

## Tecnología de Vacío: Bombas de Difusión de Aceite

La bomba de difusión de aceite (también llamada “diff pump” o “DP”) es probablemente la bomba de vacío mas ampliamente usada. Es muy confiable y de larga vida aunque cuando es maltratada puede crear un gran problema de contaminación en la cámara de proceso. La figura muestra la sección transversal de una bomba de difusión típica. El aceite de bombeo en el sumidero de aceite es calentado hasta tener una presión de vapor apreciable y vapor de aceite peso molecular grande es dirigido hacia la línea de salida por medio de los elementos de chorro de vapor de la bomba de difusión. Los chorros de vapor arrastran las moléculas de gas y las dirigen hacia la línea de salida donde son bombeadas por la(s) bomba(s) de respaldo. Los vapores de aceite son condensados en las paredes refrigeradas de la bomba y regresan al sumidero de aceite. La bomba de difusión es la más efectiva en el rango de presión de  $10^{-3}$  a  $10^{-9}$  Torr y la bomba de difusión tiene las más altas velocidades para los gases livianos.

Los parámetros de operación importantes para la bomba de difusión que deben ser continuamente monitoreados y verificados son:

- Presión de entrada de los gases (es decir la presión de la cámara)
- Presión de la línea de salida cerca de la salida de la bomba
- Tipo y pureza del aceite de la bomba de difusión
- Temperatura del sumidero de aceite, la cual depende del tipo de aceite (es decir la potencia del calentador del sumidero)

- Nivel de aceite del sumidero – nivel especificado +/- 30 %
- La temperatura de carcasa de la bomba y el gradiente de temperatura el cual es determinado por la tasa de flujo del agua refrigerante y las temperaturas de entrada y salida del agua.

La carcasa de la bomba es generalmente enfriada con agua y el gradiente de temperatura de la carcasa es importante. Particularmente en la parte superior de la carcasa la temperatura debe ser baja para minimizar la re-evaporación y percolación del aceite. La temperatura del arreglo de salida debería ser baja para prevenir perdidas del fluido de la bomba hacia la bomba de respaldo. El sistema puede ser asegurado y alertado si la temperatura de la carcasa sube por encima de un valor determinado, la válvula de alto vacío automáticamente se cierra para prevenir la contaminación de la cámara de proceso por aceite. Un bajo nivel de aceite o una temperatura baja del aceite llevará a la degradación del desempeño de la bomba mientras se bombea.

Los aceites de las bombas de difusión pueden ser aceites de hidrocarburos, aceites de silicio o los poliéteres perfluorizados (PFPE) los cuales son muy caros. Los aceites de silicio son los aceites de bombas más utilizados en el proceso de PVD y son totalmente estables frente a la oxidación. Los económicos aceites de hidrocarburo se oxidan fácilmente y forman recubrimientos tipo barniz en la bomba, llevando a problemas de mantenimiento. Los fluidos PFPE son extremadamente resistentes a la oxidación y a

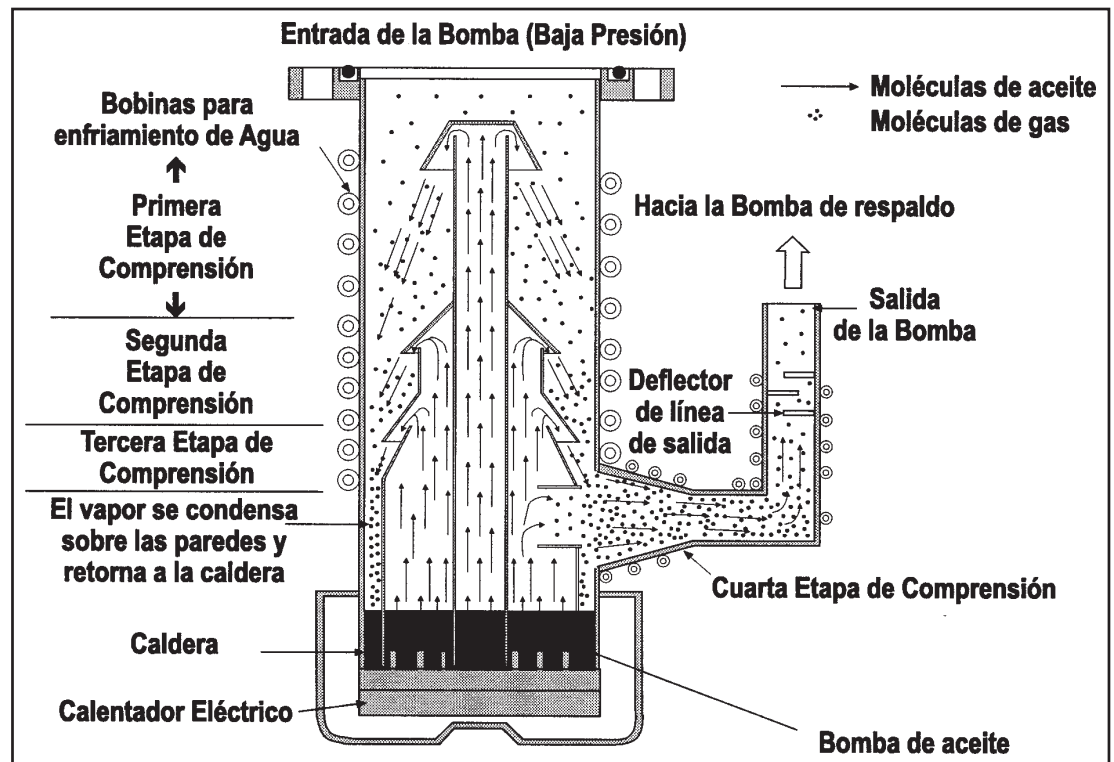


Figura 1: Sección Transversal de una bomba de difusión de aceite. Adoptada de High-Vacuum Technology—A Practical Guide, M. Hablanian, con permiso.

muchos ácidos y bases fuertes. Estos son usados en procesos de deposición reactivos, procesos de remoción por plasma y procesos de deposición del vapor químico a baja presión. El mercurio también puede ser usado como fluido de bomba pero es usado solo para aplicaciones especiales debido a problemas que causa a la salud.

Se recomienda tener cuidado con la difusión del aceite de la bomba no se contamine con los aceites de hidrocarburos utilizados en las bombas de respaldo para el sellado y la lubricación. La contaminación puede ocurrir por contracorriente desde la bomba de respaldo cuando el flujo de gas a través de la línea de salida es muy poco (condiciones de flujo molecular) o cuando se le permite a la línea de salida llegar a la presión atmosférica a través de las bombas de respaldo. Este problema puede ser prevenido con el uso de válvulas de compensación u orificios que den un flujo continuo (o emergencia cuando hay un fallo de potencia) de gas desde el ambiente hacia la línea de salida. Los aceites de bombas de difusión pueden ser usados en bombas mecánicas selladas al aceite pero su lubricidad es baja y crea un incremento en los problemas de mantenimiento.

Las bombas para la difusión de aceites pueden bombear todas las moléculas de gas y vapor, sin embargo cuando están bombeando vapores que se pueden disolver en el aceite de la bomba, la aceleración del bombeo se puede reducir. Cuando se bombean esos vapores, se puede utilizar, con ventaja, un “criopanel” entre la bomba y la cámara del proceso.

Hay un flujo de masa crítico a través de la bomba de difusión por encima del cual los chorros de vapor no se comportarán satisfactoriamente. Un parámetro operacional importante es la presión de cruce (“crossover pressure”) la cual es la presión de la cámara cuando la válvula de pre-vacío y la válvula de alto vacío esta abierta sin incrementar el flujo másico en la bomba de difusión sobre su valor crítico por más de unos pocos segundos. Si las válvulas son operadas a más altas presiones habrá un flujo de aceite de bomba en contracorriente hacia la cámara de proceso debido al colapso de los chorros de vapor. La presión de cruce para un sistema de bombeo por difusión varía con el diseño de la bomba de difusión y el tamaño del sistema de respaldo. Se recomienda que la válvula de alto vacío sea abierta lentamente para minimizar la oscilación de la presión en la bomba de difusión.

Si la presión de la cámara es muy baja antes de cerrar la válvula de pre-vacío y la apertura de la válvula de alto vacío, el flujo en contracorriente se puede presentar desde la línea de pre-vacío. Por lo tanto se recomienda que la presión de cruce sea lo más alta posible. Si el flujo contracorriente a través de la línea de pre-vacío es un problema, una trampa en línea debería ser incluida en la línea de pre-vacío. Esta “trampa de pre-vacío” necesitará un mantenimiento periódico.

Los fabricantes de bombas de difusión especifican la presión permitida en la línea de salida determinada por mediciones del flujo contracorriente. Se recomienda que la presión de la línea de salida sea continuamente monitoreada cerca de la salida de la bomba de difusión y que no se permita la elevación por encima de la presión crítica por mas de unos pocos segundos. Si hay un fallo de potencia, la válvula de la línea de salida debería automáticamente cerrarse para prevenir que la presión en la línea de salida se eleve por encima de la presión crítica. Se recomienda diseñar un sistema de seguridad para que la válvula de la línea de salida no se pueda reabrir hasta cuando la presión este por debajo de la presión crítica.

Con el objeto de reducir el contraflujo entre la bomba de difusión y la cámara de proceso se pueden usar desviadores (Baffles) y trampas. Un desviado es un componente de plomería que se compone de superficies enfriadas por agua helada, el cual previene

que haya un camino directo entre la bomba y la cámara y condensa los vapores de aceite y les permite regresar a la bomba. La trampa se coloca sobre el desviado y se enfría a una temperatura mucho más baja que la del desviado con nitrógeno líquido (-196°C) o un refrigerante (-150°C). La trampa también condensa el vapor de agua y los hidrocarburos de la cámara de proceso (tal como una trampa Meissner) y estos vapores serán soltados cuando la trampa se caliente. Se recomienda que las trampas y los desviados sean enfriados antes que la bomba de difusión se caliente y antes que la válvula de alto vacío se abra. El uso de desviados y trampas disminuye el contraflujo hacia la cámara pero también disminuye la velocidad de bombeo de la bomba de difusión.

En el caso de una falla de poder la válvula de alto vacío debería automáticamente cerrarse y permanecer cerrada hasta que la trampa y el desviado estén fríos, la bomba de difusión se recaliente, la presión de la cámara decrezca a la presión de cruce y la presión de la línea de salida este por debajo de la presión crítica.

Las bombas de difusión son fabricadas en varios tamaños desde tan pequeñas de 2 pulgadas de diámetro de entrada hasta tan grandes como de 48 pulgadas. La velocidades de bombeo son cercanas a 6 litros/seg por cm<sup>2</sup> de área de entrada. En operación la bomba de respaldo puede ser usada como la bomba de prevacío cuando la válvula de la línea de salida este cerrada, si solo unos pocos minutos son necesarios para hacer el prevacío en la cámara. Si se necesita más tiempo para alcanzar el pre-vacío, una “bomba de espera” (holding pump) se debe usar para bombear continuamente el puerto de la línea de salida de la bomba de difusión mientras que la válvula de la línea de salida este cerrada.

El mantenimiento periódico de la bomba de difusión de aceite engloba:

- cambiar el aceite periódicamente
- remover y limpiar los elementos internos del chorro de vapor periódicamente
- revisar la temperatura del aceite en la caldera periódicamente
- revisar la temperatura de la cámara de la bomba

La sensibilidad del proceso a la contaminación y el potencial para contaminar la cámara de proceso y fijadores con aceite de bomba son consideraciones que determinan que tipo de bomba de alto vacío se debe usar para el proceso PVD. Si la contaminación es el principal problema se puede usar una criobomba o una bomba turbomolecular en vez de una de difusión. El potencial de contaminación de estas bombas es mucho más bajo que el de la de difusión aunque sus costos son significativamente mayores.

---

#### Referencias:

M. Hablanian and K. Caldwell, “The overload conditions in high vacuum pumps,” Proceedings of the 34<sup>th</sup> Annual Technical Conference of the Society of Vacuum Coaters, p. 253, SVC Publications, 1991

Modern Vacuum Practice, Nigel Harris, Chapter 7, McGraw-Hill 1989.

High-Vacuum Technology—A Practical Guide, Marsbed Hablanian, Chapter 6, Marcel Dekker 1990.

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](mailto:svcinfo@svc.org) o llame al 505-856-7188.