

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЙ РОТОРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ГИДРОМАШИН

Эксплуатационная надежность центробежных гидромашин в значительной степени зависит от работы уплотнительных узлов, герметизирующих вращающийся ротор. Одной из важнейших проблем современного машиностроения является решение задачи создания надежных и герметичных уплотнений роторов центробежных компрессоров. Это обусловлено, с одной стороны, высокими давлениями уплотняемой среды и окружными скоростями в уплотняющем контакте, с другой стороны – очень жесткими требованиями к герметичности и надежности, которые повышаются вместе с ростом параметров [1].

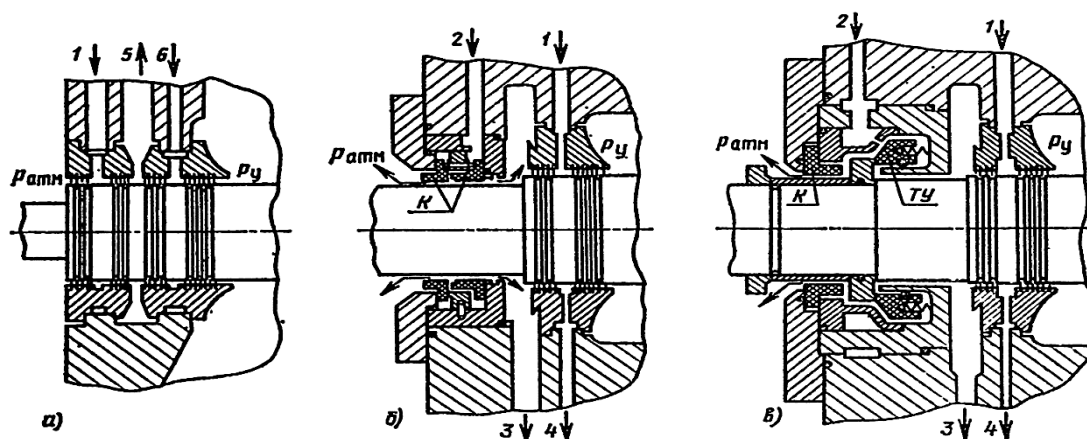
Традиционно для этой цели используются бесконтактные уплотнения (щелевые, лабиринтные, плавающие кольца и др.). Наиболее применяемые в компрессорах: лабиринтные уплотнения, уплотнения с наружным и внутренним плавающими кольцами, между которыми подается запирающее масло под расчетным давлением. Данные конструкции достаточно надежны, но не лишены недостатков: негерметичность на неработающем оборудовании; большие безвозвратные потери масла, особенно при пусках; низкий ресурс плавающих колец; повышенная загазованность масла в баке; колебания перепада давления на внутреннем кольце.

Лабиринтное уплотнение (рис. 1, а) относится к уплотнениям бесконтактного типа, оно состоит из нескольких дроссельных участков, между которыми предусмотрены камеры для подвода и отвода запирающего газа. Дроссельные участки могут располагаться на одном диаметре либо ступенчато.

Уплотнение с плавающими кольцами (рис. 1, б) также относится к бесконтактному типу уплотнений. Оно применяется при высоких уплотняемых давлениях $p_y \leq 7$ МПа. Плавающее кольцо устанавливается на вал с минимальным радиальным зазором 0,05–0,1 мм. Кольца (К) вместе с валом могут перемещаться в радиальном направлении. На рисунке показано уплотнение с двумя плавающими кольцами – внешним и внутренним.

В камеру 2 между кольцами подается запирающая жидкость (масло). Часть жидкости через малый зазор вытекает наружу,

другая часть через внутреннее кольцо попадает в камеру 3. Для предотвращения попадания запирающей жидкости в проточную часть компрессора подводится запирающий газ 1, который через лабиринты частично попадает в проточную часть, частично – в камеру 3, из которой газожидкостная смесь отводится в автоматический разделитель. Однако при непредвиденных остановах и пусках оборудования, пусконаладочных работах часть масла все же попадает в газ.



а – многокамерное лабиринтное; б – с плавающими кольцами; в – торцевое;
 1 – подвод запирающего газа; 2 – подвод запирающей жидкости;
 3 – отвод газожидкостной смеси; 4 – контрольный отбор; 5 – разгрузочная камера;
 6 – уравнивательная камера

Рисунок 1 – Типы концевых уплотнений компрессоров

Более перспективными являются торцевые уплотнения, которые обладают высокой герметизирующей способностью, т. е. уровень протечек через них в несколько раз ниже. Торцевое уплотнение (рис. 1, в) относится к типу контактных механических уплотнений. Оно применяется при высоких давлениях [2].

Уплотнение (ТУ) состоит из не вращающегося подвижного в осевом направлении графитового кольца, уплотняющая поверхность которого находится в контакте с вращающимся кольцом. Для отвода тепла и смазки поверхностей трения подводится запирающая жидкость 2 (масло). Необходимое для охлаждения количество масла дозируется внешним плавающим кольцом (К). Давление запирающей жидкости несколько выше уплотняемого давления p_y , благодаря чему осуществляется постоянный контакт между неподвижным и вращающимся кольцами. Предварительный контакт колец создается комплектом пружин. Уплотняющие поверхности работают в режиме полусухого трения, следствием чего имеет место капельная утечка через уплотнение.

Торцевое уплотнение при остановленном компрессоре не в полной мере обеспечивает герметичность без подвода масла. Ограничения для применения торцевых концевых уплотнений: затруднено уплотнение для холодильных компрессоров при стоянке; уплотняемое давление должно быть не более 7 МПа; при высоком перепаде давления уменьшается перемещение кольца; неприменимо при допустимых малых перетоках запирающей жидкости в газовую полость.

Для решения проблемных вопросов разработана и активно внедряется в компрессорах система газодинамических уплотнений. Состоит из, собственно, уплотнений и системы регулирования и контроля работы уплотнений (стойки управления) [3].

Принцип работы сухого газодинамического уплотнения (ГДУ) основан на образовании газового зазора под действием газостатодинамических сил между торцовыми поверхностями вращающегося диска и невращающегося кольца, которые образуют пару трения (ступень уплотнения). Величина зазора очень мала (2...5 мкм) и зависит от величины возникающего газостатодинамического усилия. Это позволяет свести до минимума утечку газа из полости высокого давления в окружающее пространство и, в то же время, этот зазор исключает механический контакт между уплотнительными поверхностями, что обеспечивает теоретически неограниченный срок службы основных деталей уплотнения. Требуемая величина зазора обеспечивается точно обработанной геометрической формой всех элементов уплотнения, в особенности, диска и кольца, профилированием спиральных канавок на твердосплавном диске и применяемыми материалами (рис. 2).

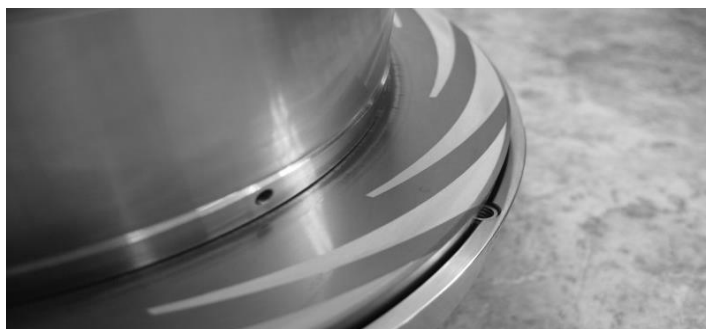


Рисунок 2 – Спиральные канавки на твердосплавном диске

Вращающийся диск изготавливают из твердосплавных материалов, таких как карбид вольфрама, карбид кремния, нитрид кремния. Диск закрепляется на роторной части уплотнения которая, в свою очередь, крепится на валу и вращается вместе с ним. На уплотнительной торцевой поверхности диска выполнены спиральные канавки (однаправленные или реверсивные) глубиной несколько микрон.

Невращающееся кольцо изготавливают из графита с антифрикционными пропитками или карбида кремния со специальным покрытием. Кольцо закрепляется в корпусе статорной части уплотнения оно подвижно в осевом направлении и прижимается к диску пружинами. Пружины передают усилие через упорное кольцо на резиновое кольцо, которое, в свою очередь, передает усилие на графитовое кольцо.

Когда ротор компрессора вместе с диском начинает вращаться, уплотняемый газ с периферии диска захватывается канавками и втягивается внутрь, к основанию канавки. Набегающий поток газа в конце канавки наталкивается на её основание, которое создает сопротивление потоку, и за счет этого происходит приращение давления. Созданное давление разъединяет соприкасающиеся торцовые поверхности графитового кольца и диска. Графитовое кольцо «всплывает» на газовом слое. Через образовавшийся зазор, называемый уплотнительным, между диском и графитовым кольцом дросселируется небольшое количество рабочего газа. Эта утечка газа выбрасывается на свечу.

По конструктивному исполнению сухие уплотнения подразделяются на одинарные, двухсторонние и двойные (тандемные). В большинстве случаев, в современных компрессорных гидромашинах применяются двойные тандемные уплотнения.

Из приведенного выше видно, что работы по совершенствованию существующего оборудования являются огромным полем для исследований и совершенствования технологий. Разработка новых технологий обработки материалов и методик проектирования и конструирования отдельных узлов и деталей машин позволяют повышать производительность, снижать расходы на эксплуатацию, повышать безопасность ведения технологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронежский, А. В. Современные центробежные компрессоры. / А.В. Воронежский. – М.: Премиум Инжиниринг, 2007. – 140 с.
2. Научно-производственный центр АНОД [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anod.ru/sovremennyye-uplotneniya-vala-czentrobezhnyix-kompressorov-i-nagnetatelej.html> (Дата обращения: 30.01.2025);
3. АО "ТРЭМ Инжиниринг" [Электронный ресурс]. URL: <https://tremseals.com/> (Дата обращения: 30.01.2025);
4. ООО «ПРОМТЕХФИЛЬТР» [Электронный ресурс]. URL: <https://ptfilter.ru/> (Дата обращения: 01.02.2025).