



TIPPS UND TRICKS VOM EXPERTEN

Häufige Fehler beim Einsatz von Turbopumpen vermeiden

Oft steht der Preis bei der Auswahl der idealen Vakuumlösung im Vordergrund. Allerdings birgt diese Priorisierung auch die Gefahr, dass aus Kostengründen eine nicht optimale Pumpenlösung gewählt wird, die später in der Anwendung zu geringerer Lebenszeit und hohen Wartungskosten führen kann. Die Auswahl von zuverlässigen Vakuumpumpen und entsprechendem Zubehör zahlt sich langfristig ebenso aus wie eine sinnvolle Überwachung und Betriebsweise.

Nicht selten kommt es bei Auswahl und Betrieb einer Vakuumpumpe zu teils erheblichen Fehlern. Doch diese lassen sich oft ganz einfach vermeiden, wenn entsprechende, auf den jeweiligen Pumpentyp abgestimmte Hinweise beachtet werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Informationen zum korrekten Umgang mit Turbopumpen zusammengestellt.

Turbopumpen – leistungsstark und zuverlässig

Die Turbopumpe ist eine Hoch- bis Ultrahochvakuumpumpe. Das Pumpsystem besteht im Wesentlichen aus einem Rotor und einem Stator. Eine rotierende Rotorscheibe bildet zusammen mit einer stehenden Statorscheibe eine Pumpstufe, die ein bestimmtes Kompressionsverhältnis erzeugt. Durch das Hintereinanderschalten mehrerer Pumpstufen, die sich in der Kompressionswirkung multiplizieren, lassen sich hohe Kompressionsverhältnisse bis 10^{13} realisieren. Moderne Pumpen verwenden Holweck-Stufen auf der Vorvakuumseite, welche die Anzahl der Turbostufen ohne Beeinträchtigung der Kompression reduzieren. Gleichzeitig wird der zulässige Vorvakuumdruck auf über 30 hPa angehoben, wodurch sich die Größe der Vorvakuumpumpe drastisch verringert und der Einsatz von Membranpumpen als Vorpumpen ermöglicht wird.



Abbildung 1: Die fachgerechte Befestigung der Turbopumpe gewährleistet ihren sicheren Betrieb.

Für Prozesse, die zu Kondensation, Sublimation und Partikelbildung neigen, sollten Turbopumpen ohne zusätzliche Kompressionsstufen eingesetzt werden. In diesen Prozessen kann es in den engen Spalten zu Ablagerungen, mechanischen Schäden und Beeinflussungen der Vakuumpumpe kommen.

Vorvakuumdruck – Überwachung für sicheren Pumpbetrieb

Der Vorvakuumdruck kann, wie schon erwähnt, bei Pumpen mit zusätzlichen Kompressionsstufen bis über 30 hPa betragen. Bei Pumpen mit reinen Turbostufen liegt der maximale Vorvakuumdruck bei 2 bis 3 hPa und ist zudem von den gepumpten Gasen abhängig. Bei Stickstoff beträgt er zum Beispiel 2 hPa, bei Wasserstoff nur 0,5 hPa. Eine Überschreitung der vom Hersteller angegebenen maximalen Drücke kann durch Überhitzung der Pumpe zum Lagerschaden und sogar zum Totalausfall führen. In einer solchen Situation wird die Gasreibung unzulässig hoch und die zusätzlich entstehende Kompressionswärme kann nicht abgeführt werden. Bei

Pumpen ohne Überwachung der Lagertemperatur ist dies besonders kritisch und Ausfälle sind vielfach nicht vermeidbar. Beim Einsatz von Membranpumpen mit Enddrücken zwischen 2 und 5 hPa arbeitet man in der Nähe dieses Grenzbereichs.

Abgesehen von Membranpumpen besitzen Trockenläufer keine Auslassventile. Bei einem Ausfall der Vorvakuumpumpe wird es zu einer Rückwärtsbelüftung der Prozesskammer von der Vorvakuumseite durch die Turbopumpe kommen. Bei großen Kammervolumen kann ein schlagartiges Fluten zum Anlaufen des Turborotors durch den sogenannten Helikoptereffekt im Gehäuse führen. Resultat ist ein kostspieliger Rotor-schaden.

Zum Schutz der Turbopumpe bietet Pfeiffer Vacuum sogenannte Vorvakuum-sicherheitsventile an. Ihre Aufgabe ist es, bei Ausfall der Vorvakuumpumpe die Vorvakuumleitung sofort gegen die Turbopumpe und Kammer abzusperren. Die Schließzeit muss im Millisekunden-Bereich liegen. Ist eine Vorvakuummessung vorhanden, kann das Ventil über den Druckanstieg oder über das Ausfallsignal der Vorvakuumpumpe elektrisch angesteuert und betätigt werden.

Dimensionierung der Hochvakuumleitung

Es wird empfohlen, die Hochvakuumleitung und -ventile mindestens in der Pumpennennweite auszuführen, da sonst erhebliche Saugvermögensverluste durch ungünstige Leitwerte entstehen.

Nachfolgend ein etwas überspitztes Beispiel, um den Einfluss der Leitwertverluste bei einer Saugleitung mit einem Durchmesser von 25 mm und einer Länge vom 100 mm zu verdeutlichen:

Effektives Saugvermögen einer Turbopumpe mit einem Nennsaugvermögen von
60 l/s: 10 l/s
5000 l/s: 14 l/s

Wie zu sehen ist, bringt eine um Faktor 80 größere Turbopumpe gerade einmal 40 % mehr Saugvermögen.

Hoch- und Vorvakuumverbindungen

Ist der Hochvakuumflansch der Pumpe mit dem Rezipienten verbunden, so muss die Vorvakuumleitung flexibel gestaltet werden. Ist die Vorvakuumleitung starr verbunden, so kann sich das Pumpengehäuse bei Erwärmung nicht ausdehnen. Dies führt zu unzulässigen Materialspannungen. Diese starre Befestigungsweise hat weitere Nachteile: Der Rotor kann nicht frei schwingen und die vorhandene minimale Restunwucht kann auf Dauer zum Lagerausfall und einem eventuellen Rotorschaden führen.

Turbopumpen werden ausgewuchtet, um einen vibrationsarmen Lauf und optimale Lagerlebensdauer zu gewährleisten. Während eines normalen Hochlaufs durchlaufen sie je nach Rotordynamik gewisse Resonanzfrequenzen.

Sollten diese Frequenzen die Eigenfrequenz der Vakuumkammer, des Gestells oder der gesamten Anlage anregen, kommt es zu einer deutlichen Erhöhung der Frequenzamplituden. Dadurch fängt die Pumpe bei diesen Frequenzen an, stark zu vibrieren und wird sehr laut. Das häufige Durchlaufen dieser Frequenzbereiche kann zum Lagerschaden sowie möglichen Schäden an der Anlage oder eingebauten schwingungsempfindlichen Komponenten führen. Auch magnetgelagerte Turbopumpen bilden hier keine Ausnahme.

Es ist daher ratsam, die Eigenfrequenz der Anlage zu bestimmen und mit den Werten den Pumpenhersteller abzugleichen. Durch Versteifungen, Zusatzgewichte und Designänderungen kann den Schwingungen vorgebeugt werden.

Sichere Verbindung von Hochvakuumflansch und Vakuumkammer

Insbesondere größere magnetgelagerte Turbopumpen mit Glockenrotorkonstruktionen > 1000 l/s haben bei Nenndrehzahl hohe Drehmomente. Diese werden bei einem Crash des Rotors in Millisekunden abgebaut. Die nicht fachgerechte

Auslegung der Kammer oder die fehlerhafte Befestigung der Turbopumpe an der Kammer kann zur Deformation der Kammer und im schlimmsten Fall zum Verdrehen oder gar Abreißen der Turbopumpe vom Kammerflansch führen. In den letzten Jahren wurden mittels Crashtests und Containment-Analysen die Momente und Kräfte auf die Pumpengehäuse und Ansaugflansche ermittelt und überprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die Flanschverbindung zur Kammer im Idealfall in ISO-F oder CF-F ausgeführt sein sollte. Ein Verdrehen der Pumpe im Flansch bei ISO-F wird durch die Langlöcher und bei CF-F durch die Befestigungsschraubenlöcher verhindert. Pfeiffer Vacuum bietet sogenannte Befestigungs-Kits an, die die ausreichende Anzahl Prutzen oder Befestigungsschrauben in der erforderlichen Materialgüte und die geeigneten Zentrier-ringe beinhalten. Nur so wird erreicht, dass die Verbindung im Crashfall intakt und dicht bleibt. Den Anweisungen in der Betriebsanleitung ist unbedingt Folge zu leisten.

Splitterschutz

Zur Vermeidung von Rotorschäden durch Hineinfallen von Fremdkörpern wird geraten, einen Splitterschutz oder ein Schutzgitter in den Hochvakuumflansch der Turbopumpe einzusetzen. Aufgrund von Leitwertverlusten reduziert sich dadurch das Saugvermögen je nach Gasart um bis zu 30 %. Falls möglich, sollte die Turbopumpe kopfüber auf die Kammer gesetzt werden, da Fremdkörper durch die Schwerkraft so nach unten fallen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Pumpe für den Überkopfbetrieb geeignet ist.

Ausheizen der Pumpe

Beim Ausheizen der Pumpe sind die angegebenen, maximalen Hochvakuumflanschtemperaturen einzuhalten. Sie liegen bei maximal 120°C. Ein Überschreiten der zulässigen Temperatur führt zur Überhitzung der Pumpe und kann einen Lager- oder Rotorschaden zur Folge haben. Beim Ausheizen ist eine Wasserkühlung der Pumpe zwingend erforderlich. Der Ausheizvorgang sollte mindestens sechs Stunden betragen.

Fluten der Pumpe

Wird die Turbopumpe nach dem Stillsetzen nicht geflutet, strömt Gas von der Vorvakuum- zur Hochvakuumseite. Dabei kann es bei Nutzung von Drehschieberpumpen als Vorvakuumumpumpen zur Kontamination mit Kohlenwasserstoffen kommen. Sollte auf der Hochvakuumseite kein Ventil oder Schieber eingebaut sein, so setzt sich die Kontamination bis in den Rezipienten bzw. die Apparatur fort.

Durch das Fluten der Pumpe mit trockenem Gas, vorzugsweise Stickstoff oder ölfreier Luft, wird die Kontamination verhindert und zudem die Vorvakuumpumpe fachgerecht belüftet. Über die Antriebselektronik kann die Pumpe bei Verwendung eines Flutventils bei einer bestimmten Drehzahl sicher geflutet werden. Da das Kompressionsverhältnis einer Turbopumpe auch von der Drehzahl abhängt, liegt der optimale Flutbeginn bei circa 50 % der Nenndrehzahl und sollte spätestens bei 20 % beginnen. Moderne Elektroniken erlauben neben

Werkseinstellungen eine gewisse Flexibilität der Flutdrehzahl. Bei korrekter Flutung ist der Rezipient sicher gegen Kontamination geschützt.

Es gibt Prozesse, bei denen eine pumpenunabhängige Flutung über die Anlagensteuerung vorgezogen wird. Die wichtige Verknüpfung zur Pumpendrehzahl geht damit verloren. Eine zusätzliche Überwachung der Pumpendrehzahl ist bei Flutung über die Antriebselektronik der Pumpe nicht erforderlich. Die innere Oberfläche der Pumpe wird beim Fluten mit trockenem Stickstoff mit einer Lage Stickstoffmoleküle belegt. Dadurch wird die Evakuierungszeit wesentlich verkürzt, da sich keine schwer ablösbaren Gase oder Wasser an der Oberfläche anlagern können. Das Flutgas darf nicht von der Vorvakuumseite her eingelassen werden, da sonst Kondensate, Partikel und auch Vorpumpenöl auf die Hochvakuumseite gelangen können.

Bei instabilen Netzen mit häufigem Stromausfall empfiehlt es sich, ein sogenanntes Stromausfallflutventil einzusetzen. Im Falle eines Stromausfalls flutet es die Pumpe automatisch und setzt sie fachgerecht still.

Zu starkes Fluten, insbesondere über die Hochvakuumseite, führt durch massive Gasreibung zu starker Erwärmung der Pumpe, zu mechanischem Stress und zur Verkürzung der Lagerlebensdauer. Zulässige Flutraten sind in den technischen Daten der Turbopumpen zu finden.

Magnetfelder und Strahlung

Magnetfelder erzeugen im Rotor einer laufenden Turbopumpe Wirbelströme (Eddy-Current Effekt), die den Rotor erwärmen und dadurch schnell überhitzen können. Die erforderliche Energie wird der Antriebselektronik entnommen und führt zu einer deutlichen Erhöhung des Motorstroms. Dieser stellt eine direkte Größe für die Rotorerwärmung dar.

In den Betriebsanleitungen sind die maximal zulässigen Magnetfelder in mT (Milli-Tesla) angegeben. Sollten die Werte überschritten werden, so ist die Pumpe abzuschirmen oder – wenn die Verteilung des Magnetfelds bekannt ist – anders anzuordnen.

Bei Teilchenbeschleunigern tritt Neutronen- und Gammastrahlung unterschiedlichster Intensität und Dauer auf. Diese Strahlung zerstört an der Pumpe angebaute Antriebselektroniken und Frequenzwandler. Die in beiden vorhandenen, sensiblen Leistungstransistoren und Dioden werden durch die Strahlung zerstört. Bei solchen Anwendungen muss die Antriebselektronik über ein Verbindungskabel in sicherer Entfernung zur Strahlung installiert werden. Das Gleiche gilt auch für Messgeräte. Aktive Sensoren sind zu vermeiden, da die Sensorelektronik durch die Strahlung ebenfalls zerstört wird.

Prozesstauglichkeit

Es ist sehr wichtig, dass die Turbopumpe für den jeweiligen Prozess auch wirklich geeignet ist. Nur eine ausführliche Beratung durch unsere Experten sowie genaue Angaben über den Prozess und seine Eigenschaften garantieren die optimale Lösung für die spezifische Anwendung. Bei korrosiven Prozessen, besonders in der Halbleiterindustrie, ist es erforderlich, die Pumpen mit Sperrgas zu betreiben. Außerdem muss synthetisches PFPE-Öl als Schmiermittel bei kugelgelagerten Pumpen verwendet werden. Korrosionsbeständige Materialien wie Nickel- oder Keramikbeschichtungen sind auf den Rotoren einzusetzen.

Das Sperrgas, zum Beispiel trockener Stickstoff, bildet im Zusammenhang mit einer Labyrinthabdichtung einen hervorragenden Korrosions- und Staubschutz der Kugellager. Bei der Auslegung der Vorvakuumpumpe ist diese zusätzliche Gaslast zu berücksichtigen. Angebotene Sperrgasventile regeln den optimalen Sperrgasfluss. Der in den Anleitungen vorgeschriebene Sperrgasdruck ist einzuhalten.

Beim Abpumpen von Sauerstoff in Konzentrationen oberhalb des Luftsauerstoffs ist darauf zu achten, dass das Mineralöl durch den Sauerstoff nicht oxidiert wird und seine Schmiereigenschaften verliert. Dies kann durch die Verwendung von Stickstoff als Sperrgas und/oder durch den Einsatz von Pumpen, die mit speziellem synthetischem PFPE-Öl befüllt sind, verhindert werden.

Bei zu Ablagerungen neigenden Prozessen, zum Beispiel in CVD (Chemical Vapor Deposition), setzt sich der Beschichtungsprozess auch auf den in die Prozesskammer schauenden Rotor- und Gehäuseteilen fort. Dies führt zur Unwucht und Vibrationen, die im Extremfall einen Rotorcrash hervorrufen können. In solchen Prozessen ist es wichtig, schon beim Design der Prozesskammer Vorkehrungen zu treffen und zusätzliche Überwachung zu berücksichtigen. Wenn möglich sollte die Turbopumpe kopfüber eingebaut werden, damit Staub durch die Schwerkraft nach unten fällt und nicht so leicht in die Pumpe gelangt. Sinnvoll ist der Einbau eines Prallblechs. Es verhindert, dass Staub direkt in die laufende Pumpe fällt. Ist ein Überkopfeinbau nicht möglich, kann die Pumpe an einem T-Stück im Winkel von 90° seitlich eingebaut werden. Der Vorvakuumstutzen sollte nach unten zeigen.

Gerne unterstützen wir Sie bei der anwendungsspezifischen Optimierung Ihrer Vakuumlösung – fragen Sie uns!

<http://www.pfeiffer-vacuum.de/kontakt>



Abbildung 2: Querschnitt einer hybridgelagerten HiPace Turbopumpe von Pfeiffer Vacuum

VAKUÜMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuümlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service.

KOMPLETTES PRODUKTSORTIMENT

Vom einzelnen Bauteil bis hin zum komplexen System:

Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment.

KOMPETENZ IN THEORIE UND PRAXIS

Nutzen Sie unser Know-how und unsere Schulungsangebote!

Wir unterstützen Sie bei der Anlagenplanung und bieten erstklassigen Vor-Ort-Service weltweit.

Sie suchen eine perfekte
Vakuümlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Headquarters · Germany
T +49 6441 802-0
info@pfeiffer-vacuum.de

www.pfeiffer-vacuum.com