


OBJETIVO

Registro e avaliação do diagrama de pressão-entalpia de uma bomba térmica de compressão

TAREFAS

- Demonstração do funcionamento de uma bomba térmica de compressão elétrica.
- Análise quantitativa do processo cíclico pertinente.
- Registro e avaliação do diagrama de pressão-entalpia.

RESUMO

Uma bomba térmica de compressão elétrica é constituída de um compressor com motor de acionamento, um condensador, uma válvula de expansão e um vaporizador. Sua forma de funcionamento baseia em processo de ciclo com transição de fase que é percorrido pela substância de trabalho na bomba e que pode ser dividido, de forma idealizada, nos quatro passos compressão, condensação, distensão restrita e evaporação. O número teórico de potência do processo cíclico idealizado pode ser calculado a partir das entalpias específicas h_1 , h_2 e h_3 lidas em um diagrama de Mollier. Se as entalpias h_2 e h_3 do processo cíclico idealizado, assim como a quantidade de calor ΔQ_2 adicionada ao reservatório de água por intervalo de tempo Δt , forem determinadas, é possível estimar o fluxo de massa da substância de trabalho.

APARELHOS NECESSÁRIOS

Número	Instrumentos	Artigo Nº
1	Bomba de calor D (230 V, 50/60 Hz)	U8440600-230 ou
	Bomba de calor D (115 V, 50/60 Hz)	U8440600-115
2	Sensor de temperatura Pt100 com pregador de medição	U11329
1	3B NETlog™ (230 V, 50/60 Hz)	U11300-230 ou
	3B NETlog™ (115 V, 50/60 Hz)	U11300-115
Adicionalmente recomendado:		
1	3B NETlab™	U11310

FUNDAMENTOS GERAIS

Uma bomba térmica de compressão elétrica é constituída de um compressor com motor de acionamento, um condensador, uma válvula de expansão e um vaporizador. Sua forma de funcionamento baseia em processo de ciclo com transição de fase que é percorrido pela substância de trabalho na bomba e que pode ser dividido, de forma idealizada, nos quatro passos compressão, condensação, distensão restrita e evaporação.

2

Para a compressão, a substância de trabalho em estado gasoso é sugada pelo compressor, comprimida, sem alteração de entropia ($s_1 = s_2$), de p_1 para p_2 e sobreaquecida neste processo, vide Fig. 1 e Fig. 2. A temperatura, portanto, aumenta de T_1 para T_2 . Por unidade de massa, é realizado o trabalho mecânico de vedação $\Delta w = h_2 - h_1$. No condensador, a substância de trabalho resfria fortemente e condensa. O calor liberado (calor de sobreaquecimento e de condensação) é, por unidade de massa, $\Delta q_2 = h_2 - h_3$. Ele aquece o reservatório ao redor. A substância de trabalho condensada chega à válvula de expansão, para ali ser distendida de forma restrita (ou seja, sem trabalho mecânico) para uma pressão menor. Nisto, a temperatura também diminui, pois precisa ser realizado trabalho contra as forças de atração moleculares na substância de trabalho (efeito Joule-Thomson). A entalpia permanece constante ($h_4 = h_3$). No vaporizador, a substância de trabalho evapora completamente mediante absorção de calor. Isto leva ao esfriamento do reservatório ao redor. Por unidade de massa, o calor absorvido é $\Delta q_1 = h_1 - h_4$.

Para a representação do processo cíclico de uma bomba térmica de compressão, utiliza-se frequentemente o diagrama de Mollier da substância de trabalho. Nele a pressão p é aplicada contra a entalpia específica h da substância de trabalho (a entalpia é uma medida para o conteúdo de calor da substância de trabalho, ela geralmente aumenta com o aumento da pressão e com parte gasosa crescente).

Além disso, são dados os isoterms ($T = \text{const.}$) e isoentrópicos ($S = \text{const.}$), assim como a parte relativa da massa da fase líquida da substância de trabalho. À esquerda da chamada linha de ebulição, a substância de trabalho está completamente condensada. À direita da chamada linha de descongelamento, a substância de trabalho existe como vapor sobreaquecido e, entre as duas linhas, como mistura de líquido e gás. Ambas as linhas se tocam no ponto crítico.

Para a representação no diagrama de Mollier, pode-se determinar o processo cíclico idealizado descrito acima pela medição das pressões p_1 e p_2 depois e antes da válvula de distensão e da temperatura T_1 antes do compressor e T_3 antes da válvula de expansão.

Na experiência, os componentes são conectados com tubulação de cobre para formar um sistema fechado e montados sobre uma placa de base. Eles podem, graças à disposição visível, ser colocados em conexão imediatamente com a sequência das alterações de estado no processo cíclico da bomba térmica. Vaporizador e condensador são ilustrados como serpentinas de cobre e são imersas cada qual em um recipiente com água, que serve como reservatório para determinação do calor absorvido ou irradiado. Dois manômetros grandes mostram as condições de pressão da substância de resfriamento em ambos os trocadores de calor. Dois termômetros analógicos permitem a medição da temperatura em ambos os recipientes com água. Para a medição das temperaturas nos tubos de cobre antes do compressor e antes da válvula de expansão, são inseridos sensores de temperatura com grampo de medição acoplado.

O número teórico de potência do processo cíclico idealizado pode ser calculado a partir das entalpias específicas h_1 , h_2 e h_3 lidas no diagrama de Mollier:

$$(1) \quad \eta_{th} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Se as entalpias h_2 e h_3 do processo cíclico idealizado, assim como a quantidade de calor ΔQ_2 adicionada ao reservatório de água por intervalo de tempo Δt , forem determinadas, é possível estimar o fluxo de massa da substância de trabalho.

$$(2) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

ANÁLISE

T_1 e p_1 determinam o ponto 1 no diagrama de Mollier. O ponto de interseção dos isoentrópicos pertinentes com a p_2 horizontal = const. resulta no ponto 2. O ponto de interseção da horizontal com a linha de ebulição leva ao ponto 3 e a perpendicular à p_4 horizontal = const., ao ponto 4.

A medição adicional da temperatura T_3 resulta em uma visão ampliada dos processos que se dão na bomba térmica: A T_3 não corresponde à temperatura lida na escala de temperatura do manômetro pertinente. Esta escala de temperatura se baseia na curva de pressão do vapor da substância de trabalho. Assim, a medição mostra que a substância de trabalho antes da válvula de distensão não é uma mistura de líquido e gás, mas é totalmente líquida.

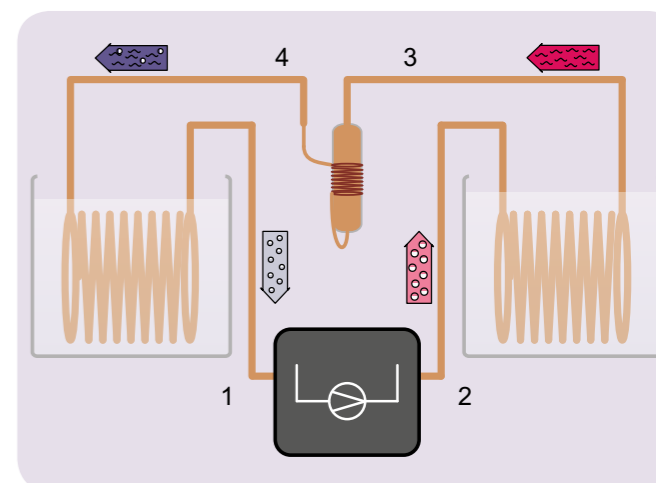


Fig. 1: Representação esquemática da bomba térmica com compressor (1, 2), condensador (2, 3), válvula de distensão (3, 4) e vaporizador (4, 1)

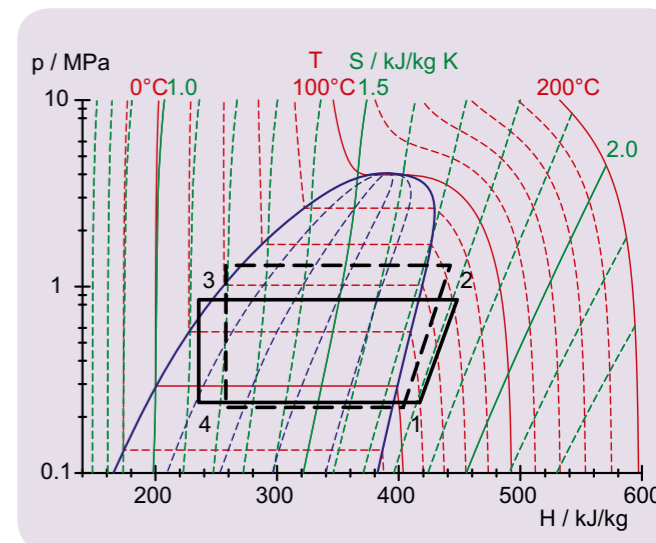


Fig. 2: Representação do processo cíclico idealizado da bomba térmica no diagrama de Mollier