

Tecnología de Vacío: Criobombas, Bombas de Absorción, Criopaneles

Una criobomba es una bomba tipo captura que trabaja por condensación y/o atrapando gases en superficies progresivamente frías. La figura muestra un esquema de la bomba criogénica. Las superficies más frías son enfriadas por helio líquido a una temperatura de 10–20 K (-263 a -253°C) que condensa gases como N₂, O₂ y NO. Los gases que no se condensan a estas temperaturas son atrapados por crioadsorción en paneles de carbón vegetal (área de absorción de 500 a 1500 m²/gram) adheridos a los elementos fríos. Otras superficies que están cerca de la temperatura de nitrógeno líquido (77 K o -196°C) las cuales pueden condensar y enfriar vapores, como agua y CO₂, a una temperatura a la cual la presión de vapor es insignificante. Las bombas criogénicas pueden trabajar en cualquier posición. El compresor/refrigerador de helio de la bomba puede ser dimensionado para manejar varias bombas.

El mejor rango de vacío para la bomba criogénica es desde 10⁻³ a 10⁻⁸ Torr, y la válvula de vacío alto a la criobomba fría no debe

abrirse a presiones de cámara que excedan 10⁻² Torr. La velocidad de bombeo varía según los gases y vapores. Por ejemplo la velocidad de bombeo para el vapor de agua puede ser 4200 l/seg, para el argón 1400 l/seg, para el hidrógeno 2300 l/seg y para el nitrógeno 1500 l/seg. La velocidad de bombeo es proporcional a la superficie y a la cantidad de gases bombeados previamente por estas superficies. La criobomba tiene una capacidad específica para ciertos gases. Las bombas son clasificadas según su capacidad de almacenar gas a una cierta presión. Por ejemplo, una bomba de 20" a 10⁻⁶ Torr puede tener una capacidad de 10000 litros estándar (760 Torr y 0°C) de argón, 27500 litros estándar de vapor de agua y 300 litros de hidrógeno. La capacidad para los gases condensables es mayor que para los gases que son atrapados (crioadsorbidos) siendo la capacidad de hidrógeno el límite. Cuando la capacidad para un gas está siendo copada, la bomba debe ser regenerada (descongelada) buscando alcanzar un máximo desempeño.

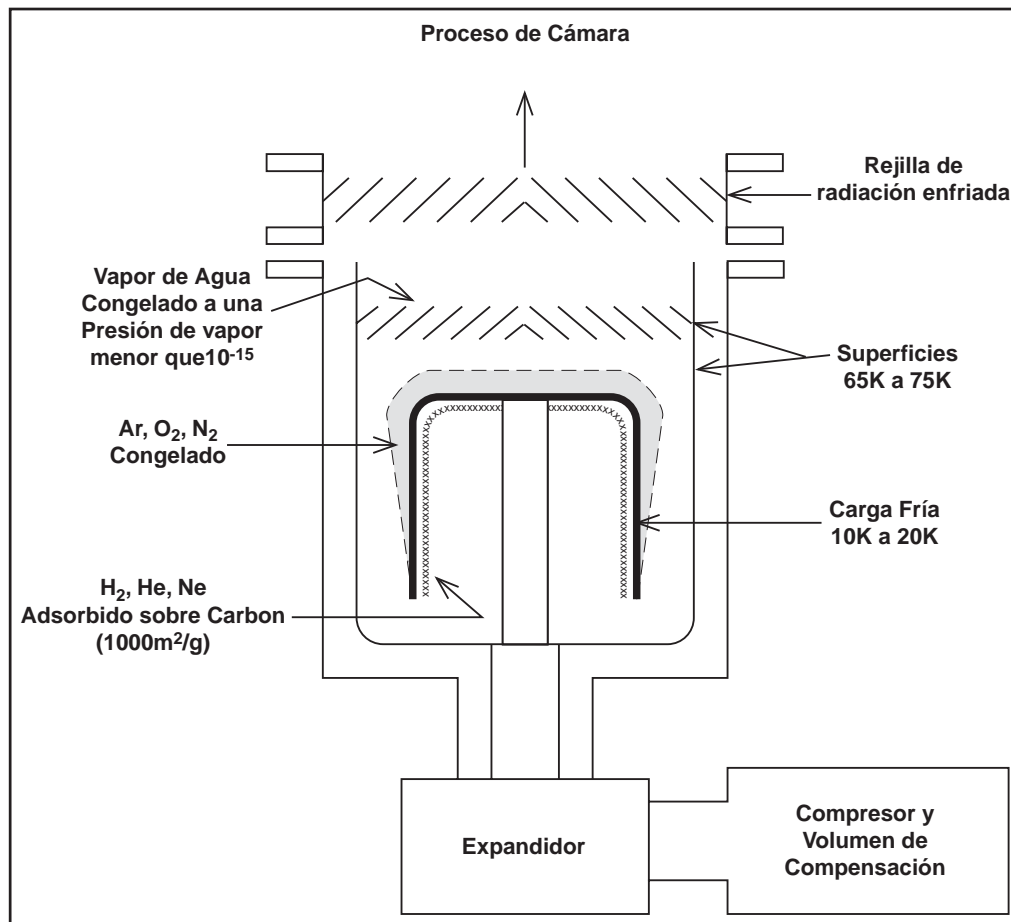


Figura 1: Criobomba con rejilla de radiación.

La regeneración de toda la bomba puede ser lograda permitiendo su calentamiento hasta la temperatura ambiente, purgándola con un gas seco o calentando selectivamente por medios eléctricos las superficies frías. Un ciclo de regeneración típico de una criobomba usada en un sistema de plateado iónico por espurreo plateado iónico, puede hacerse una vez a la semana y requiriendo de varias horas. Recientemente se introdujo una bomba que puede regenerar selectivamente las superficies de 10–20 K y por lo tanto reduce el tiempo de regeneración a menos de 1 hora.

Si la criobomba ha bombeado una cantidad apreciable de gas o vapor y falla la corriente eléctrica (la válvula de vacío alto se cierra), la bomba empieza a calentarse y a despedir los gases bombeados. Si la criobomba empieza a funcionar de nuevo en esta condición los gases serán rebombados sobre superficies inapropiadas (es decir, vapor sobre carbón vegetal). Si la corriente eléctrica ha fallado será mejor continuar con el ciclo de regeneración completo. Esto se puede evitar algunas veces con el monitoreo de la presión de la criobomba.* Si la presión no excede más de aproximadamente 10^{-2} Torr, la bomba se puede echar a andar otra vez sin regeneración.

El peor enemigo de las bombas criogénicas son los vapores, tales como el aceite, puesto que tapan los poros de los materiales crioabsorbentes y no permiten la desadsorción durante el ciclo de regeneración. Estas bombas nunca deberían usarse para el bombeo de gases explosivos, corrosivos o tóxicos ya que estos son retenidos y almacenados en el sistema. Recientemente se ha introducido una bomba híbrida que combina una etapa de bombeo criogénico, la cual bombea el vapor de agua eficientemente, con una turbobomba, la cual bombea pobremente el vapor de agua.

En sistemas donde los requisitos de no-contaminación son altos se recomienda el uso de la criobomba, por ejemplo en los sistemas de deposición de películas delgadas. El diseño interno de la bomba determina el tiempo de enfriamiento, sensibilidad a los pulsos de gas, y la habilidad para poder usar la bomba en procesos con altas temperaturas. En aplicaciones de proceso, se debe tener cuidado que los elementos de la bomba no sean calentados por radiación o por los gases de la cámara de proceso. Por ejemplo, en evaporación térmica, las criobombas pueden dar una presión de estallido cuando se ha comenzado la evaporación porque la bomba no está adecuadamente protegida de la radiación de la fuente térmica de vaporización.

Bombas de adsorción son bombas de tipo captura en las cuales los gases y vapores son absorbidos por superficies de carbón vegetal activado, o zeolita en un contenedor que es enfriado directamente, generalmente esta sumergido en nitrógeno líquido. La adsorción de los gases no solo depende de la temperatura y el tamaño de poro del medio absorbente, también depende de la presión del gas y la cantidad de gases hasta el momento absorbidos. La bomba trabaja mejor para el bombeo de nitrógeno, dióxido de carbono, vapor de agua y vapores orgánicos. Presiones últimas de

10^{-3} son fácilmente alcanzables cuando se bombea aire con bombas de adsorción pero el helio residual puede interferir con la detección de fugas de helio. Estas bombas son frecuentemente usadas en sistemas donde la contaminación potencial proviene de las bombas mecánicas. Después de absorber el gas, las bombas deben ser regeneradas llevándolas a la temperatura ambiente si el medio absorbente es carbón vegetal y a 200°C si es zeolita.

La zeolita es mineral aluminosilicato alcalino que tiene una estructura porosa y un área superficial de alrededor de $1000\text{ m}^2/\text{g}$. Los materiales de zeolita son llamados también tamices moleculares debido a que su modo de selección se hace de acuerdo al tamaño de los poros. El material puede ser preparado con varios tamaños de poro (3Å, 5Å, 13Å, etc.), la mayoría de las bombas trabajan con el material 13Å. Los poros más pequeños se pueden usar para la selección de gases con moléculas más pequeñas. Un gramo de nitrógeno líquido enfriado de zeolita de 13Å absorbe alrededor de 100 mTorr-litros de gas. Los materiales de zeolita también son usados como trampas en las líneas de escape, frías o a temperatura ambiente, para atrapar vapores.

Las bombas criogénicas y las de adsorción son muy útiles donde se requieran sistemas de bombeo muy limpios. Si lo que se desea es el bombeo de vapor de agua o de vapores orgánicos entonces un panel frío de gran área (criopanel) enfriado por refrigerantes a -150°C puede ser una mejor opción. A esta temperatura la presión del vapor es menor de 10^{-12} Torr. Dentro de la cámara la conductancia hacia el panel para el vapor de agua puede ser bastante alta. A medida que el hielo crece sobre el panel, la tasa de transporte térmico decrece y el panel se debe descongelar.

* Nota: PREOCUPACIÓN DE SEGURIDAD—Los calibradores de vacío en la criobomba “no deben encenderse” para evitar que se enciendan las mezclas de gas inflamable tales como el solvente o hidrógeno y oxígeno. Ejemplos de calibradores que no se encienden son los calibradores de capacitancia manométrica y calibradores con rodetes.

Referencia:

Capture Pumping Technology: An Introduction, K.M. Welch, Pergamon Press, 1991

La edición 2002 de Guías Educativas de Tecnología de Deposición al Vacío contiene más de 100 guías independientes, de dos páginas, respecto a distintos aspectos de equipos y tecnología asociada con el revestimiento al vapor. Ud. puede mandar a pedir el juego completo de Guías de la Society of Vacuum Coaters por \$50 (más el costo de embarque y manejo del embarque por correo aéreo a lugares fuera de los Estados Unidos). Favor de comunicar con SVC a svcinfo@svc.org o llame al 505-856-7188.