



TIPPS UND TRICKS VOM EXPERTEN

Einfluss der Vorpumpen auf das Vakuumsystem

In vielen Anwendungen beschränken sich die Betrachtungen, welcher Enddruck in einem Vakuumsystem erreicht wird, auf die Parameter der Hochvakuumpumpe. Das Verhalten eines Vakuumsystems wird jedoch nicht nur von der Hochvakuumpumpe, sondern in hohem Maße auch von der Vorpumpenpumpe und der Abstimmung des gesamten Pumpstands beeinflusst.

Eine Vakuumpumpe oder ein Pumpstand fördert den Gasfluss, der von einem Vakuumsystem abgegeben wird. Handelt es sich um einen Vakuumprozess mit Zudosierung von Prozessgasen, wird der zu fördernde Gasdurchsatz durch diesen Prozessgasfluss bestimmt. Handelt es sich um ein Vakuumsystem, in dem ohne Zugabe von Gasen ein möglichst niedriger Enddruck erzeugt werden soll, ist der zu fördernde

Gasdurchsatz in erster Linie von der Gasabgabe der inneren Oberflächen des Vakuumsystems bestimmt.

Auswahl einer geeigneten Vorpumpe

Soll eine Vorpumpenpumpe für einen Pumpstand ausgewählt werden, so muss diese einen Druck erzeugen, der niedriger ist als der maximale Vorpumpendruck der eingesetzten Hochvakuumpumpe. Dieser maximale Vorpumpendruck kann in der Spezifikation einer jeden Turbopumpe gefunden werden und wird als „Vorpumpen max.“, „max. Vorpumpendruck“ oder „Vordruck“ bezeichnet. Moderne Turbopumpen mit Holweckstufe können je nach Bauart und Hersteller teilweise mit einem hohen Vorpumpendruck von über 20 mbar betrieben werden. Damit wird die Auswahl der marktüblichen



Abbildung 1: Die mehrstufigen Wälzkolbenpumpen der ACP-Serie arbeiten sauber und zuverlässig

Vorpumpen kaum eingeschränkt. Vielzahlige Vorpumpen unterschiedlicher Bauarten wie ölgeschmierte Drehschieberpumpen, kompakte Membranpumpen oder leistungsstarke Trockenläufer können diesen Vorvakuumdruck gegen Atmosphäre erzeugen.

In vielen Anwendungen wie zum Beispiel der Dünnschichttechnik sind Turbopumpen jedoch nicht auf minimalen Enddruck, sondern auf andere Parameter wie maximalen Gasdurchsatz optimiert. In einem ersten Schritt vor dem eigentlichen Vakuumprozess wird häufig zunächst auf einen niedrigen Druck abgepumpt. Dies dient als Reinigungsschritt und entfernt oberflächlich anhaftende Gase von Vakuumkammer und Substraten. Die Turbopumpe muss also zuerst den niedrigen Anfangsdruck erzeugen und danach den Prozessgasfluss aus der Vakuumkammer fördern. Dies bedeutet, dass die Vorvakuumpumpe unter verschiedensten Betriebszuständen immer einen ausreichend niedrigen Druck liefern muss.

Ölfreie Vorpumpen der ACP Serie überzeugen

Drehschieberpumpen stellen die klassische Lösung als Vorpumpe für Turbopumpen dar. Sie sind vergleichsweise preiswert, zuverlässig und langzeitstabil. Allerdings ist das eingesetzte Betriebsmittel - das Pumpenöl - eine mögliche Quelle von Verunreinigungen des Vakuumsystems mit Kohlenwasserstoffen. Aus diesem Grund müssen ölgeschmierte Pumpen als Vorvakuumumpen für anspruchsvolle Vakuumanwendungen oft ausgeschlossen werden.

Eine ölfreie Alternative stellt die ACP Serie von Pfeiffer Vacuum dar. Bei den ACP Pumpen handelt es sich um mehrstufige Wälzkolbenpumpen, die durch ihr berührungsfreies Konstruktionsprinzip große Langzeitstabilität und hohe Zuverlässigkeit erreichen. Da sich bei einer solchen Vakuumpumpe keine Dichtungen zwischen Rotor und Stator befinden, entsteht anders als bei anderen ölfreien Pumpen keinerlei Dichtungsabrieb. Somit werden auch keinerlei Partikel erzeugt.

Veränderte Gaszusammensetzung bei niedrigeren Drücken

Während eines Abpumpvorgangs ändert sich die Zusammensetzung des geförderten Mediums. Werden am Anfang die in der Luft dominierenden Gase wie Stickstoff, Sauerstoff und Argon gepumpt, überwiegen bei Gaszusammensetzung in niedrigen Druckbereichen die Gase, die von den Oberflächen abgegeben werden. Dies sind meist Wasserdampf und Wasserstoff. Auch sie müssen mit hoher Effektivität von Hochvakuum- und Vorvakuumpumpe gefördert werden können.

Abpumpen von Wasserdampf

In einem Vakuumsystem werden die häufigsten Gase der Luft (Stickstoff, Sauerstoff und Argon) sehr schnell abgepumpt. Die inneren Oberflächen des Vakuumsystems sind aber mit Wasserdampf bedeckt. Dieser wird langsamer von der Oberfläche abgegeben als er abgepumpt werden kann.

Ist ein Wassermolekül von der Oberfläche in die Gasphase abgegeben worden, kann es im molekularen Strömungsbereich zur Turbopumpe wandern und von dieser aus dem Vakuumsystem abgepumpt werden. Am Vorvakuumflansch der Turbopumpe werden diese Wasserdampfmoleküle zusammen mit anderen Gasatomen und -molekülen gesammelt und durch Vorvakuumleitung und Vorpumpe ausgestoßen. Am Einlass der Vorpumpe herrscht ein vergleichsweise niedriger Druck, der sich bis zum Auslass der Pumpe auf Atmosphärendruck oder sogar leicht darüber erhöht. In der Zone des höchsten Drucks innerhalb der Pumpe besteht die Gefahr, dass ein kondensierbares Medium wieder von der gasförmigen in die flüssige Phase übergeht. Dies muss verhindert werden. Kommt es zur Kondensation innerhalb der Vorpumpe, bestimmt der Dampfdruck des Kondensats den erreichbaren Enddruck der Vorpumpe. Bei einer sauberen Drehschieber- oder ACP Pumpe bedeutet dies, dass der Enddruck von rund 10^{-2} mbar auf einige mbar steigen würde. Zusätzlich kann Kondensat in der Pumpe zu massiver Korrosion führen.

Um das zu verhindern, wird in vielen Fällen der sogenannte Gasballast eingesetzt. Dabei wird zusätzlich Gas in die Vakuumpumpe eingelassen. Gasballast heizt die Pumpe auf und öffnet Auslassventile früher als bei Betrieb ohne Gasballast. Gasballast kann sowohl bei ACP Pumpen als auch bei Drehschieberpumpen eingesetzt werden. Das zusätzlich eingebrachte Gas führt allerdings zu einem leichten Anstieg des erreichbaren Enddrucks der Vorvakuumpumpe.

Abpumpen von leichten Gasen

Da bei Drücken im Hochvakuumbereich molekulare Strömungsbedingungen und damit Bewegungen einzelner Gasatome und -moleküle vorliegen, muss die Effektivität der Turbopumpe für einzelne Gasatome und -moleküle betrachtet werden. Dies kann durch das sogenannte Kompressionsverhältnis beschrieben werden. Beim Kompressionsverhältnis bestehen recht große Unterschiede zwischen dem Verhalten leichter Gase wie Wasserstoff (Masse 2 u „atomic mass

unit“, atomare Masseneinheit) und Helium (Masse 4 u) sowie den vorherrschenden Luftgasen wie Stickstoff (28 u), Sauerstoff (32 u) oder Argon (40 u). Das Kompressionsverhältnis von Turbopumpen ist für Stickstoff normalerweise sehr hoch (circa $1 \cdot 10^8$ bis $1 \cdot 10^{11}$), liegt für leichte Gase aber deutlich darunter (circa $1 \cdot 10^2$ bis $1 \cdot 10^5$).

Die leichten Gase Wasserstoff und Helium sind in Vakuumsystemen durchaus von Bedeutung: Wasserstoff wird von den metallischen Materialien von Vakuumkammern abgegeben. Helium dient als Arbeitsgas in der Tieftemperaturtechnik und bei der Lecksuche. Es muss also auch die Leistungsfähigkeit der Vorpumpe in Bezug auf leichte Gase überprüft werden. Leichte Gase treten wiederum bei relativ niedrigem Druck in die Vorpumpe ein und werden bei Atmosphärendruck oder leicht darüber liegendem Druck ausgestoßen. Jeder Gegenruck am Auslass der Vorpumpe - sei es ein auslassseitiges Ventil, ein Schalldämpfer, ein Ölnebelfilter oder nur der statische Druck einer Luftsäule - kann verhindern, dass der sehr geringe Gasfluss eines Hochvakuumsystem aus der Vorpumpe austreten kann. Dadurch kann sich der Vorvakuumdruck und somit auch der Enddruck im Hochvakuum erhöhen. Um trotzdem einen niedrigen Enddruck im Hochvakuum zu erreichen, müssen leichte Gase effektiv aus dem Vorvakuum-system entfernt werden.

Dies kann zum Beispiel durch eine geringfügige Verminderung des Drucks am Auslass der Vorpumpe erreicht werden. Es existiert also eine Art Pumpeffekt am Auslass der Vorpumpe. Die erforderliche Druckverminderung liegt bei einer ACP Pumpe im Bereich um 20 mbar. Oft kann dies bereits durch den Anschluss der Pumpe an ein Abluftsystem erreicht werden.

Auch durch den Einsatz von Gasballast beziehungsweise Spülgas kann die Vorpumpe erheblich mehr Gas fördern als durch den Gasfluss aus einem Hochvakuumsystem allein. Dies gilt für eine ACP Pumpe in der Größenordnung von einigen Standard-Liter pro Minute (slm). Der Enddruck der Vorpumpe wird sich durch diese zusätzliche Gaslast leicht verschlechtern. Das Spülgas ist ein schweres Gas wie getrocknete Luft oder Stickstoff.

Zur Erinnerung: Das Kompressionsverhältnis einer Turbopumpe ist für schwere Gase um mehrere Größenordnungen höher als für leichte Gase. Sogar wenn der Enddruck einer Vorpumpenpumpe durch ein schweres Gas erhöht wird, verbessert sich der Enddruck im Hochvakuum trotzdem durch das Austreiben der leichten Gase.

Dies konnte in zahlreichen Experimenten bestätigt werden. Durch Einsatz eines Nadelventils am Gasballastanschluss machten einige Anwender den Gasdurchsatz regelbar und können damit Feineinstellungen vornehmen. Ein stromlos geschlossenes, elektromagnetisches Ventil in Serie sorgt für ein Absperrn des Spülgasflusses bei Stromausfall.



Abbildung 2: Aufbau zur Qualifizierung einer Pumpkombination aus ACP Vorpumpe und HiPace Turbopumpe

Kombination aus ACP und HiPace: optimale Lösung

In der Vergangenheit wurden von diversen Anwendern Versuchsaufbauten erstellt, mit deren Hilfe die geeignetste Kombination von Vor- und Turbopumpen qualifiziert werden sollte. Von den vielfältigen Möglichkeiten zur Pumpkombination haben sich vor allem die aus den Wälzkolbenpumpen der Pfeiffer Vacuum ACP Serie mit HiPace Turbopumpen durchgesetzt. Die Ergebnisse diverser Tests sowie die Erfahrung der letzten Jahre zeigen, dass diese Pumpkombination für verschiedenste Anwendungen entscheidende Vorteile gegenüber anderen Konzepten bietet.

Die Pumpkombination aus ACP Vorpumpe und HiPace Turbopumpe von Pfeiffer Vacuum

- ist absolut fluorfrei, daher besteht keine Gefahr von Prozessverunreinigungen
- ist extrem wartungsarm
- arbeitet energieeffizient und kostensparend
- hat eine leise Arbeitslautstärke
- hat einen extrem niedrigen Enddruck.

Sie sind auf der Suche nach der für Ihre Anwendung geeigneten Vakuumlösung? Sprechen Sie uns an!

VAKUMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuumlösungen, 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
Vakuumlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Headquarters · Germany
T +49 6441 802-0

www.pfeiffer-vacuum.com