**A Journal of**  **От**

**Practical and Useful**

**Vacuum Technology**

**Автор: Фил Дэниелсон**

Откачка некоторых газов в высоком вакууме

*Планирование и разработка насосной системы для вакуумного процесса - это нечто большее, чем просто максимальное повышение скорости откачки. Подбор производительности насоса для каждого отдельного вида газа обеспечит максимальную производительность откачки.*

Все специалисты по вакуумной технике предъявляют одно требование, состоящее в том, что в какой-то момент в камере с атмосферным давлением необходимо выполнить откачку. Это требование часто подкрепляет предположение начинающего практика о том, что весь процесс откачки состоит из откачки воздуха. Это легко напрашивающееся предположение может укрепить практикующего специалиста в предположении, что «большой» насос решит любую проблему откачки, которая может возникнуть. Все не так просто.

Учтите, что процесс откачки начинается с газа, который называют воздухом, и который на самом деле представляет собой смесь нескольких газов с фиксированным соотношением. Исключением является водяной пар, который изменяется в широких пределах при изменении относительной влажности (RH). Например, 100 литров воздуха при комнатной температуре и 55% относительной влажности будут содержать 1,4 мл воды, а такой же объем при 100% относительной влажности будет содержать 2,47 мл. Это значительный разброс, и он будет оказывать влияние на процесс откачки и насосную систему. Изменения в содержании водяного пара представляют собой всего лишь один, но, существенно важный пример необходимости ориентироваться на откачивание конкретного газа в вакуумной технике. В общем случае можно разделить этот вопрос на две основные области: откачка и процесс.

Откачка

Процесс откачки можно разделить на три отдельных зоны, которые охватывают весь вакуумный диапазон, от атмосферного давления до сверхвысокого вакуума. Определенный процесс, связанный с вакуумом, может потребовать только давлений в отдельной зоне, или может потребовать перемещения через несколько зон. Эти три отдельные зоны, начиная с атмосферного давления, называют объемной зоной, сухой зоной и водородной зоной.

Откачка в объемной зоне

В объемной зоне насосы должны работать с воздухом или определенным газом, заполняющим объем камеры. Хотя снижение давления в этой зоне в основном, зависит от рабочего объема насоса, следует учитывать зависимость количества водяного пара в камере от влажности, чтобы предотвратить перегрузку насоса конденсированной водой и невозможность достижения предельного остаточного давления насоса за счет давления пара воды в горячем насосе. Поэтому часто требуется использовать ловушки для предотвращения попадания воды в насос, при этом эффективность откачки водяного пара может варьироваться в широком диапазоне.

**100**

**%, Относительная влажность**

**90**

**80**

**70**

**60**

**50**

**40**

**30**

**мл воды в 100 л воздуха в сравнении с относительной влажностью при 298oK**

Как правило, объемные насосы, используемые для снижения давления относительно атмосферного, будут иметь по существу одинаковую скорость откачки для всех объемов газов в начале откачки, при этом изменения в соотношении «газ-газ» могут быть вызваны дополнительными насосами для высокого вакуума, которые могут

использоваться в это же время в объемной зоне. Несмотря на то, что расхождения в скорости откачки различных газов не всегда

**0,7**

**0,9**

**1,1**

**1,3**

**1,5**

**1,7**

**1,9**

**2,1**

**2,3**

**2,5**

являются проблемой во время

**мл воды/100 л**

*Откачка через объемную зону требует удаления большого количества водяного пара. Камера объемом 100 литров будет содержать эквивалент жидкости в мл воды как функцию от относительной влажности.*

откачки через эту зону, существуют

расхождения, которые могут быть важны в особых случаях, поэтому всегда следует учитывать относительные скорости используемых высоковакуумных насосов.

Откачка в сухой зоне

В сухой зоне, произвольно установленной на верхней границе 10-3 торр, конкретный газ, преобладающий над остаточными газами, представляет собой водяной пар, образующийся в результате десорбции с внутренних поверхностей камеры и диффузии внутри гигроскопических материалов. Несмотря на то, что откачка водяного пара является только одной из множества проблем в объемной зоне, акцент смещается туда, где давление уменьшается достаточно для входа в сухую зону.

В большинстве случаев форвакуумный насос, используемый для смещения объемной зоны, будет достигать своего предельного значения, поэтому потребуется использовать насос высокого вакуума, который сможет работать в режиме давления молекулярного потока. Конденсат перестает быть большой проблемой, но при первом цикле откачки отдельный газ доминирует в составе остаточных газов и меняет наше представление.

По мере смещения процесса откачки в сухую зону водяной пар выделяется с внутренних поверхностей с очень высокой скоростью. Поскольку часть водяного пара будет поглощаться после первоначальной десорбции, необходимо откачать как можно больше, чтобы удалить его из камеры. Это значит, что нам следует сосредоточить внимание на скорости откачки водяного пара вместо скорости откачки азота (N2), обычно указываемой в спецификациях поставщиков. Кроме того, необходимо подумать о том, что происходит в водяном паре после первоначальной откачки.

Криогенные насосы, например, имеют очень высокие скорости откачки водяного пара, но, что более важно, они способны связывать большие количества откачанного водяного пара в виде льда. Криогенный насос будет продолжать принимать водяной пар до тех пор, пока не образуется достаточное количество льда, закрывающего пространство до теплой стенки насоса и вызывающего тепловой удар.

Напротив, турбомолекулярные и молекулярные насосы позволяют откачиваемым газам проходить через насос в линию предварительной откачки, где они снова откачиваются форвакуумным насосом и выходят в атмосферу. Как правило, это так, но на практике большие площади поверхностей в насосах обеспечивают возможность резорбции водяного пара. Десорбция и резорбция водяного пара в насосе могут привести к снижению итоговой скорости откачки за счет изменения расчетной степени сжатия. В большинстве случаев в насосе может образовываться достаточное количество поглощенного водяного пара для повторного поступления в камеру.

Ни один тип насоса нельзя считать идеальным для откачки водяного пара при любых условиях, но необязательно думать о том, сколько водяного пара потребуется откачать, и каким образом система будет работать циклически. Необходимо сосредоточиться на нагрузке определенного газа в сухой зоне.

Откачка в водородной зоне

По мере того как водяной пар медленно выделяется и откачивается до давления примерно 1 x 10-8 торр, процесс откачки переходит в водородную (H2) зону. Основное внимание на данном этапе смещается от водяного пара к H2. Теперь к водороду потребуется применить те же соображения в отношении определенного газа, которые обсуждались для водяного пара в сухой зоне. В большинстве случаев потребуется еще больше строгости, поскольку общее давление теперь намного ниже, и меньшие количества газа, выходящего из насосов становятся еще более важными.

Источники, количества и скорость откачки H2 будут существенно меняться от системы к системе, поэтому каждая система требует очень тщательного анализа в отношении самой системы и заданного предельного остаточного давления. Несмотря на то, что общие рекомендации по откачке сделать невозможно, криогенные насосы имеют ограниченную производительность по H2, а турбомолекулярные и молекулярные насосы обладают ограниченной степенью сжатия и, следовательно, скоростью откачки для H2. Добавление геттерных насосов в качестве средств повышения скорости откачки и связывания Н2 может являться практичным решением.

Откачка технологического газа

Зачастую необходимо в большей степени сосредоточиться на откачке определенного газа, когда процесс является более сложным, чем первоначальная откачка. Большинство современных вакуумных систем требуют использования газов, которые являются агрессивными, отравляющими или даже смертельными, и которые статически или динамически вводятся после первоначальной откачки. Очевидно, что эти газы потребуют чрезвычайно тщательного анализа процесса откачки, и каждый из них сам по себе является отдельным сложным объектом.

Другие распространенные системы отличаются большей простотой. В ионно-распылительных системах, например, в процесс динамически вводятся аргон (Ar) и/или химически активные газы. Насосная система, которая успешно выполняет откачку в камере, может не справиться с технологическими газами. В системах подобного рода при откачке определенного газа следует сосредоточиться на откачке и откачивании технологических газов.

В системах другого типа в ходе процесса возможно выделение газов-загрязнителей. Водяной пар может десорбироваться с внутренних поверхностей под действием теплового излучения от внутренних источников, таких как источники испарения. Плазменные процессы также могут становиться причиной выделения воды под действием ионной очистки. Поскольку водяной пар может негативно влиять на процесс, важно

обеспечить достаточную производительность откачки, чтобы справиться с растущей нагрузкой водяного пара. Эти проблемы могут возникать даже несмотря на откачку системы в сухой зоне перед началом процесса.

Вакуумные печи могут обеспечивать большой выход водяного пара от рабочей нагрузки или нагревательных решеток, в дополнение к источникам десорбции под действием теплового излучения на стенках камеры. Данная область применения также является хорошим примером неожиданных газовых нагрузок, при которых большая часть металлов содержит большое количество растворенного водорода, который будет выделяться при нагревании. Возможно выделение больших количеств водорода, как при пайке эвтектических расплавов.

Различные газы

Особое внимание ко всем различным газам, которые встречаются при откачке и в последующих процессах может стать залогом успешной системы или процесса. Пошаговый анализ и оценка процесса с точки зрения конкретных газов упрощает выбор насоса и метода откачки.

*ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОТКАЧКОЙ ОПРЕДЕЛЕННОГО ГАЗА*

*ОТКАЧКА*

*Каково требуемое предельное остаточное давление?*

*В каких зонах будет проходить процесс откачки?*

*Будет ли система работать с использованием кратковременных циклов?*

*Будет ли прекращена подача определенного газа в насосную систему?*

*Соответствует ли скорость насосной системы предполагаемым нагрузкам конкретного газа?*

*ПРОЦЕСС*

*Какие технологические газы будут добавлены к общей газовой нагрузке?*

*Какие технологические газовые нагрузки будут перегружать насос после откачки?*

*Сколько технологических циклов можно выполнить до перегрузки насоса? Какие газы-загрязнители будут выделяться во время процесса?*

*Могут ли насосы справляться с газовыми нагрузками любых загрязнителей, выделяющихся во время обработки?*

*ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ*

*О чем я подумал?*

*Выбрал ли я правильный насос для откачиваемых газов?*

*Перепечатано с разрешения R&D Magazine, все права защищены.*

*Reed Business Information, подразделение Reed Business.*

*Сокращенная версия опубликована в журнале R&D Magazine, октябрь 2005 г.*