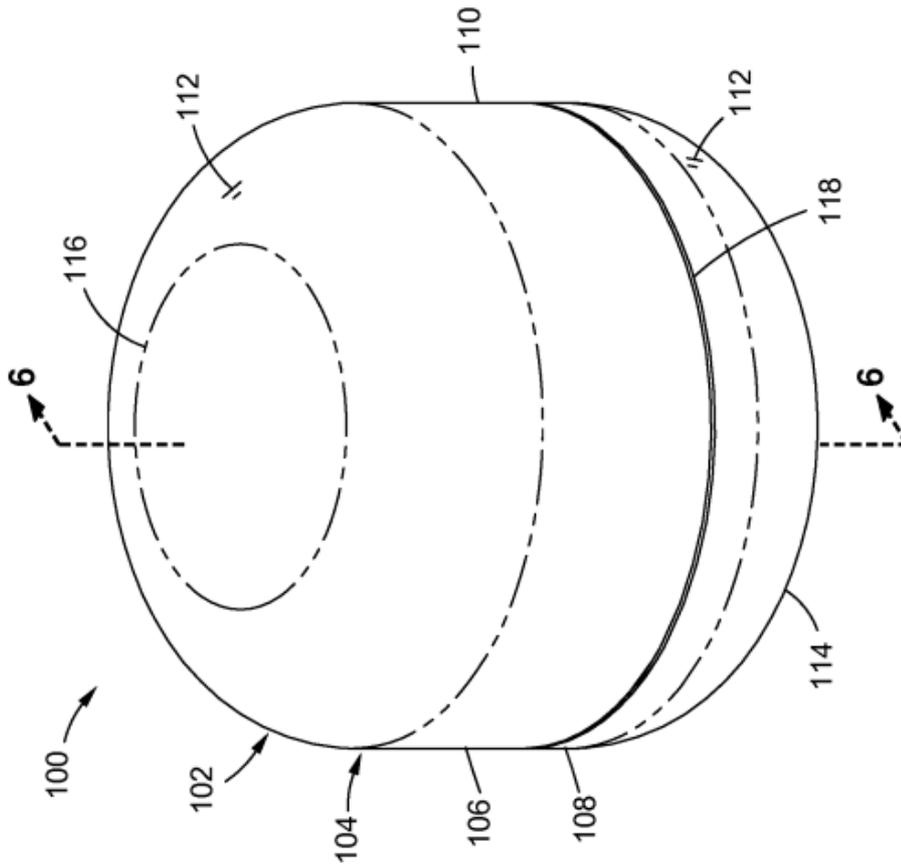


FIG. 4

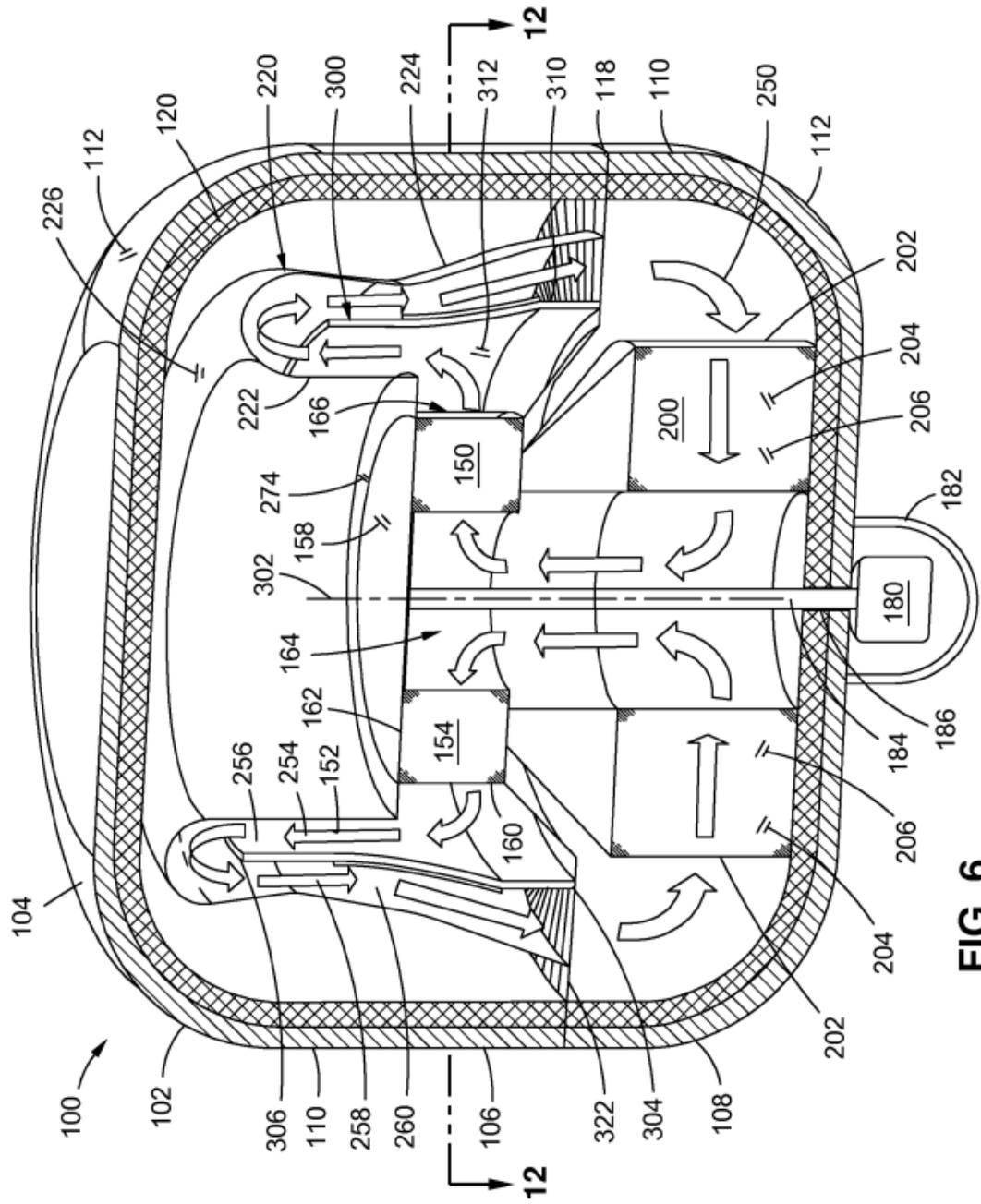


FIG. 6

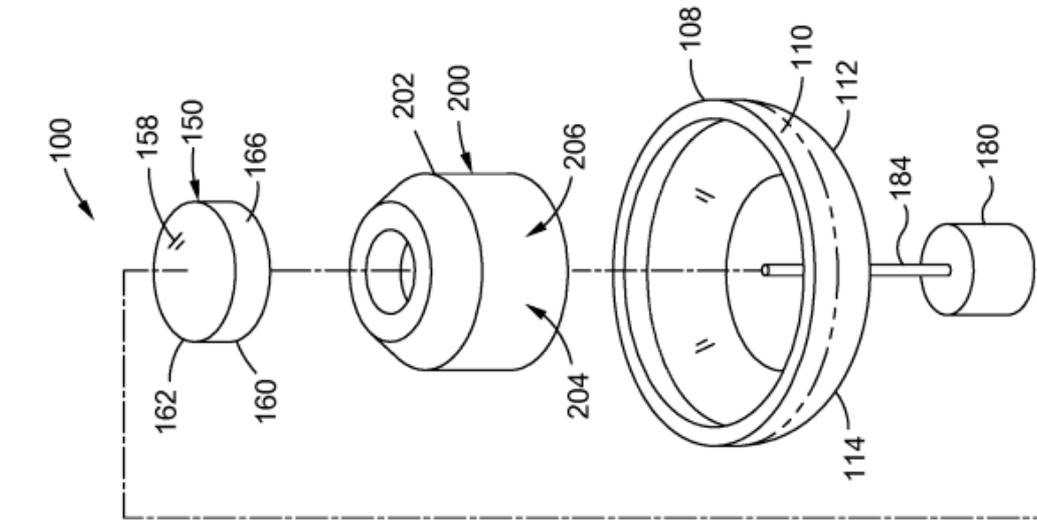


FIG. 7

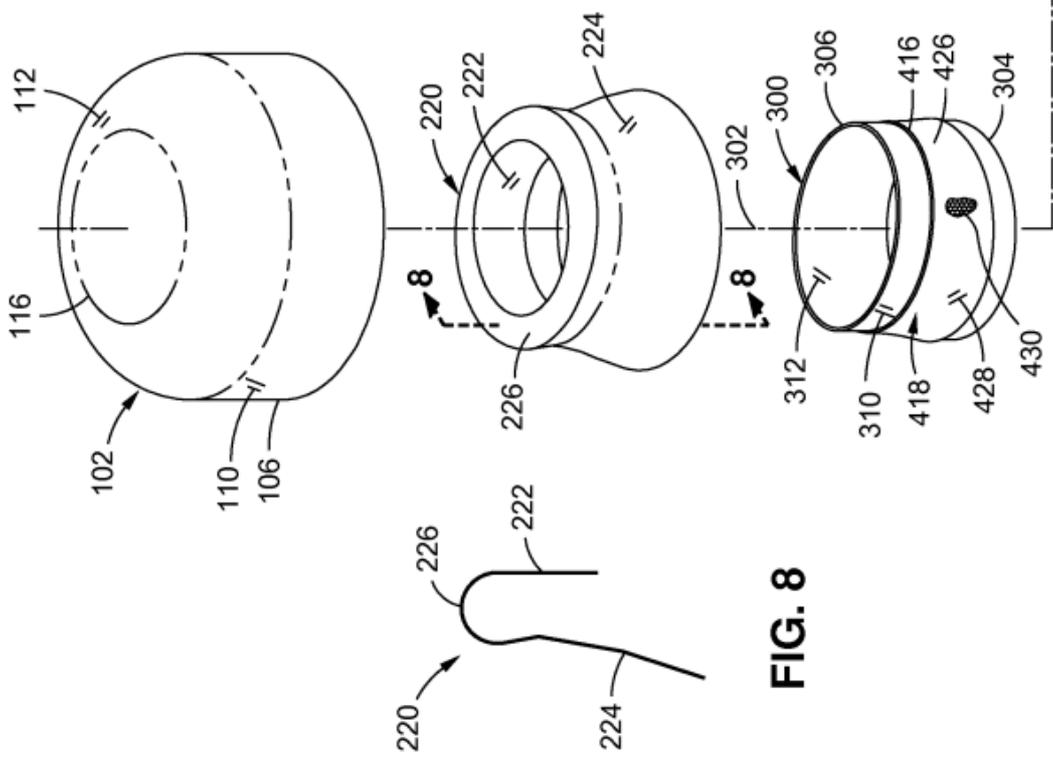


FIG. 8

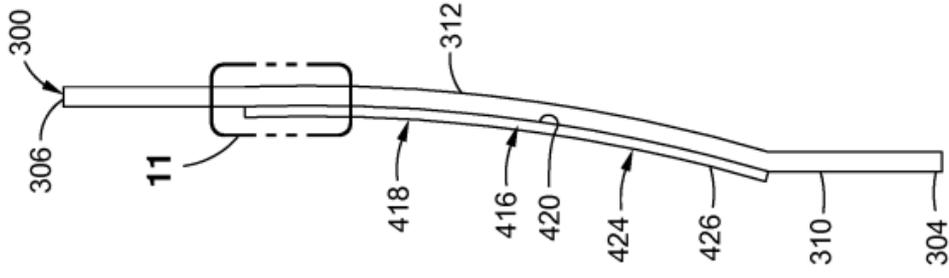


FIG. 10

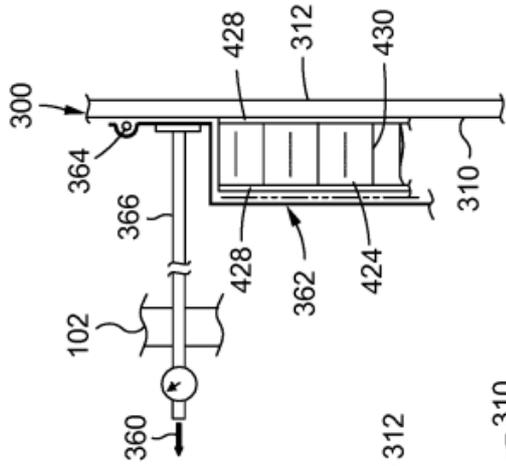


FIG. 11

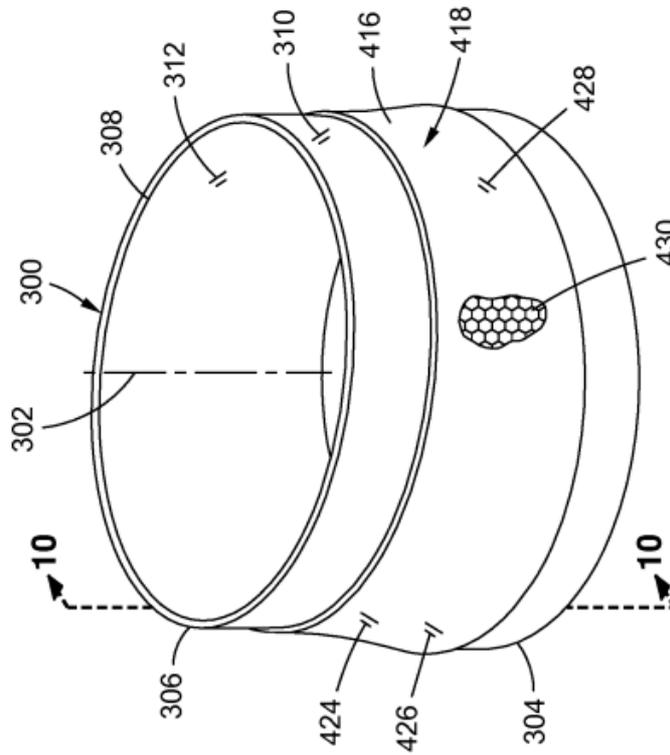


FIG. 9

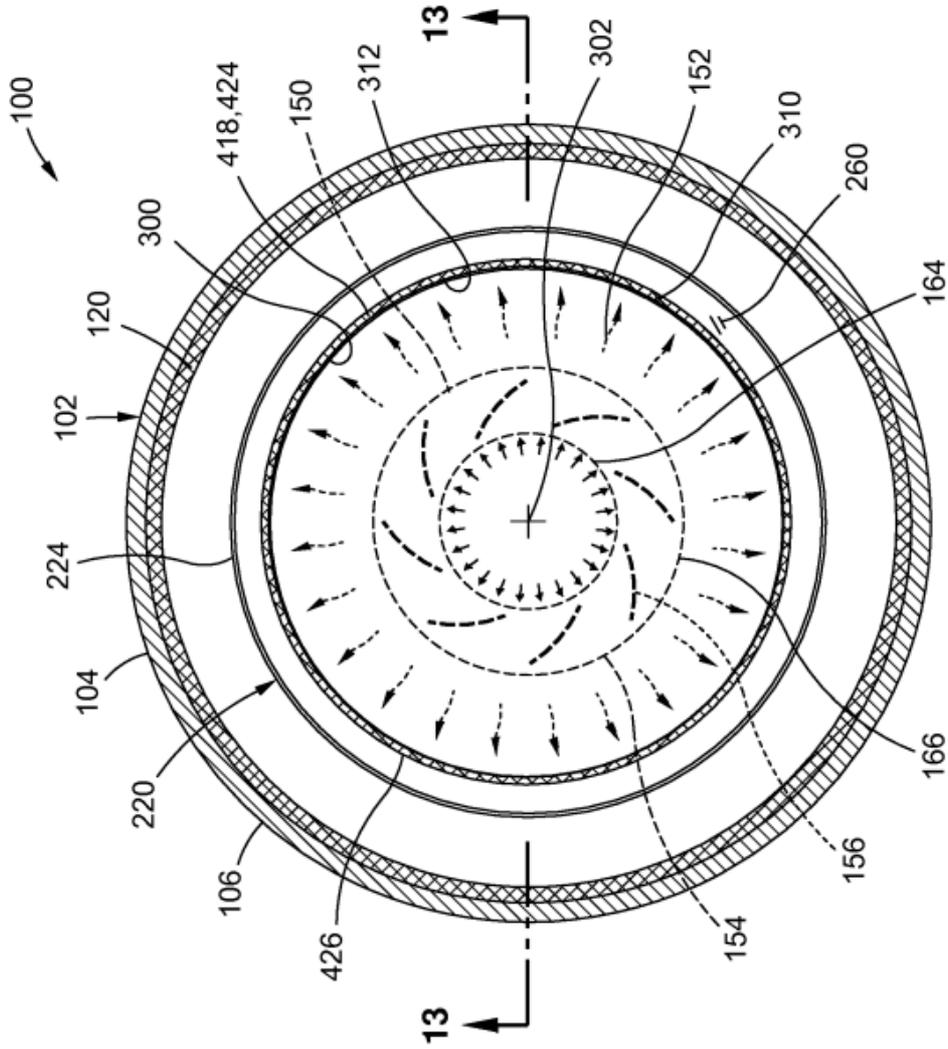


FIG. 12

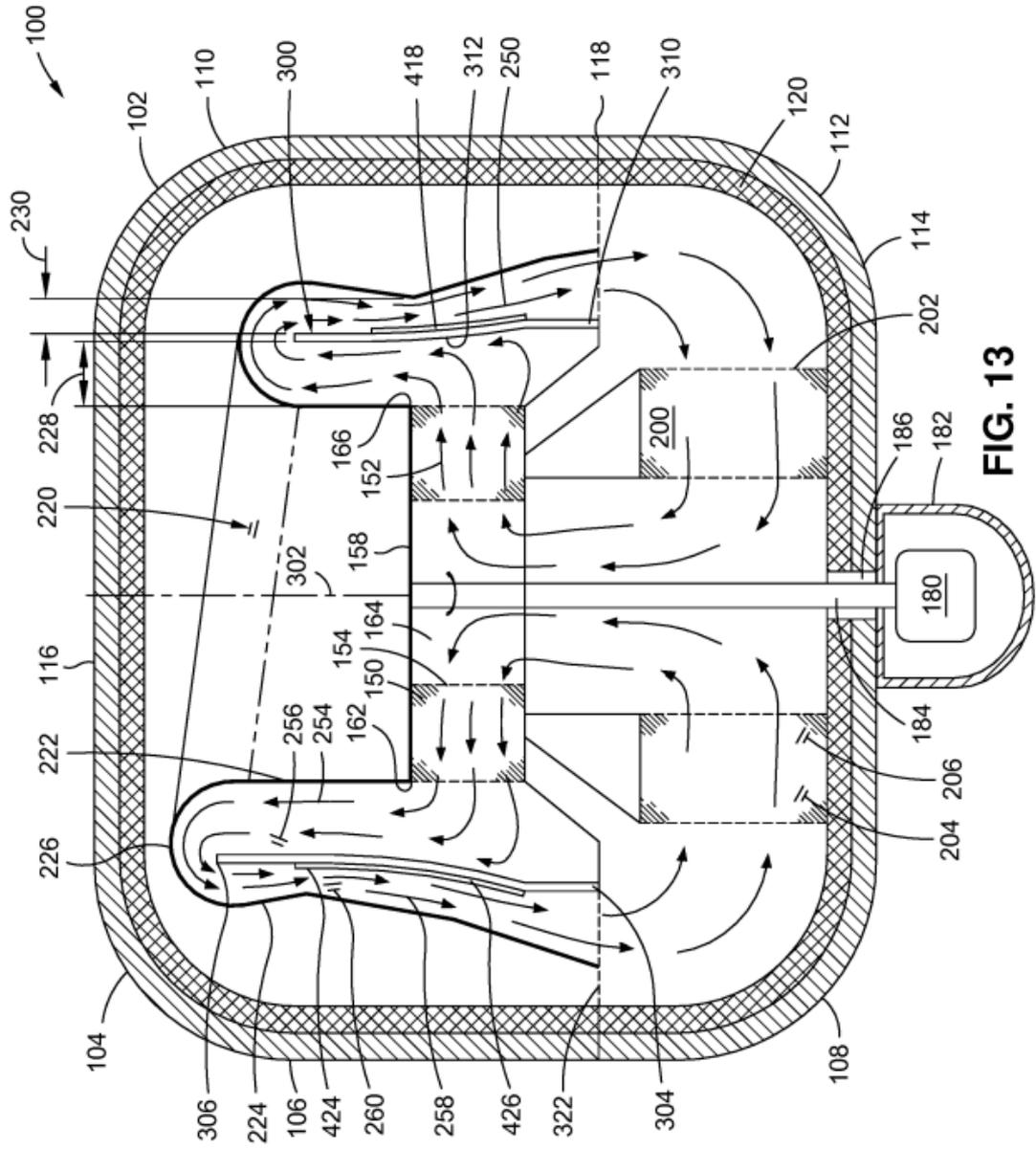


FIG. 13

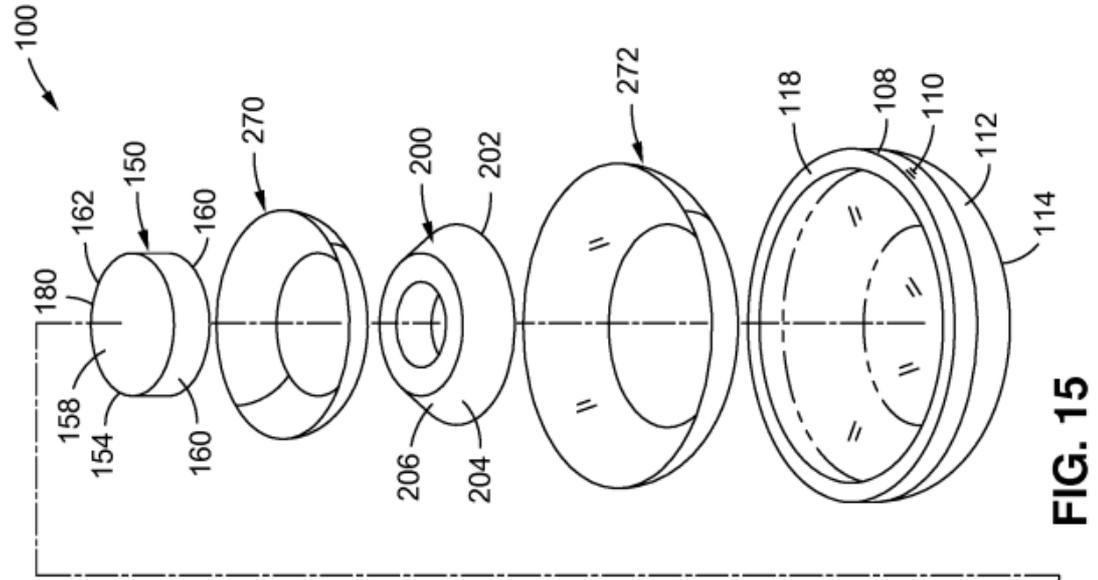


FIG. 15

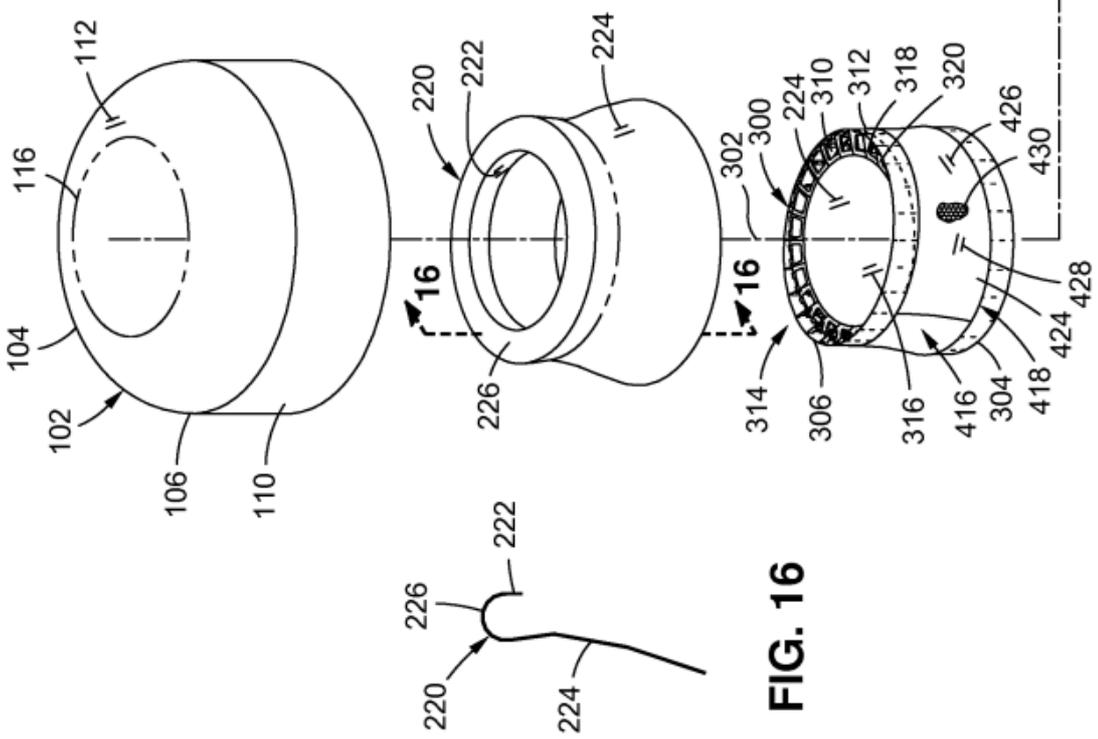


FIG. 16

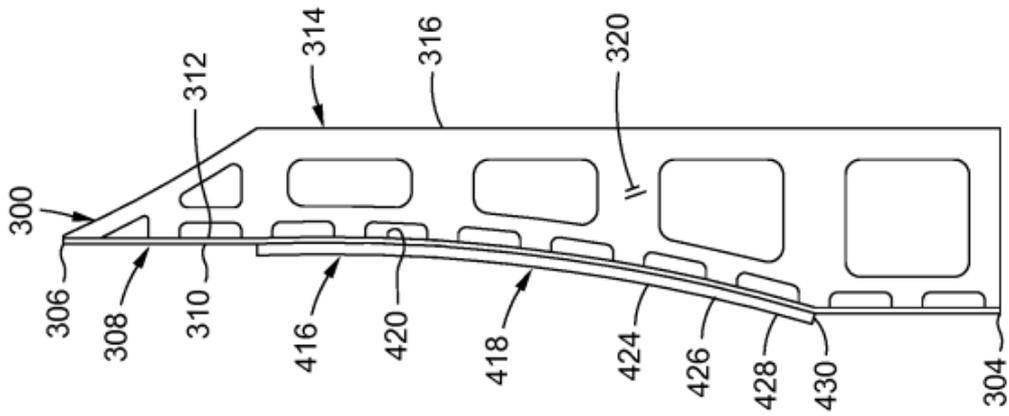


FIG. 18

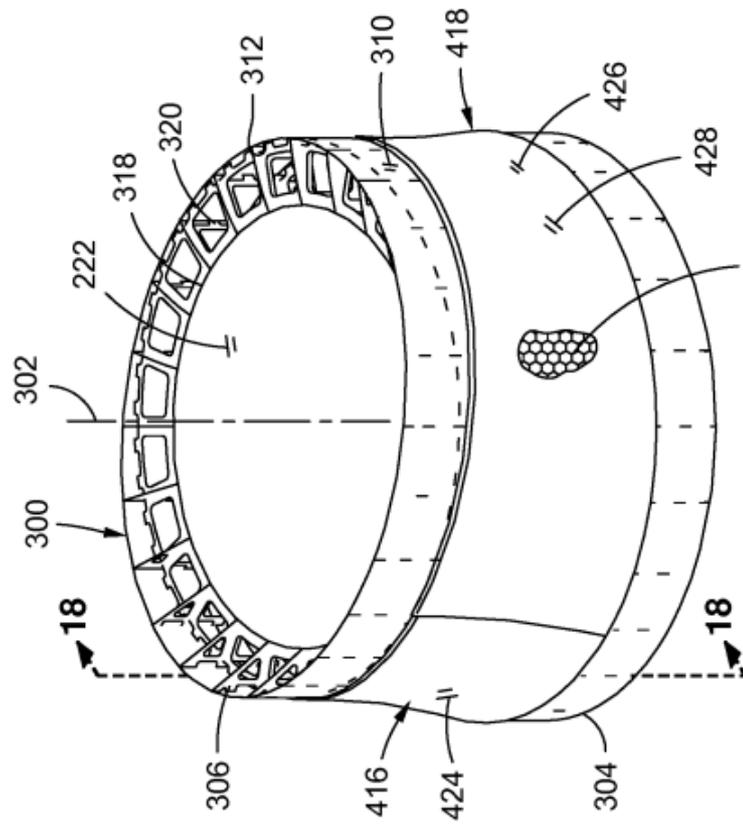


FIG. 17

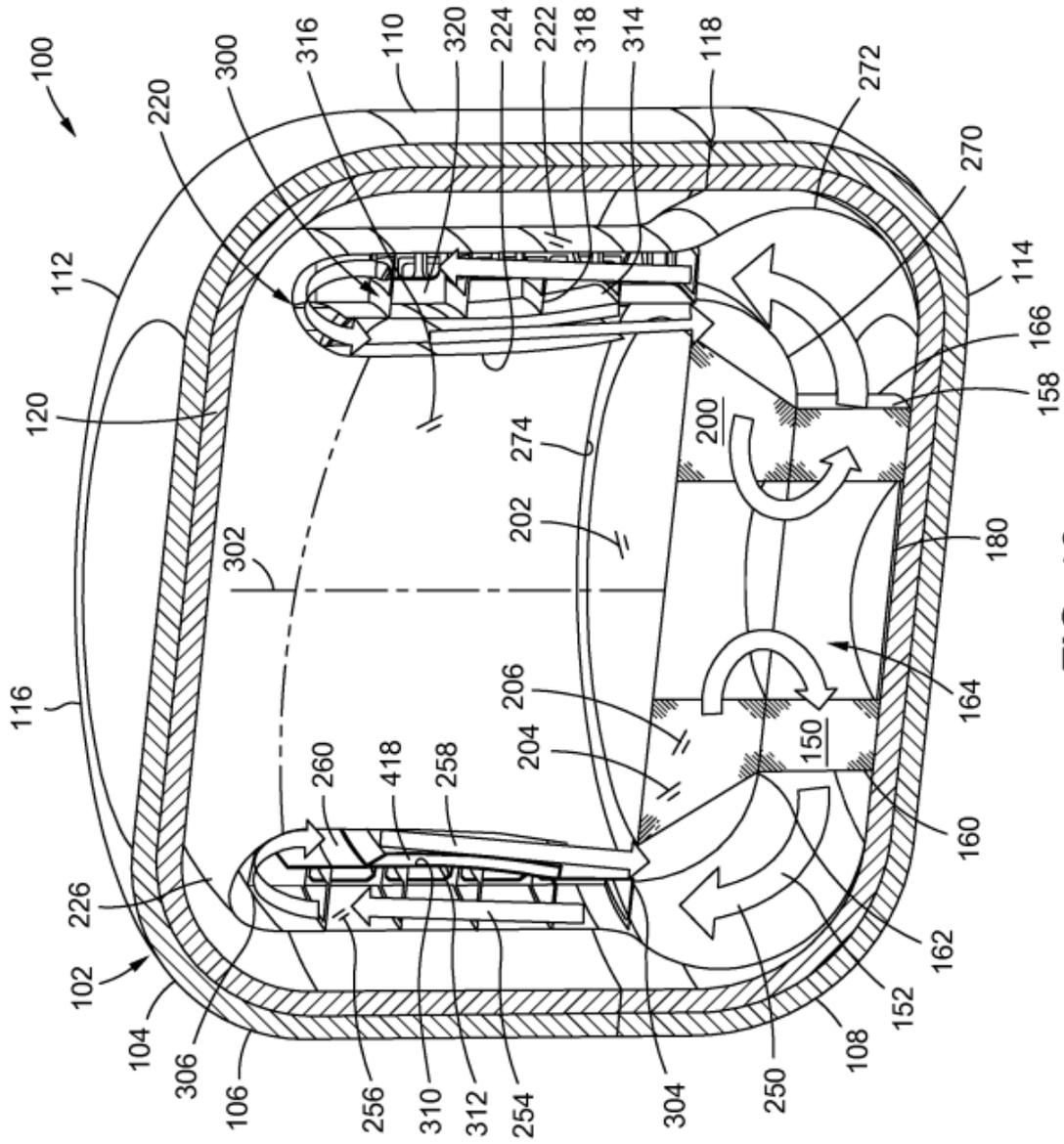


FIG. 19

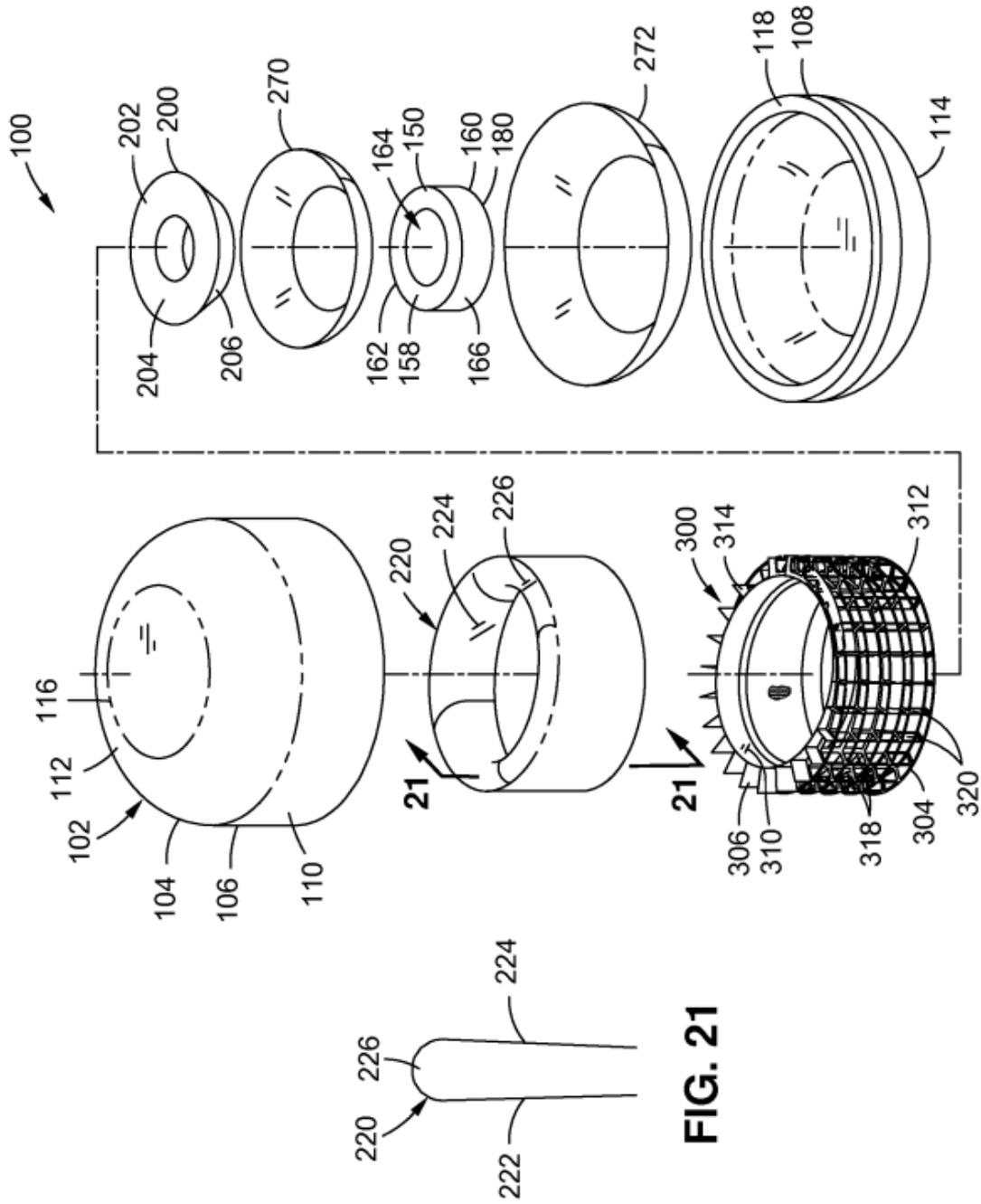


FIG. 20

FIG. 21

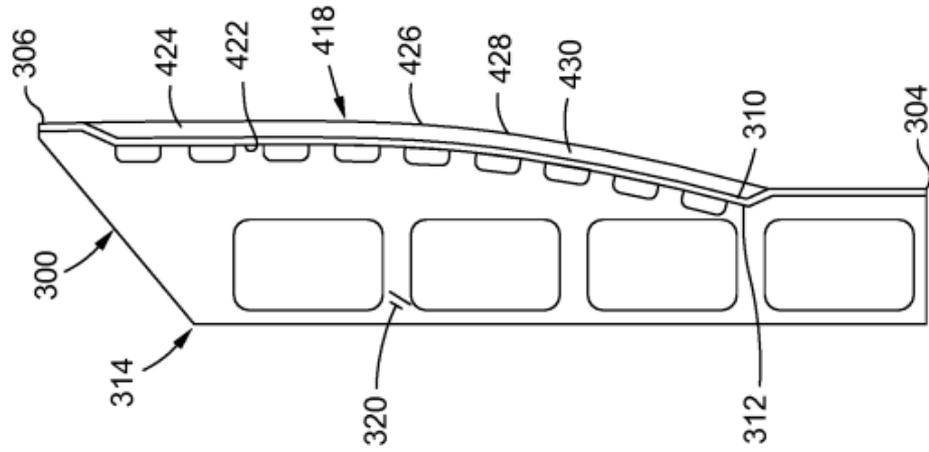


FIG. 23

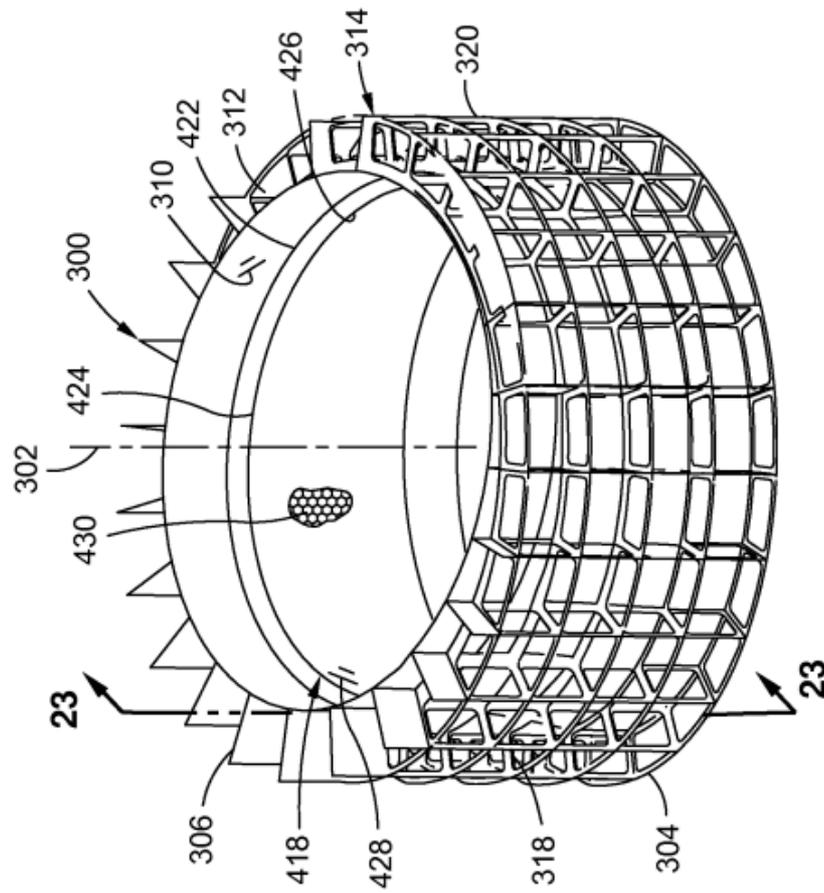


FIG. 22

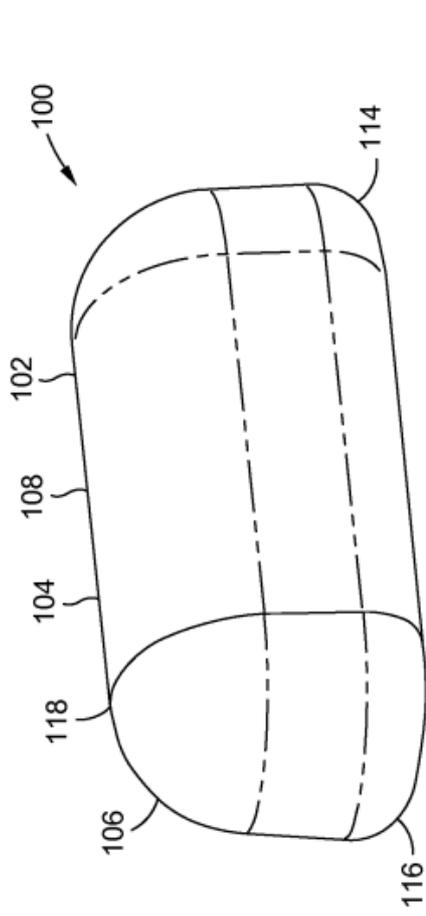


FIG. 24

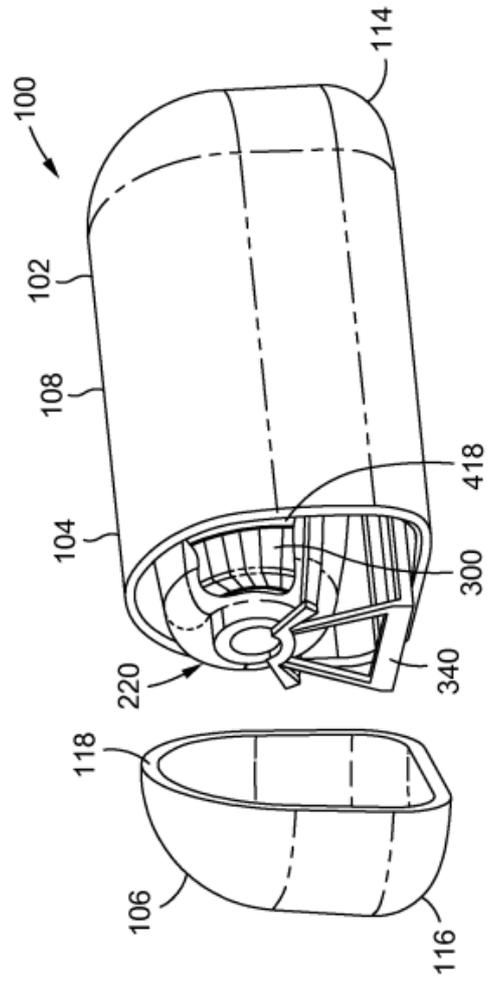


FIG. 25

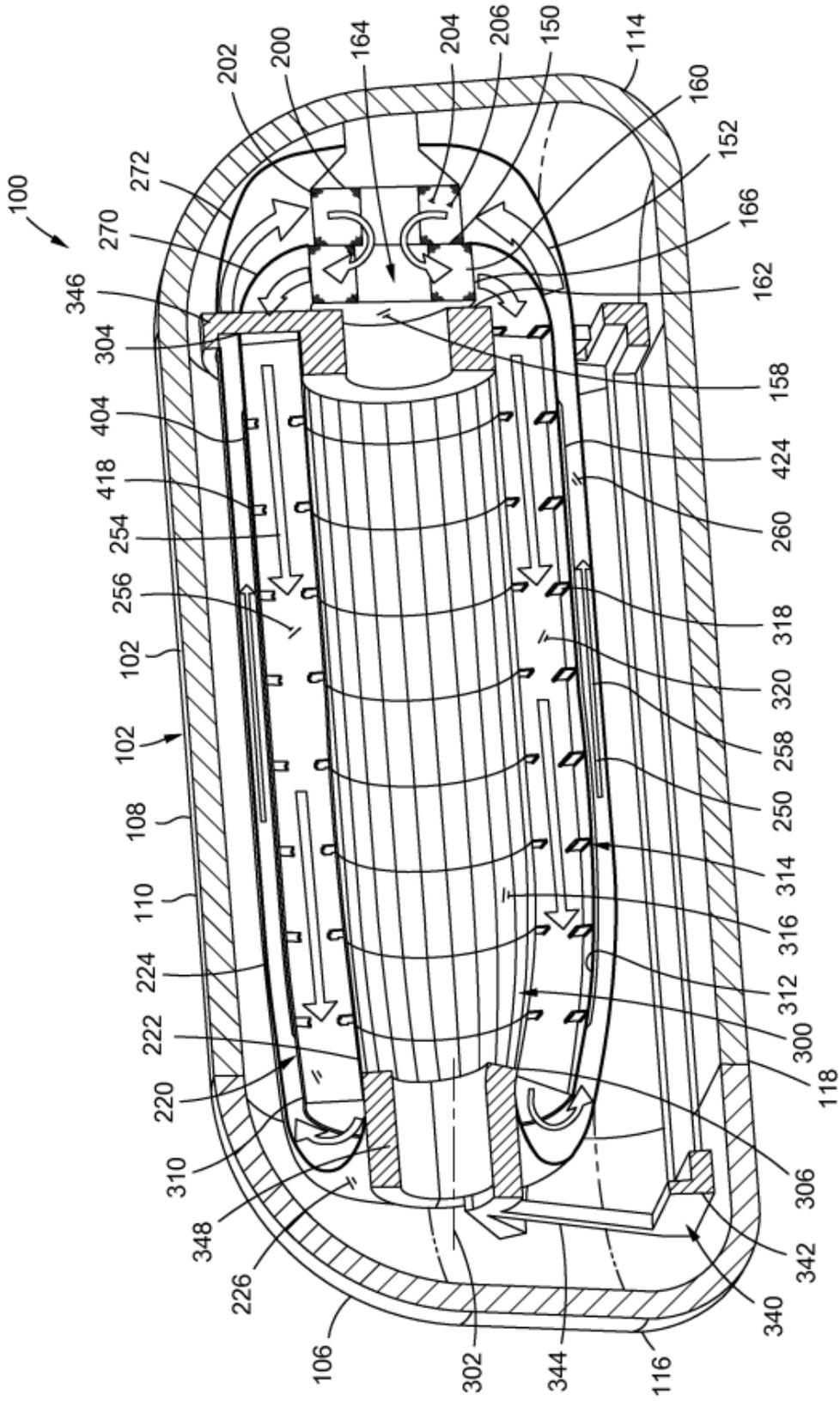


FIG. 26

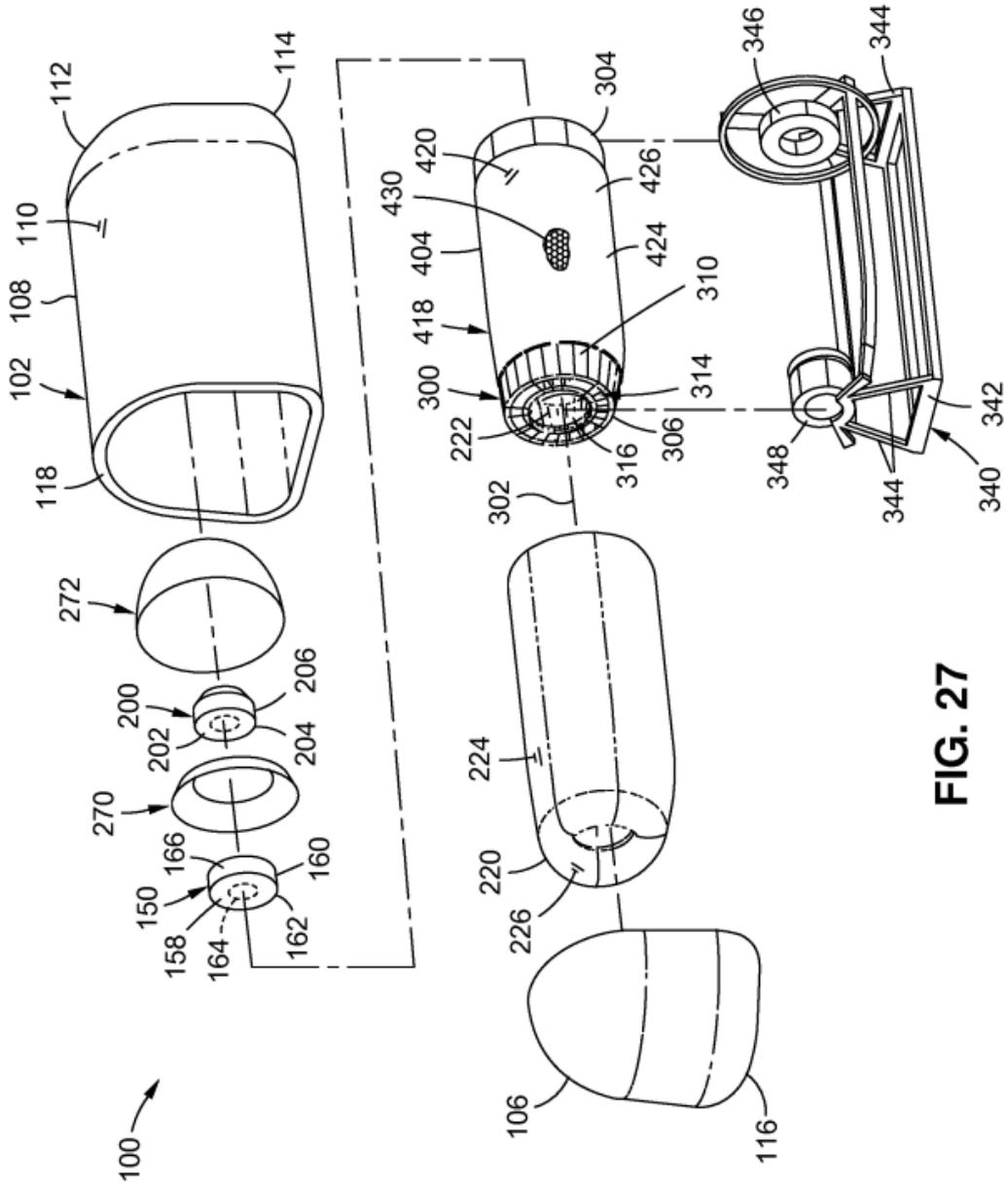


FIG. 27

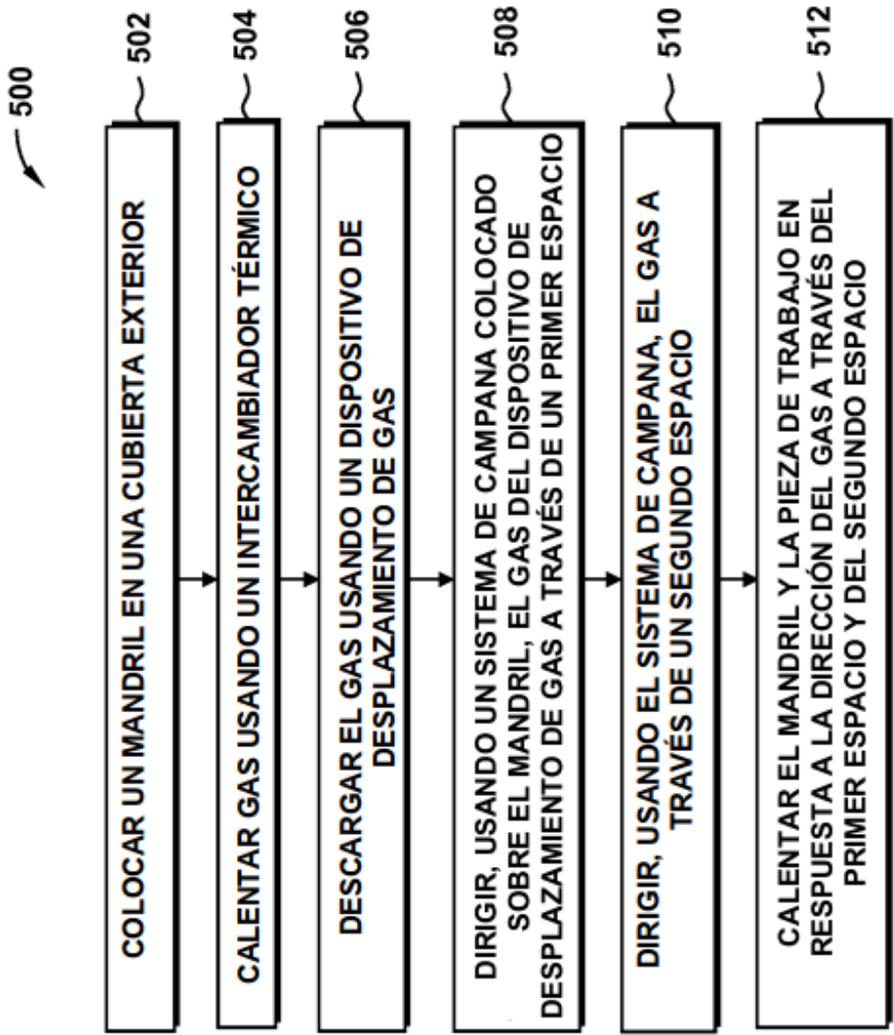


FIG. 28

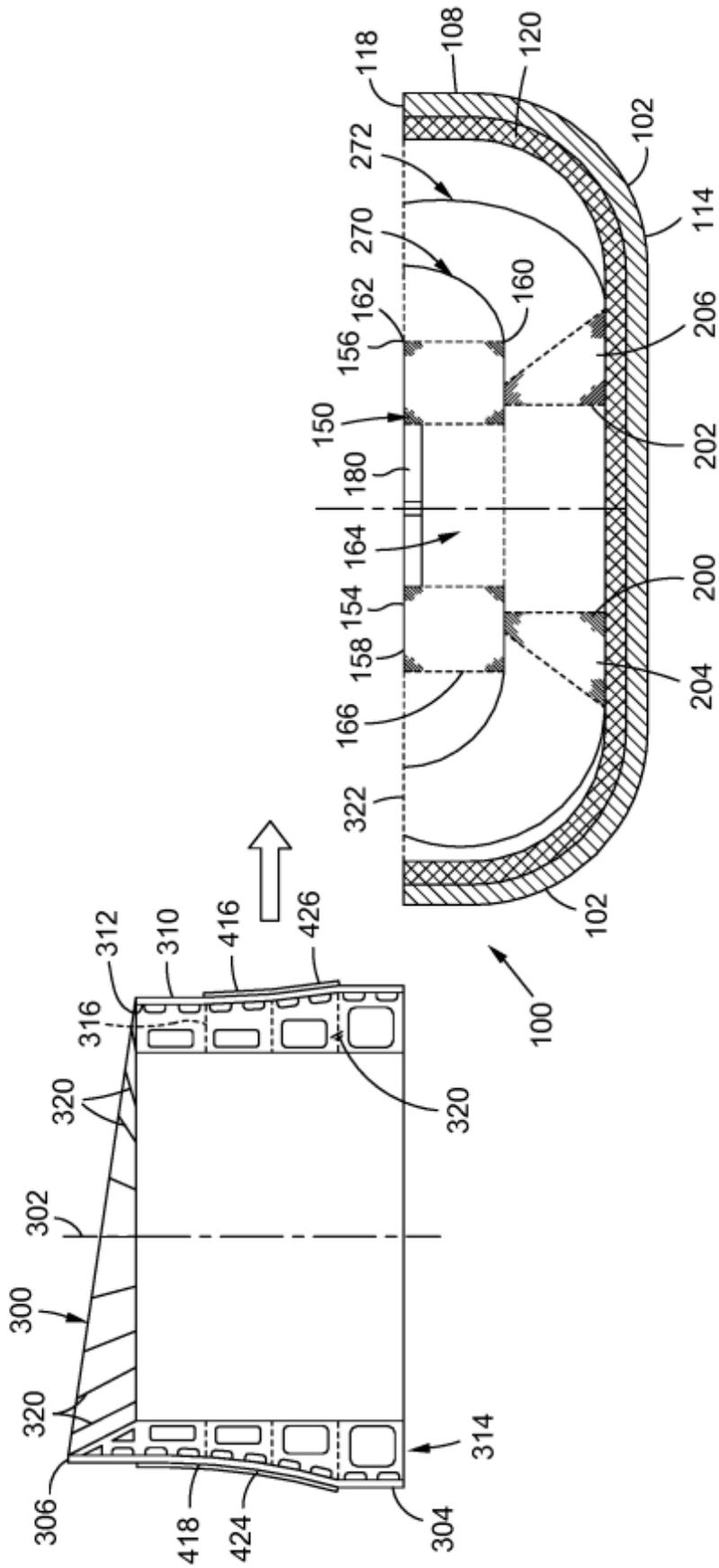


FIG. 29

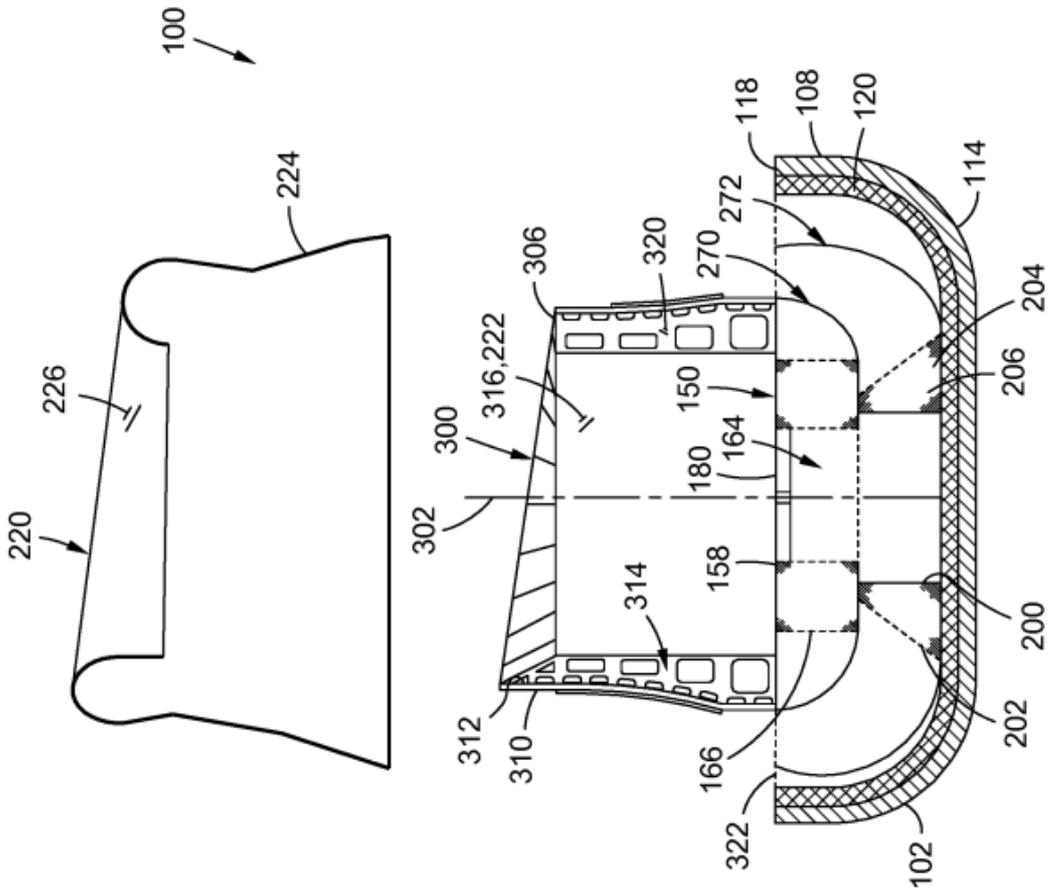


FIG. 30

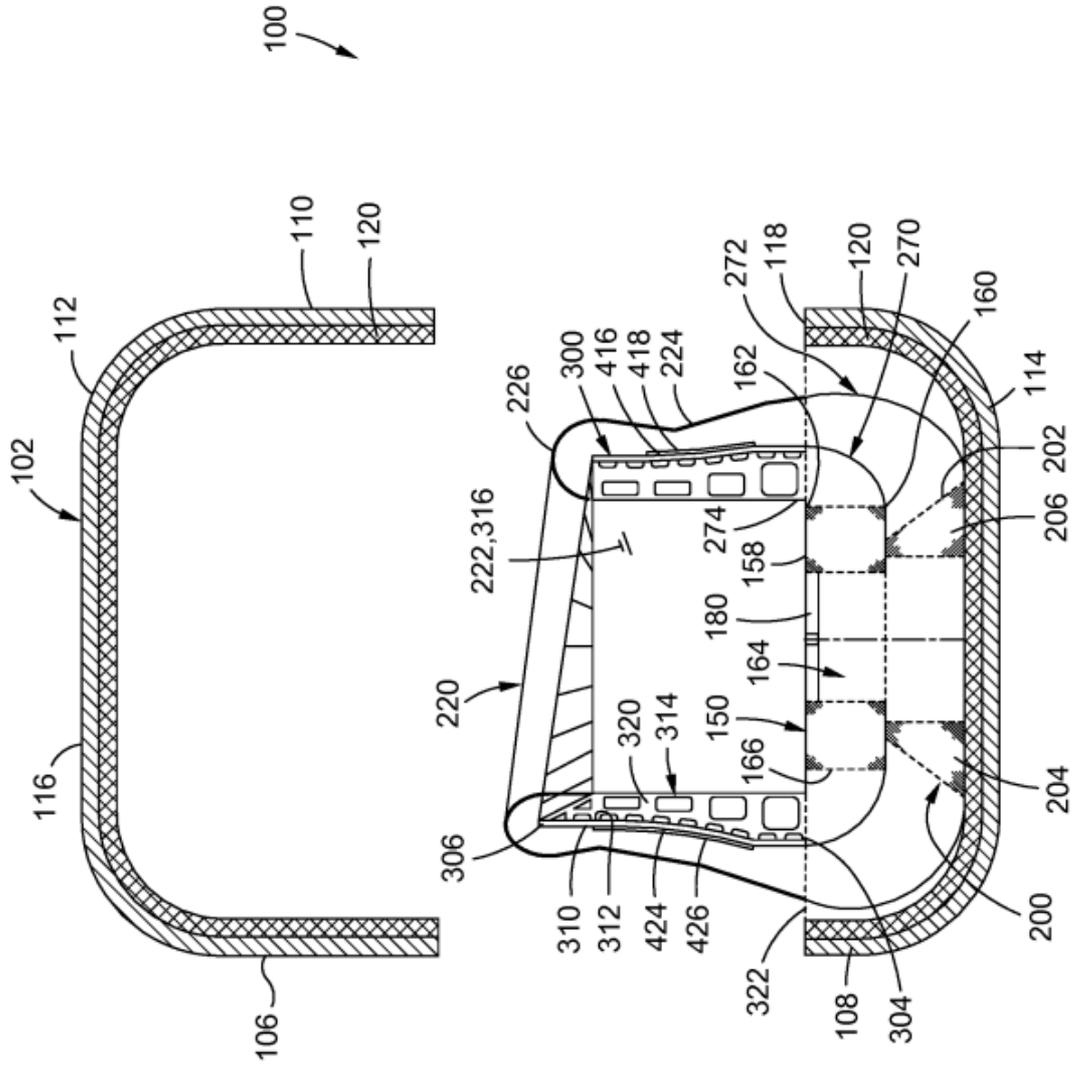


FIG. 31

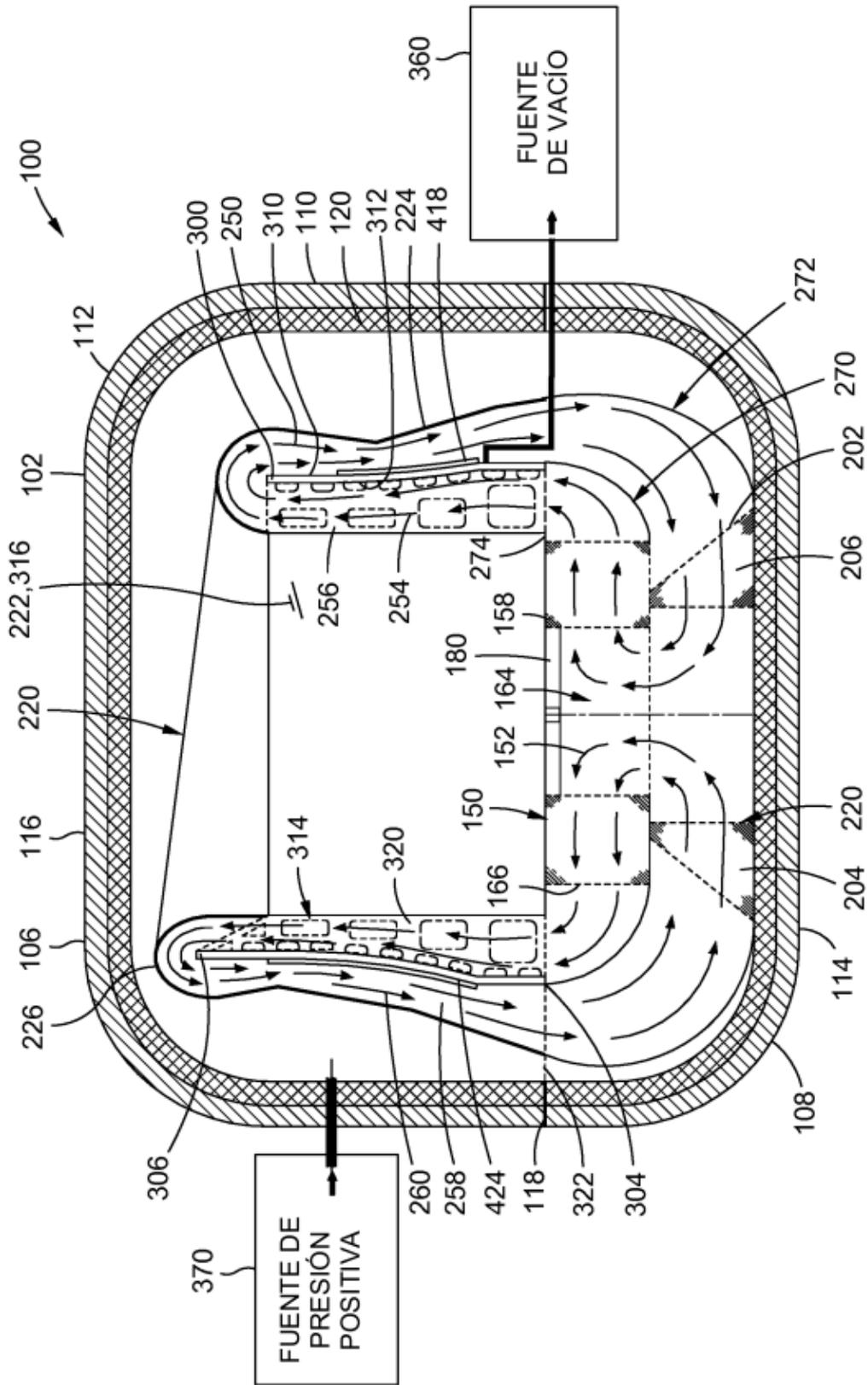


FIG. 32