

Условия герметизации

сальниковых узлов трубопроводной арматуры и насосов. Новые решения

А.П. Епишов, генеральный директор ООО «Ильма», к.т.н.

Продолжение. Начало в №4,5, 2009 г.

Отличительные особенности классического сальника

В уплотнительной технике сальниковыми уплотнениями или просто «сальником» традиционно называются пластичные кольцевые уплотнители, которые при осевом сжатии обеспечивают герметичность соосных, как правило, подвижных элементов разъёмных герметичных соединений (РГС). Главное отличие сальника от традиционного плоского уплотнения заключается в том, что герметичность обеспечивается в зоне цилиндрической уплотняемой поверхности. В классической плоской прокладке при её осевом сжатии контактные давления создаются на плоской поверхности. При сжатии сальникового уплотнения добиваются создания контактного давления в радиальном направлении, то есть в области контакта сальника и цилиндрической уплотняемой поверхности.

Существует несколько типов сальниковых прокладок, работающих в неподвижных РГС, например, цилиндрические многослойные прокладки (рис. 1) или цилиндрические навитые прокладки (рис. 2). Однако, темой настоящей статьи являются именно классические сальники (рис. 3). При работе таких уплотнений, как правило, на-



Александр Павлович Епишов

ружная радиальная контактная поверхность соприкасается с неподвижным элементом РГС (стенка сальниковой камеры), а внутренняя — с подвижным (вал, шток).

Есть два основных конструктивных исполнения сальника: сальниковая набивка (как правило, плетёная) и сальниковое кольцо (как правило, предварительно сформованное в пресс-форме). В гидравлике и пневматике в РГС используется огромное множество различных манжетных и кольцевых уплотнений, которые не являются классическими сальниковыми уплотнениями, поскольку они работают за счёт созданного предварительно натяга между уплотнительной поверхностью и контактным элементом уплотнителя. Как правило, эти уплотнители изготавливаются из материалов на основе эластомеров и пластиков, и довольно часто при их работе используется принцип самоуплотнения.

Как работает сальник

Итак, как уже было сказано выше, механизм работы традиционного сальника выглядит следующим образом (рис. 4). При перемещении грундбоксы сальник сжимается в сальниковой камере, осевое усилие перераспределяется, пластичный материал сальника деформируется в условиях, близких к условиям всестороннего сжатия. На цилиндрических уплотняемых поверхностях (стенка камеры и шток) возникают радиальные контактные давления. Таким образом, простой силовой анализ данного механизма работы сальника показывает, что сальник должен обладать хорошей упругостью и пластичностью (деформативностью) в радиальном направлении.

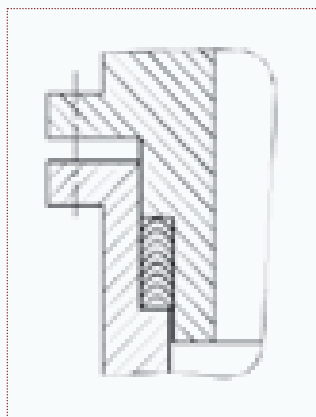


Рис. 1. Неподвижное РГС с цилиндрической многослойной прокладкой

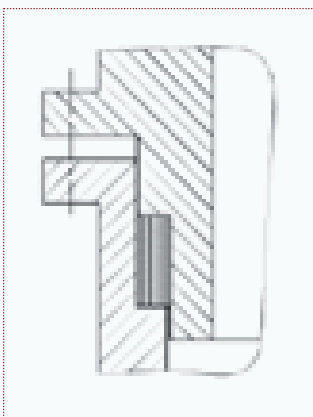


Рис. 2. Неподвижное РГС с цилиндрической навитой прокладкой

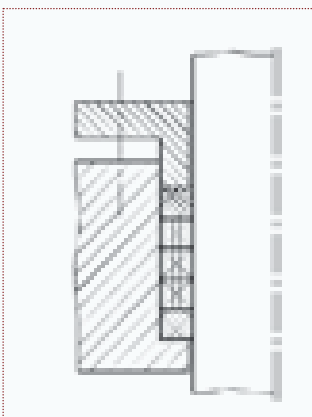


Рис. 3. Подвижное РГС с традиционным сальником

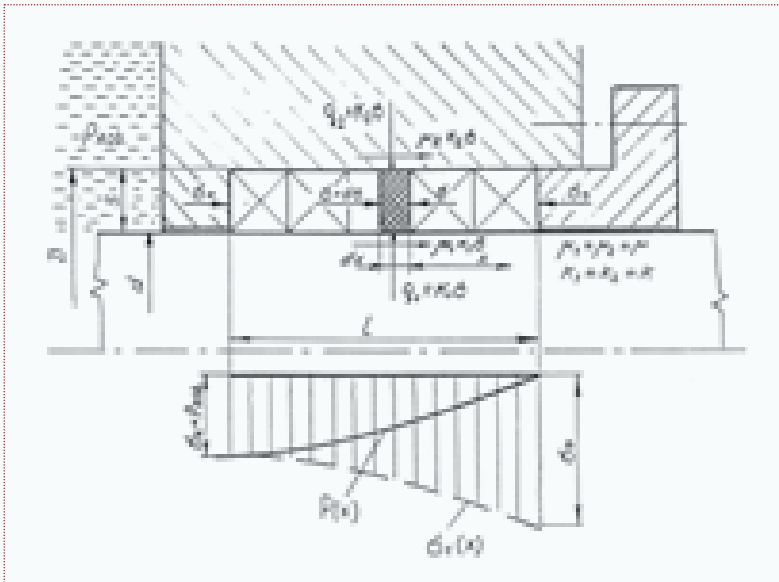


Рис. 4. Силовая схема подвижного РГС с сальником

Способность сальника перераспределять осевое усилие в радиальном направлении характеризуется так называемым коэффициентом бокового давления — $Kб$. В традиционном виде этот коэффициент равняется отношению радиального контактного напряжения к осевому. Как правило, $Kб$ определяется экспериментально. Этот показатель является весьма условным. Современные сальниковые материалы являются анизотропными (то есть их физико-механические свойства в разных направлениях различны), и как показывают эксперименты, распределение $Kб$ по высоте сальниковой камеры, как правило, весьма неравномерно. Также обычно $Kб$ различается на наружной и внутренней поверхности сальника.

Преимущества и недостатки традиционного сальника

Говоря о преимуществах сальника, следует, прежде всего, определить альтернативу. Применительно к насосам можно говорить о торцовом уплотнении, лабиринтном, щелевом и др. Если рассматривать трубопроводную арматуру, то можно принять в качестве альтернативы, например, сильфонное уплотнение. Главные преимущества классического сальника — его простота, относительно невысокая цена, удобство монтажа, возможность обеспечивать приемлемый уровень герметичности при несоосности вала (штока) и стенки сальниковой камеры, при радиальном биении вала и т.д. Для «подбивки» или замены сальника достаточно просто поднять грундбоксу.

К основным недостаткам сальника следует отнести сравнительно невысокую степень герметичности и относительно низкую надёжность РГС, а также довольно высокие затраты мощности (соответственно затраты электроэнергии) на преодоление трения в зоне контакта. Эти недостатки обусловлены следующими факторами:

- выносом материала набивки при движении уплотняемого штока (вала);
- адгезией материала сальника к поверхности подвижного контртела и к поверхности сальниковой камеры;

- сложным механизмом кинетики напряжённо-деформированного состояния (НДС), релаксацией напряжений в материале набивки (ростом деформации ползучести, уменьшением упругой энергии);

- относительно высоким коэффициентом трения в зоне контакта;

- относительно низкой термостойкостью и прочностью набивки в зоне контакта.

Слабыми сторонами классического сальника являются также следующие факторы:

- необходимость точной (качественной) нарезки кольцевых сегментов из сальниковой набивки;

- невозможность, как правило, герметизации рабочей среды под давлением свыше 4 МПа разрезными формованными сальниковыми кольцами;

- достаточно высокие требования к соосности штока и камеры;

- достаточно жёсткие требования к шероховатости поверхности штока (вала);

- относительная дороговизна металлических материалов, используемых для изготовления штоков и защитных втулок валов насосов;

- необходимость периодической подтяжки сальника или установки упругих элементов в крепёжных системах.

Недостатки сальниковых уплотнений на основе терморасширенного графита

В настоящее время для герметизации подвижных РГС в промышленности и энергетике широко применяются сальниковые набивки и формованные сальниковые кольца на основе терморасширенного графита (ТРГ). Этот безасбестовый материал обладает превосходной упругостью, хорошей пластичностью, высокой теплопроводностью, термостойкостью и неплохой стойкостью в агрессивных средах.

Вместе с тем, сальниковым уплотнениям на основе ТРГ присущи и очевидные недостатки: хрупкость, тепловая и силовая адгезия диффузионного характера к металлу, электропроводность, ярко выраженная анизотропия свойств. Набивка из графитовых мононитей, сформированных из армированных нитями графитовых лент (более 75% всего рынка сальниковых уплотнений в энергетике), не обладает достаточным уровнем целостности и прочности. При нарезке такая набивка распадается и обсыпается, при движении контртела имеет место вынос материала набивки.

Существенным недостатком сальниковых колец из ТРГ, сформированных в пресс-форме, является их хрупкость, недостаточная пластичность и гибкость. Поэтому их применение (установка в сальниковую камеру при поднятой грундбоксе) в виде разрезных колец практически исключено. При формовании таких колец в пресс-форме (кольцо-заготовку получают, как правило, путём навивки графитовой ленты) образуется неравномерная структура, что влечёт за собой



неравномерность физико-механических свойств по объёму и периметру кольца. Коррозионная стойкость сальниковых уплотнений на основе ТРГ приобретает приемлемый уровень только при использовании высококачественного графита. Но даже при соблюдении достаточно высоких требований по беспримесности в отношении содержания серы и хлоридов в ТРГ, их следы всегда имеются, и они создают микропрослойку между сальником и уплотняемой поверхностью. В процессе эксплуатации примеси серы и хлориды, как составляющие солей сильных кислот, при контакте с рабочей средой при высоких температурах и давлениях, способствуют возникновению реакции ионного обмена между ними и водой с образованием раствора с кислой реакцией. Этот раствор, воздействуя на уплотняемые поверхности, может вызвать их коррозию.

Новые инженерные решения в области сальниковых уплотнений

В стремлении преодолеть некоторые негативные стороны использования сальниковых уплотнений на основе ТРГ российские инженеры разработали и запатентовали ряд интересных конструктивных решений. Так, например, было предложено при формировании сальникового кольца из ТРГ в пресс-форме кольцо-заготовку изготавливать из лент с нанесённой специальной структурой (рис. 5). Исходные графитовые ленты



Рис. 5. Сальниковые кольца из ТРГ

плотностью около 1 грамма на кубический сантиметр пропускают через специальные вальцы с получением на поверхности ленты специальной структуры в виде чередующихся глухих лунок и продольных канавок — деформационных линий. Во-первых, канавки позволяют создать в сформованном кольце чёткую и правильную структуру — и-образную «гармошку», так как излом лент при деформации идёт ровно по канавкам. Такая структура исключает выдавливание сальника при его затяжке, даже если имеет место большой зазор между грундебуксой и стенкой камеры, — ведь каждый слой сальника зацеплен друг за друга. Во-вторых, при предварительной обработке толщина ленты увеличивается на 25-30 процентов, она как бы взрывается. В-третьих, это удивительное состояние позволяет при формировании

кольца существенно снизить осевое усилие сжатия, что даёт, в свою очередь, возможность сформовать кольцо пониженной плотности и повышенной гибкости, которое может быть успешно применено в виде разрезного кольца даже на насосах с линейной скоростью вращения вала свыше 20-ти метров в секунду. Такое применение сальника, изготовленного по традиционной технологии, невозможно. Кроме того, глухие лунки и канавки на поверхности сальника способствуют эффективному отводу тепла трения из зоны контакта набивка-вал, так как в них накапливается жидкость.

Другое не менее интересное и эффективное решение — покрытие графитового сальника экспандированным (волокнуистым) фторопластом (рис. 6). Такой



Рис. 6. Сальниковая набивка с покрытием из экспандированного фторопласта

оригинальный подход позволяет при некотором снижении термостойкости существенно улучшить многие другие характеристики сальника. Например, снизить практически в два раза коэффициент трения сальника по стали — вот где заложен огромный потенциал энергосбережения! Или, например, появляется возможность использовать сальник в крайне агрессивных средах, где использование чистого ТРГ исключено (эта возможность подтверждена 2-х летними эксплуатационными испытаниями на заводе «Капролактан» ОАО «Сибур-Нефтехим»).

Набивка во фторопластовой оболочке легко нарезается, не распушается в месте разреза. При её эксплуатации практически не наблюдается выноса материала, — ведь он находится во фторопластовом чехле. Также это решение позволяет минимизировать фильтрацию среды сквозь набивку. В обычной набивке из ТРГ при фильтрации рабочей среды через набивку армирующие нити теряют свою прочность, что обуславливает вынос материала из сальниковой камеры. Особенно важное качество графито-фторопластовой набивки, — её высокая стойкость к адгезии, — вспомните сковороду «Тефаль», ведь там тоже использован принцип покрытия металла «Тефлоном». Наконец, набивка с фторопластовым покрытием минимизирует возможность коррозии в сальниковом узле, — инертность и чистота фторопласта делают своё дело. Новую набивку можно применять в исключительно широком диапазоне рабочих сред, — от молока и чистой воды до сильно концентрированных кислот.