

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 447 827**

51 Int. Cl.:

F01K 15/02 (2006.01)

F01K 21/04 (2006.01)

F01K 23/06 (2006.01)

F01K 25/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2010 E 10782537 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2013 EP 2499343**

54 Título: **Máquina termodinámica y procedimiento para su funcionamiento**

30 Prioridad:

14.11.2009 DE 102009053390

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

13.03.2014

73 Titular/es:

**ORCAN ENERGY GMBH (100.0%)
Rupert-Mayer-Strasse 44
81379 München, DE**

72 Inventor/es:

**SCHUSTER, ANDREAS;
SICHERT, ANDREAS y
AUMANN, RICHARD**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 447 827 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).

DESCRIPCION

Máquina termodinámica y procedimiento para su funcionamiento

5 La invención se refiere a una máquina termodinámica que comprende un sistema de circuito en el que circula un fluido de trabajo que particularmente hierve a baja temperatura, de modo alternante en una fase gaseosa y una fase líquida. La máquina comprende un intercambiador de calor, una máquina de expansión, un condensador y una bomba para líquido. La invención se refiere adicionalmente a un procedimiento para el funcionamiento de semejante máquina termodinámica en donde, en un circuito, el fluido de trabajo es calentado, expandido, condensado y transportado a través del bombeo del fluido de trabajo líquido.

10 Como máquina termodinámica en este sentido se entiende en particular una máquina que trabaja según el proceso de ciclo termodinámico de Rankine. El proceso de ciclo Rankine se caracteriza por un bombeo del medio líquido de trabajo, por una evaporación del medio de trabajo a una alta presión, por una expansión del fluido de trabajo gaseoso, mediante la ejecución de trabajo mecánico así como por una condensación del fluido de trabajo gaseoso a una presión baja. Según el proceso de ciclo Rankine trabajan por ejemplo actualmente las centrales eléctricas de vapor convencionales. De manera típica, en las centrales eléctricas de vapor calentadas con un combustible fósil, con una presión de más de 200 bar se genera vapor de agua con temperaturas de más de 500°C. La condensación del vapor de agua expandido se realiza a unos 25°C y a una presión de unos 30 mbar.

15 Una máquina termodinámica que trabaja según el proceso de ciclo de Rankine así como un procedimiento para su funcionamiento se conocen por ejemplo a partir del documento WO 2005/021936 A2. Como fluido de trabajo se utiliza en este caso agua.

20 En caso de que se deben utilizar unas fuentes de calor para la evaporación del fluido de trabajo que presentan una diferencia relativamente baja de temperaturas con respecto al sumidero de calor, entonces el grado de eficiencia que puede ser logrado con el fluido de trabajo agua ya no es suficiente para un modo de trabajo rentable. Sin embargo, las fuentes de trabajo de este tipo pueden ser explotadas con la ayuda de unas denominadas máquinas ORC en las cuales, en vez del fluido de trabajo agua se emplea un fluido que hierve a baja temperatura, particularmente un fluido orgánico. En este contexto se entiende por el concepto de "que hierve a baja temperatura" que un semejante fluido hierve a presiones más bajas que el agua, o presenta una presión de vapor más elevada, comparado con el agua. Una máquina ORC trabaja de acuerdo con el denominado proceso de ciclo orgánico Rankine (ORC), a saber, trabaja esencialmente con un fluido de trabajo diferente del agua, en particular orgánico, que hierve a baja temperatura. Como fluidos de trabajo para una máquina ORC se conocen por ejemplo los hidrocarburos, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos fluorados, compuestos con carbono, y particularmente los alcanos, éteres fluorados, fluoroetano o también los aceites de silicona sintetizados.

25 A través de máquinas o instalaciones ORC, por ejemplo las fuentes de calor que están disponibles en centrales geotérmicas o solares pueden ser utilizadas económicamente para la generación de corriente eléctrica. Asimismo, el calor perdido de un motor de combustión que se ha constituido a base de aire de escape, un circuito de refrigeración, de gases de escape etc., y no se ha aprovechado hasta el momento, puede ser aprovechado mediante una máquina ORC, para la ejecución de trabajo o para la generación de corriente.

30 Cuando se queda por debajo de la presión de vapor de un líquido que pertenece a una respectiva temperatura, este líquido se evapora. El hecho de quedar por debajo de la presión de vapor puede producirse en líquidos en reposo o en movimiento. En un líquido que fluye, por ejemplo, la presión de vapor puede dejar de ser alcanzada localmente, causado por una desviación aguda o una aceleración del flujo, de modo que se produce una evaporación local. Las burbujas de vapor que se generan localmente se condensan de nuevo en sitios con una presión más elevada y se desploman. El proceso global es designado como cavitación.

35 En una máquina termodinámica de la índole inicialmente indicada, una cavitación que se produce en la fase líquida del fluido de trabajo representa un problema considerable porque, debido al pequeño tamaño de las burbujas de vapor, la condensación de las mismas se realiza con mucha rapidez. En este caso se forma eventualmente un microchorro causado por una implosión repentina de las burbujas de vapor. Si este microchorro es dirigido hacia una pared circundante, se pueden alcanzar localmente unas puntas de presión de hasta 10.000 bares. Adicionalmente, las presiones elevadas pueden provocar temperaturas locales situadas muy por encima de 1000 °C lo que puede conducir a procesos de fusión en el material de las paredes. Los efectos de destrucción causados por cavitaciones pueden producirse en el curso de unas horas.

40 Además, en caso de una bomba, la aparición de la cavitación reduce de modo no deseado el caudal de flujo del fluido. Puesto que las burbujas de vapor difieren en su densidad, de regla general, claramente del líquido, se reduce el caudal másico transportable, incluso en el caso de una proporción másica reducida del fluido de trabajo en forma de vapor, en caso de un caudal volumétrico determinado. En caso de una intensa formación de vapor, el caudal másico incluso puede desplomarse. En caso de que la máquina de trabajo se utiliza por ejemplo como bomba en una instalación ORC, entonces el proceso entero del circuito puede eventualmente quedarse paralizado. A través de la falta de potencia de la bomba se produce una retención del fluido de trabajo líquido en el condensador, por lo que

5 su eficiencia se reduce considerablemente. De este modo la evacuación de calor se queda paralizada. Este estado del sistema global puede abandonarse sólo con dificultades. Se tiene que esperar hasta que el fluido de trabajo se subenfrie por sí mediante enfriamiento. Además, la circulación a través del evaporador se desmorona de modo que ya no puede evacuarse nada de calor. En este caso, el fluido de trabajo utilizado puede resultar dañado eventualmente, porque se sobrepasa su límite de estabilidad.

10 Para una máquina que trabaja según el proceso de ciclo Rankine, el problema de la aparición de una cavitación se ha descrito por ejemplo en el documento EP 1 624 269 A2. Allí, una cavitación en el fluido de trabajo agua dentro del condensador y la bomba consecutiva debe impedirse por prever un sistema de regulación específica de la presión y de la temperatura junto al condensador. A este efecto están comprendidos los correspondientes sensores de la presión y de la temperatura. En particular, el nivel del agua en el condensador es mantenido a un nivel previamente determinado. Ello se apoya a través de una válvula de descarga que evacúa hacia fuera el agua o unos gases no condensables.

15 Asimismo, en el documento US 7,131,290 B2 se describe, para una máquina que trabaja según el proceso de ciclo Rankine, la importancia de un nivel constante de agua en el condensador. En particular se indica la repercusión de un nivel variable del agua sobre las superficies de refrigeración que llegan a activarse en el condensador. En caso de que, causado por las condiciones de depresión que predominan en el condensador, un gas no condensable, tal como aire, penetra en el sistema de circuito del fluido de trabajo, este gas se acumula particularmente en el condensador. Para evitar una pérdida del rendimiento de refrigeración que resulte de ello, el documento US 20 7,131,290 B2 propone el correspondiente dispositivo de separación y evacuación.

25 El documento DE 10 2006 013 190 A1 ha revelado una máquina compleja de fluido que trabaja según el proceso de ciclo Clausius-Rankine. La máquina de fluido dispone de una bomba para la presurización y la retirada por bombeo de un fluido de trabajo en fase líquida, y dispone de un dispositivo de expansión unido en serie con la bomba para la generación de una fuerza de propulsión por expansión del fluido de trabajo que es calentado con el fin de convertirse en un fluido de trabajo en fase gaseosa. En este caso está previsto transferir el calor del fluido de trabajo a un lado de salida del dispositivo de expansión, al fluido de trabajo en un lado de salida de la bomba de fluido.

30 A partir del documento DE 36 41 122 A1 se conoce una unidad de propulsión transportable para la conversión del calor, estructurada como una máquina termodinámica del tipo mencionado al principio y que trabaja según el proceso de ciclo Rankine.

35 El documento DE 7 225 314 U ha dado a conocer una central termoeléctrica de vapor en la que se utiliza un medio de trabajo orgánico en el proceso de ciclo Rankine.

40 Asimismo, a partir del documento US 4,291,232 se conoce una máquina termodinámica de la índole indicada al principio. En este caso, como fluido de trabajo circula una solución de gas en un líquido, en particular una solución de amoníaco en agua. Mediante la disolución del gas en el líquido se disminuye la presión del gas y del líquido. Mediante la separación del gas a través de una elevación de la temperatura se aumenta la presión.

45 Además, el documento DE 198 53 206 C1 ha revelado para una central termoeléctrica de vapor, la solución de derivar, para un funcionamiento exento de cavitación, un flujo de vapor de extracción hacia la cámara de vapor a través del condensado en un recipiente de agua de alimentación de modo que allí se mantiene la presión. A partir del recipiente de agua de alimentación cargado de este modo se alimenta a través de una bomba de alimentación el agua de alimentación hacia el generador de vapor.

50 Es un objeto de la invención perfeccionar una máquina termodinámica de la índole inicialmente indicada en el sentido de que se evite en la medida de lo posible la aparición de una cavitación en el líquido o en el fluido de trabajo líquido. Además la invención tiene como objeto proporcionar un procedimiento correspondiente para el funcionamiento de una tal máquina termodinámica, evitándose en la medida de lo posible la cavitación en el líquido.

55 En lo que se refiere a la máquina, este objeto se resuelve según la invención a través de la combinación de características de acuerdo con la reivindicación 1. De acuerdo con ello, para una máquina termodinámica de la índole inicialmente indicada está previsto que al fluido de trabajo líquido, en la cabeza de la bomba para líquido, se le imponga una presión parcial que aumente la presión del sistema a través de la adición de un gas auxiliar no condensable.

60 El invento parte en este caso del reconocimiento de que, en particular en el caso de la concepción de una máquina ORC, está subestimada la posibilidad de una aparición de una cavitación en la fase líquida. Así sucede que en el caso de la concepción global no se mantiene por ejemplo una altura de cabeza indicada para una bomba. Una semejante altura de cabeza da lugar allí, mediante la columna de fluido junto a la boca de aspiración, a una necesaria elevación de la presión. A causa del condensador previamente conectado, en efecto, el fluido, sin tomar en consideración la altura de cabeza junto a la bomba se sitúa con la presión de vapor de saturación o condensación, siempre y cuando se parta del hecho de que no tiene lugar ningún subenfriamiento. Al poner en

marcha la momba, entonces se puede quedar por debajo de la presión de vapor de saturación, sin tomar en consideración la altura de cabeza, a través de la potencia de aspiración resultante. Se produce una cavitación.

5 De manera típica, la altura de cabeza para una bomba está dada por el denominado valor de NPSH. Por el concepto de valor de NPSH (Net Positive Suction Head = altura de aspiración positiva neta) se entiende en este caso la necesaria altura de afluencia mínima por encima de la presión de vapor de saturación. Con otras palabras, el necesario valor de NPSH expresa la potencia de aspiración de la bomba. El valor de NPSH es expresado en metros. Para una bomba apropiada en este caso, típicamente es de unos metros. Si, para una bomba dada, en la cabeza no se respeta por consiguiente el valor de NPSH, durante el funcionamiento se llega a unos problemas no insignificantes de cavitación. Se llega a una formación no deseada de burbujas de vapor.

10 De modo desventajoso, por lo tanto, precisamente en caso de la concepción de una máquina ORC pequeña y compacta, la bomba debe ser dispuesta descendida en lo que se refiere al nivel de la instalación, lo que conduce a un aumento no deseado del espacio de la construcción.

15 Unas alternativas para evitar una cavitación en la fase líquida del fluido de trabajo, tal como por ejemplo un subenfriamiento del fluido de trabajo para la disminución de la presión de vapor, son caras a causa del gasto adicional. También resulta una superficie requerida adicional. Además, se debe aportar más energía para el calentamiento del fluido de trabajo subenfriado. En la misma medida, la utilización de una bomba preliminar para generar una presión adicional junto a la boca de aspiración no es rentable. Además, se necesita espacio adicional de construcción para una bomba adicional.

20 De un modo sorprendente, la invención ha reconocido por fin que el problema de la formación de cavitaciones en una máquina termodinámica se puede resolver a través del empleo de un gas no condensable. Mientras que hasta ahora en las máquinas que trabajan según el proceso de circuito Rankine un gas no condensable que se encontraba en el circuito de circulación era eliminado de un modo costoso como indeseado, puesto que disminuía el grado de eficiencia, la invención prevé ahora una incorporación deliberada del mismo.

25 La invención reconoce, en efecto, que en el caso de un gas no condensable que se encuentra en el circuito, la presión parcial del mismo en la fase gaseosa se suma a la presión de condensación. La presión del sistema, aumentada de una manera deseada, que resulta de ello, se impone al fluido de trabajo líquido, en particular en la cabeza de la bomba de líquido. Las desventajas vinculadas con la adición de un gas no condensable en el circuito de circulación, tales como en particular una elevación de la contrapresión para la máquina de expansión, se suprimen en el caso de un fluido de trabajo que hierve a baja temperatura mediante las ventajas de la evitación de una cavitación. En el caso de un fluido de trabajo que hierve a baja temperatura se condensa a unas presiones más altas en comparación con el agua. Típicamente a la temperatura ambiente se puede condensar por encima de la presión atmosférica. La presión parcial, generada necesariamente a través del gas auxiliar, repercute por lo tanto menos y de una manera despreciable en el sentido del concepto global, sobre el grado de eficiencia global.

30 En detalle, la invención permite escoger la cantidad de sustancia del gas auxiliar de tal manera que la altura de cabeza para la bomba pueda ser disminuida de un modo correspondiente en el sentido del espacio de construcción puesto a disposición. Al mismo tiempo en este caso se puede tomar en consideración que la contrapresión embarazosa para la máquina de expansión permanezca dentro de un nivel aceptable en total.

35 La invención ofrece por consiguiente la manifiesta ventaja de que se puede concebir una máquina termodinámica compacta para el aprovechamiento de fuentes de calor a bajas temperaturas. El espacio constructivo ya no está preestablecido imperativamente por la necesaria altura de cabeza de la bomba. Puesto que, fundamentalmente, el gas no condensable puede ser incorporado una sola vez al llenar la instalación, eventualmente no son necesarias incluso medidas constructivas adicionales de ningún tipo. Por consiguiente, la invención ofrece una posibilidad extremadamente económica para una compactación adicional de una máquina termodinámica. La invención es apropiada, por lo tanto, de modo excelente, para concebir unas pequeñas máquinas móviles que se emplean por ejemplo en vehículos automóviles para el aprovechamiento del calor del motor, del medio refrigerante o del gas de escape.

40 En una realización ventajosa, la presión parcial que resulta de la adición del gas auxiliar es suficientemente elevada para que en la cabeza, durante el funcionamiento de la bomba de líquido, no se quede por debajo de la presión de vapor de saturación. Tal como se describirá a continuación, ello es el caso por ejemplo, bajo ciertas suposiciones de simplificación (ausencia de subenfriamiento adicional del líquido) si la presión parcial resultante corresponde por lo menos al valor de NPSH de la bomba para líquidos. Eventualmente se puede renunciar incluso completamente a una altura de cabeza de la bomba. Bajo condiciones reales, la cantidad del gas auxiliar alimentado debe ser dimensionada de modo que la presión parcial resultante sobrepase la presión de aspiración o respectivamente el valor de NPSH calculado.

45 La invención no está restringida imperativamente a una máquina termodinámica que trabaja según el proceso de circuito Rankine. Por ejemplo, también puede estar abarcada una máquina que no comprende ninguna evaporación del fluido de trabajo delante de la máquina de expansión, sino que en su caso, en la máquina de expansión,

mediante un espacio de trabajo que va aumentando continuamente, se efectúa una evaporación súbita del fluido de trabajo. En particular se pueden llevar a cabo conversiones continuas de fases.

5 En el sentido de una máquina ORC se pueden emplear como fluido de trabajo también mezclas de diferentes medios de trabajo, con el fin de conseguir de esta manera un modo de trabajo ideal de la máquina que esté adaptado a las condiciones establecidas.

10 Haciendo referencia a la Fig. 2, imagen parcial izquierda, en una máquina termodinámica del estado de la técnica, se emplea en el condensador de un modo correspondiente a la temperatura establecida, la presión de vapor de saturación p_S del fluido de trabajo. Si la bomba es puesta en marcha para la retirada de la fase líquida del fluido de trabajo, entonces junto a la boca de aspiración se genera una presión de aspiración de acuerdo con el valor de NPSH establecido. Por el valor de esta presión de aspiración p_{NPSH} se disminuye la presión de saturación p_S . Como consecuencia de ello resulta en la bomba una presión de entrada p_E , que es menor que la presión de vapor de saturación p_S . Por consiguiente se llega a la formación de burbujas de vapor, y por ello a la cavitación.

15 Mediante un gas auxiliar condensable (imagen parcial derecha de la Figura 2) que es añadido, resulta junto a la bomba una presión de sistema que se suma a base de la presión de vapor de saturación p_S y la presión parcial p_{part} del gas auxiliar. Después de la puesta en marcha de la bomba, esta presión de sistema se reduce de nuevo por el valor de la presión de aspiración p_{NPSH} preestablecida por el valor de NPSH. Si la presión parcial p_{part} que resulta causada por el gas auxiliar incorporado, de este gas no condensable es mayor o por lo menos igual a la presión de aspiración p_{NPSH} junto a la boca de aspiración de la bomba, entonces la presión de entrada p_E es ahora sin embargo por lo menos igual o mayor que la presión de vapor de saturación p_S . Por consiguiente, se impide una cavitación.

25 Para una diferencia deseada de presiones Δp entre la presión de sistema y la presión de vapor de saturación, que ha de ser aplicada mediante el gas auxiliar, ventajosamente la misma es por lo menos de p_{NPSH} , la cantidad necesaria de sustancia x_i del gas auxiliar se calcula según la fórmula

$$x_i = \frac{\Delta p}{\Delta p + p_s}$$

30 Para un sistema real, entonces la cantidad de sustancia x_i del gas auxiliar se dimensiona de una manera tal que, incluso en condiciones desfavorables, es decir, con unas temperaturas de condensación disminuidas y por lo tanto con unas presiones de vapor de saturación reducidas, está presente una cantidad suficiente del gas auxiliar. Asimismo hay que tener en cuenta que una parte del gas auxiliar pasa a disolverse y por consiguiente ya no está a disposición para la generación de una diferencia de presiones. También, al realizar el dimensionamiento de la cantidad aportada de sustancia del gas auxiliar, se pueden tener en cuenta diferentes fases de funcionamiento de la máquina (con carga parcial, a plena carga).

35 En una realización preferente de la máquina, de acuerdo con las descripciones precedentes, la altura de construcción puede ser reducida de manera correspondiente por el hecho que la altura real de la cabeza de la bomba para líquido se ha disminuido con respecto a una altura de cabeza necesaria que toma en consideración el valor de NPSH y eventualmente un subenfriamiento del fluido de trabajo líquido. A través de un subenfriamiento adicional del líquido del líquido, la altura de cabeza necesaria se reducirá, por causa de la presión de vapor disminuida. La posible reducción adicional de la altura de cabeza real está establecida por la presión parcial del gas auxiliar incorporado. En este caso, para el mantenimiento de ciertas reservas, también se puede mantener una pequeña altura de cabeza, a pesar de una correspondiente alimentación del gas auxiliar. Una reducción de la altura de cabeza es compensada por lo tanto mediante una cantidad correspondiente de sustancia del gas auxiliar.

40 El lugar de incorporación para el gas auxiliar puede estar previsto fundamentalmente en un lugar arbitrario del sistema de circuito de la máquina. En este caso, el lugar de incorporación puede estar estructurado para una incorporación de una sola vez o para una incorporación repetida del gas auxiliar. En una realización preferente, un lugar de incorporación para el gas auxiliar está previsto entre la máquina de expansión y la bomba para el líquido. De este modo, el gas auxiliar se encuentra a la disposición directamente en el lugar requerido en el circuito. El gas auxiliar es incorporado por el lado frío del proceso cíclico en la fase líquida. En particular, el gas auxiliar puede ser retirado fácilmente también allí, puesto que se puede acumular en el condensador. Para esto, por ejemplo, la máquina puede funcionar "en frío", con lo que el gas auxiliar fluye lentamente dentro del condensador. Para la adición del gas auxiliar se puede utilizar por ejemplo un compresor. Alternativamente se puede conectar una botella a presión. Una adición del gas auxiliar en el lado caliente del proceso de ciclo está vinculada con un gasto suplementario.

45 El gas auxiliar no condensable es un gas del tipo que no condensa bajo las condiciones establecidas o predominantes en el circuito de la máquina termodinámica. Como un tal gas auxiliar son apropiados por ejemplo gases nobles o nitrógeno. También entran en cuestión unos apropiados gases orgánicos.

El gas auxiliar no condensable se moverá en una cierta extensión con el fluido de trabajo en el circuito de la máquina termodinámica. De manera habitual, en las máquinas que trabajan según el proceso de circuito Rankine con el fluido de trabajo agua para el condensador, están previstos unos denominados intercambiadores de calor de haces de tubos. En este caso, los tubos son atravesados en su interior por un líquido refrigerante.

5 El fluido de trabajo gaseoso circula por el exterior a lo largo de los tubos, se condensa sobre la superficie de los mismos y se escurre como un condensado o como una fase líquida.

10 De manera desventajosa, sin embargo, en un condensador de este tipo, de manera dependiente de su orientación, se enriquece eventualmente el gas auxiliar no condensable. En este caso, el gas auxiliar permanece como una capa aislante alrededor de los tubos, con lo cual se reduce el grado de eficiencia del condensador. El gas auxiliar no condensable puede ser descompuesto únicamente a través de una retirada en contra de la dirección de circulación del condensado, o mediante una difusión.

15 Con el fin de evitar esta desventaja en el caso de una adición del gas auxiliar no condensable, de modo ventajoso el condensador está equipado de un sistema de arrastre del gas auxiliar en la dirección de circulación del condensado o del fluido de trabajo líquido. Un condensador de este tipo está estructurado por ejemplo como condensador de aire o a través de elementos de calor de placas. En caso de un condensador de aire, el fluido de trabajo gaseoso circula a través del interior de unos tubos en torno a los cuales puede circular por ejemplo aire, pero también otro medio de refrigeración. En este caso, el gas auxiliar es empujado en la dirección de circulación por lo menos parcialmente por un subsiguiente fluido de trabajo a través de los tubos. Asimismo ello es válido para unos condensadores que están formados mediante unos elementos intercambiadores de calor de placas. También en este caso, el fluido de trabajo gaseoso circula a través de los intersticios de los elementos intercambiadores de calor de placas, y se arrastrará una parte del gas auxiliar fuera del condensador. El efecto no deseado, establecido para un intercambiador de calor de haces de tubos, de la formación de una capa aislante se disminuye de esta manera.

20 De un modo más preferido, en el recipiente de almacenamiento está dispuesto un sensor para la determinación de la concentración del gas auxiliar. A través de un sensor de este tipo que estará dispuesto en el espacio del gas, por encima del líquido acumulado del fluido de trabajo, se puede medir por ejemplo la cantidad de sustancia del gas auxiliar que se encuentra en el sistema del circuito, y al quedar por debajo o por encima de un valor de límite predeterminado, se puede emitir una señal de aviso. De acuerdo con la señal de aviso, entonces se puede aportar o retirar una determinada cantidad de sustancia del gas auxiliar.

30 Tal como antes se ha descrito, la máquina termodinámica indicada está particularmente apropiada para una instalación móvil en un vehículo automóvil, estando acoplado el intercambiador de calor de modo termodinámico a una fuente de calor perdido del vehículo. Una fuente de calor perdido de este tipo puede ser constituida por ejemplo por el medio refrigerante, otro medio de funcionamiento como por ejemplo aceite, el mismo bloque de motor, o el gas de escape.

35 La máquina de expansión acoplada con un generador correspondiente para generar corriente está realizada de modo preferente como una máquina de desplazamiento. Una semejante máquina de desplazamiento es por ejemplo una máquina de expansión helicoidal o de émbolo, o una máquina de expansión de voluta. Asimismo se puede emplear una máquina de aletas celulares.

40 El problema establecido por la misión orientada a un procedimiento se resuelve de acuerdo con la invención mediante la combinación de características según la reivindicación 9. De acuerdo con ello, para un procedimiento destinado al funcionamiento de una máquina termodinámica está previsto que al fluido de trabajo líquido se le imponga en una cabeza de la bomba mediante la adición de un gas auxiliar no condensable, una presión parcial que aumenta la presión del sistema.

45 Unas realizaciones preferentes adicionales pueden ser deducidas de las reivindicaciones dependientes orientadas a un procedimiento. En este caso, las ventajas mencionadas para la máquina pueden ser transferidas de modo correspondiente en el sentido oportuno.

50 Unos ejemplos de realización de la invención se describen en detalle a través de un dibujo. En el dibujo: Fig. 1 muestra de modo esquemático una máquina ORC con una presión parcial, impuesta en una cabeza de bomba, de un gas auxiliar y Fig. 2 muestra una representación esquemática de diferentes condiciones de presión.

55 En la Fig. 1 se representa esquemáticamente una máquina ORC 1 que es apropiada en particular como instalación móvil para el aprovechamiento del calor perdido de motores de combustión interna. La máquina ORC 1 comprende en este caso en un sistema de circuito de circulación 2 como un transmisor de calor 3 un evaporador, una máquina de expansión 5, un condensador 6 así como una bomba para líquidos 8. La máquina ORC 1 representada funciona según el proceso de circuito Rankine, ejecutándose en la máquina de expansión 5 el trabajo para la propulsión de un generador 9. El generador 9 está configurado en particular para una alimentación de la corriente eléctrica obtenida en la red de bordo propia al vehículo o respectivamente está conectado a la misma. Como fluido de trabajo 10 se

utiliza un hidrocarburo que presenta una presión de vapor claramente más elevada con respecto al agua. El fluido de trabajo 10 se encuentra en un circuito cerrado.

5 El fluido de trabajo líquido 10, transportado a través de la bomba 8 para líquido, es evaporado en el evaporador 3 a una presión elevada. En la máquina de expansión que está realizada como una máquina de desplazamiento, el fluido de trabajo gaseoso 10 se expande mediante la ejecución del trabajo. El fluido de trabajo gaseoso 10 es condensado en el condensador 6 a una baja presión. La presión de vapor de saturación que se produce en el condensador 6 es de aproximadamente 1,2 bares. El condensado o respectivamente el fluido de trabajo líquido 10 es recogido en un recipiente de almacenamiento previo 11 antes de ser transportado a través de la bomba 8 otra vez para la evaporación.

10 Para la refrigeración del condensador 6 está previsto un sistema de evacuación del calor perdido 14. Ello puede ser, por ejemplo, el aire circundante de un vehículo automóvil, siendo aportado el calor de condensación del fluido de trabajo al aire circundante, por ejemplo para el calentamiento del espacio interior para los pasajeros. El condensador 6 está realizado como condensador de aire, en el que el fluido de trabajo 10 a ser refrigerado circula en el interior de unos tubos en torno a los cuales circula una corriente.

15 Para la evaporación del fluido de trabajo 10 transportado por la bomba 8 se aporta calor al evaporador 3 a través de un sistema de aportación de calor perdido 16. Para ello se aporta al evaporador 3, a través de un sistema apropiado de intercambio de calor, un calor procedente del gas de escape del motor del vehículo. Alternativamente se puede alimentar calor que procede del circuito de refrigeración del motor de combustión. Asimismo, el calor perdido del motor de combustión y del gas de escape generado puede ser alimentado globalmente al evaporador 3 a través de un tercer medio correspondiente.

20 Entre la máquina de expansión 5 y la bomba para líquido 8, en el condensador 6 está provisto un lugar de incorporación 18 para incorporar un gas auxiliar 20 no condensable en el circuito de la máquina ORC 1. A través de una válvula correspondiente, una o varias veces una cantidad específica de sustancia xi del gas auxiliar 20 puede ser incorporada en el circuito de la máquina ORC. La cantidad de sustancia xi, en este caso, es dimensionada de tal manera que, en la cabeza de la bomba 8, la presión parcial del gas auxiliar 20 y la presión de vapor de saturación del fluido de trabajo 10 (que resulta de la condensación en el condensador 6) se sumen para formar una presión de sistema de tal modo que, después de la puesta en marcha de la bomba, ya no se queda por debajo de la presión de vapor de saturación del fluido de trabajo. De esta manera se evita también quedarse por debajo de la presión de vapor de saturación en lugares de derivación del fluido de trabajo circulante en fase líquida. En particular, la cantidad de sustancia xi está dimensionada de tal modo que la resultante presión parcial del gas auxiliar es mayor que la presión de aspiración que corresponde al valor de NPSH de la bomba. Por consiguiente, en la cabeza y en particular en la boca de aspiración de la bomba para líquido 8 se evita la cavitación. Puesto que, durante el funcionamiento, no se queda por debajo de la presión de vapor de saturación del fluido de trabajo 10, allí no se forman burbujas de vapor.

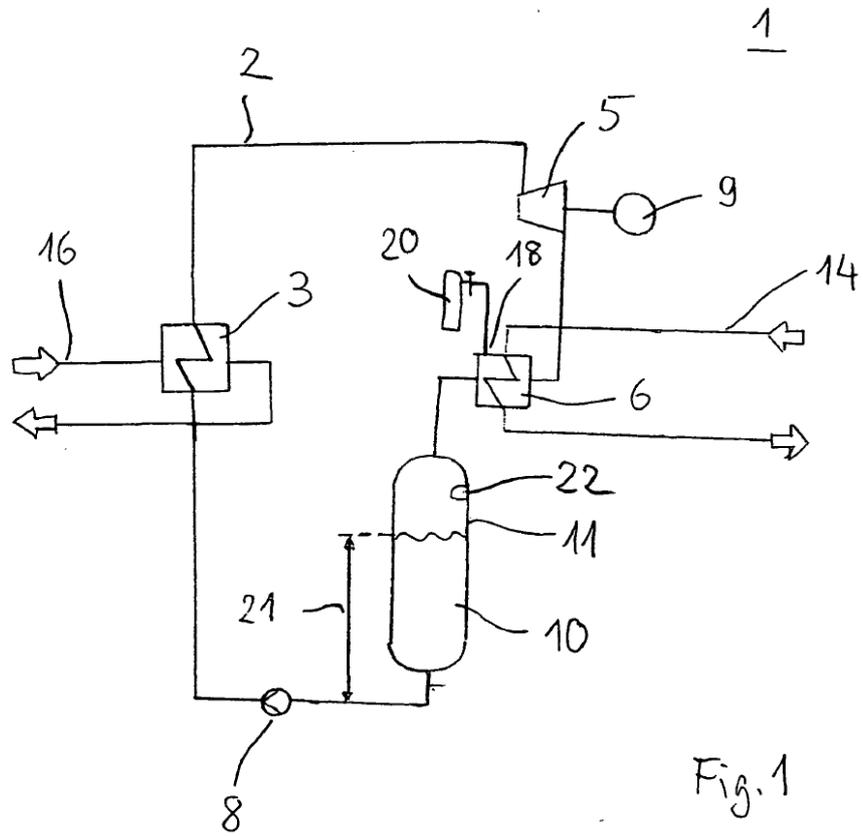
35 La altura de la cabeza 21 (indicada aquí de modo esquemático) está disminuida claramente, comparada con el valor de NPSH de la bomba para líquido 8, para quedarse a solamente pocas decenas de centímetros. En el recipiente de almacenamiento previo 11 está dispuesto un sensor 22 para la medición de la concentración del gas auxiliar 20.

40 Lista de referencias

- 45 1 Máquina ORC
2 Sistema de circuito de circulación
3 Intercambiador de calor
5 Máquina de expansión
50 6 Condensador
8 Bomba para líquido
9 Generador
10 Fluido de trabajo
11 Recipiente de almacenamiento
55 14 Evacuación de calor perdido
16 Aportación de calor perdido
18 Lugar de incorporación
20 Gas auxiliar
21 Altura de cabeza
60 22 Sensor

REIVINDICACIONES

- 5 1. Máquina termodinámica (1) que comprende un sistema de circuito (2) en el que circula un fluido de trabajo (10) que particularmente hierve a baja temperatura, de modo alternante en una fase gaseosa y una fase líquida, con un intercambiador de calor (3), con una máquina de expansión (5), con un condensador (6) y con una bomba para líquido (8), caracterizada porque una presión parcial que aumenta la presión del sistema se impone al fluido de trabajo líquido (10) en la cabeza de la bomba de líquido (8), a través de la adición de un gas auxiliar (20) no condensable.
- 10 2. Máquina termodinámica (1) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada porque la presión parcial que resulta de la adición del gas auxiliar (20) es suficientemente grande para que en la cabeza, durante el funcionamiento de la bomba de líquido (8), no descienda por debajo de la presión de vapor de saturación.
- 15 3. Máquina termodinámica (1) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizada porque la altura efectiva de la cabeza (21) de la bomba para líquido (8) está reducida con respecto a una altura necesaria de la cabeza, que tiene en consideración el valor de NPSH y eventualmente un subenfriamiento del fluido de trabajo líquido (10).
- 20 4. Máquina termodinámica (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque el lugar de incorporación (18) para el gas auxiliar (20) está previsto entre la máquina de expansión (5) y la bomba para líquido (8).
- 25 5. Máquina termodinámica (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque el condensador (6) está realizado para llevar el gas auxiliar (20) en la dirección de circulación del fluido de trabajo (10), en particular bajo forma de condensador de aire o mediante elementos intercambiadores de calor de placas.
- 30 6. Máquina termodinámica (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la máquina de expansión (5) es una máquina de desplazamiento.
- 35 7. Máquina termodinámica (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque un sensor (22) está dispuesto en un recipiente de almacenamiento (11) del fluido de trabajo líquido (10), para detectar la concentración del gas auxiliar.
- 40 8. Uso de una máquina termodinámica (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, como instalación móvil para un vehículo automóvil, estando acoplado el intercambiador de calor (3) de manera térmica con una fuente de calor perdido (16) del vehículo automóvil.
- 45 9. Procedimiento para hacer funcionar una máquina termodinámica (1), en donde circula en un sistema de circuito (2) un fluido de trabajo (10) que particularmente hierve a baja temperatura, de modo alternante en una fase gaseosa y una fase líquida, y en donde el fluido de trabajo (10) es calentado, expandido, condensado y transportado a través de un bombeo del líquido, caracterizado porque una presión parcial que aumenta la presión del sistema se impone al fluido de trabajo líquido (10) en una cabeza de la bomba, mediante la adición de un gas auxiliar (20) no condensable.
- 50 10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado porque el gas auxiliar (20) es introducido en tal cantidad que la presión parcial que resulta es lo suficientemente grande como para no descender por debajo de la presión de vapor de saturación durante el transporte del fluido de trabajo líquido (10) en la cabeza de la bomba.
- 55 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, caracterizado porque el gas auxiliar (20) es añadido al fluido de trabajo gaseoso expandido (10).
12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizado porque el gas auxiliar (20) es transportado hacia delante esencialmente en la dirección del flujo, durante la condensación del flujo de trabajo (10).
13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 12, caracterizado porque el fluido de trabajo (10) es expandido en una máquina de desplazamiento.
14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 13, caracterizado porque para calentar y/o evaporar el fluido de trabajo (10) se aprovecha (16) el calor perdido de un vehículo automóvil.



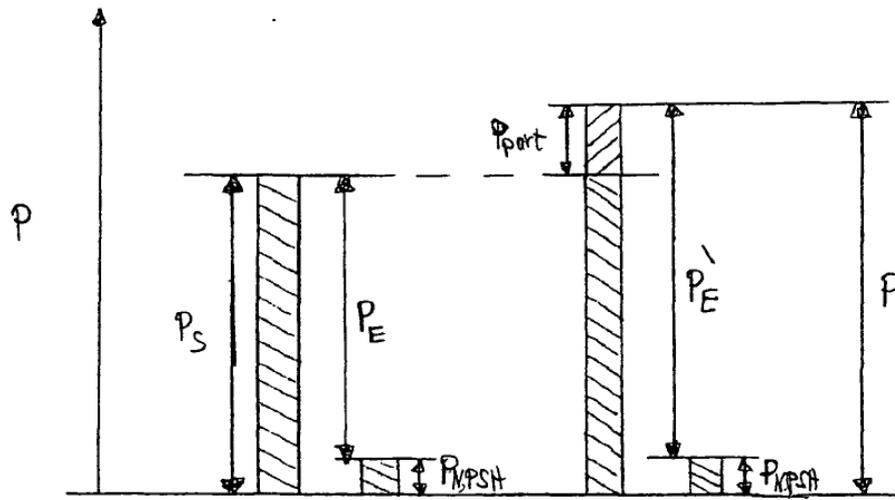


Fig. 2