

Материалы серии «КОНСТАФТОР» для уплотнений шаровых кранов

К.Ю. Зерщиков, Ю.В. Семенов, Е.К. Кузахметова, ООО «Константа-2», г. Волгоград

Шаровые краны с плавающей пробкой получили наибольшее распространение благодаря простоте конструкции и технологичности производства, а, следовательно, невысокой стоимости. Основным их отличием является то, что нагрузку от давления рабочей среды воспринимает седловое уплотнение. В силу этой особенности, одним из основных требований, предъявляемых к материалу уплотнения, является высокая прочность, малая деформируемость под нагрузкой и неизменность деформации во времени. Кроме того, материал седла должен обладать низким коэффициентом трения, поскольку с увеличением условного прохода растет усилие, действующее на уплотнение, а отсюда и усилие на преодоление сил трения, необходимое для управления краном.

Согласно [1], затворы с плавающей пробкой применяются до DN100 при давлениях не более 4 МПа и до DN 300 при давлениях не свыше 2 МПа при соблюдении общего условия при использовании фторопластовых уплотнений: $P_N \cdot DN \leq 500 \text{ кг} \cdot \text{см}$. И хотя эти данные со- рокалетней давности, при проектировании ими пользуют-

ся до настоящего времени, так как конструктивно шаровые краны с плавающей пробкой изменились мало. Так, основные российские производители, впрочем, как и зарубежные, производят краны с плавающей пробкой на давление не более 4 МПа до условного прохода 150 и на давление не выше 1,6 МПа до условного прохода 300.

Заявляемые максимальные температуры эксплуатации – от +150 до +240 °С у разных производителей при использовании уплотнения седла из фторопласта или коксонаполненного фторопласта, минимальные – до –60 °С. В условиях работы крана при повышенных или пониженных температурах начинает сказываться разница в тепловом расширении материала корпуса и уплотнения, результатом чего может быть либо снижение контактного давления и потеря герметичности, либо заклинивание пробки. Следовательно, снижение коэффициента теплового линейного расширения (КТЛР) материала седла до уровня близкого к КТЛР металла ($1,2 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$) очень важно для обеспечения герметичности в условиях термоциклирования.

Герметичность уплотнения определяется в первую очередь контактным взаимодействием сопрягаемых поверхностей [2], которое зависит от твердости материала седла, шероховатости соприкасающихся поверхностей, усилия прижатия, от которого зависит контактное давление, геометрии уплотнительного узла, характеристик среды, от которых зависит величина расклинивающего эффекта. Если обобщить эти факторы, то оказывается, что за комплексный показатель, определяющий герметизирующие свойства материала, можно принять твердость, поэтому оценку применимости материалов для обеспечения максимально возможных герметизирующих свойств логично проводить по их твердости.

Как отмечается в [2], «эксплуатационные характеристики контактных уплотнений в первую очередь определяются свойствами материала уплотнений», или иначе, «процессы в области контакта зависят прежде всего от свойств материалов контактирующих тел». В [3] уже предлагались критерии для оценки возможности использования материалов для уплотнений, эксплуатирующихся в экстремальных условиях. Применительно к уплотнениям шаровых кранов основные требования к материалу уплотнения можно сформулировать следующим образом: высокий предел текучести и модуль упругости при сжатии, низкий коэффициент трения и КТЛР, оптимальная твердость, минимальная ползучесть и деградация во времени под воздействием внешней среды.

Основным материалом для седел шаровых кранов на протяжении длительного времени остается фторопласт-4 (ПТФЭ, тефлон). Это связано с уникальными характеристиками, которыми он обладает: низким коэффициентом трения, высокой термостойкостью, химстойкостью, инертностью по отношению к внешней среде, пластичностью, которая обуславливает высокие герметизирующие свойства. Однако его недостатки: ползучесть даже при небольших нагрузках, низкая износостойкость, высокий коэффициент линейного расширения – не позволяют применять его в шаровых кранах, работающих при давлениях более 4 МПа и температурах выше 150 °С. Эти недостатки пытаются нивелировать, применяя композиционные материалы на основе фторопласта, наибольшее распространение из которых получила композиция с коксом Ф4К20. При этом резко увеличивается износостойкость, немного снижается ползучесть и коэффициент линейного расширения, что позволяет несколько поднять рабочие температуру и давление. Однако, и это не позволяет существенно расширить эксплуатационные характеристики шаровых кранов. Основные характеристики фторопласта Ф-4 и кок-

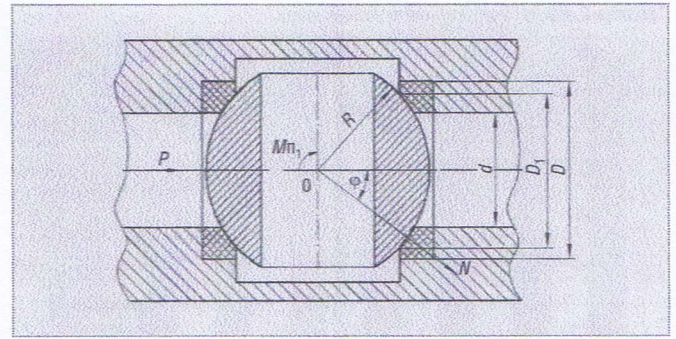


Рис. 1. Схема усилий, действующих на уплотнение

сонаполненной композиции Ф4К20, определяющие их работоспособность, измеренные на образцах, изготовленных по стандартной технологии из серийно производимых ОАО «Галополимер» материалов, приведены в табл. 1.

Очевидно, что для увеличения значений рабочих температуры и давления шаровых кранов с плавающей пробкой необходима замена материала уплотнения на полимерные композиции с более высокими физико-механическими показателями. Однако, зависимость технико-эксплуатационных характеристик рассматриваемого вида трубопроводной арматуры от уровня упруго-прочностных свойств материала уплотнения изучена недостаточно и требует более детального рассмотрения, а потому является актуальной задачей. В связи с этим для определения комплекса требований к физико-механическим показателям материала уплотнения необходимо рассчитать действующую на него нагрузку и оценить возникающие в нем напряжения.

Уплотнение осуществляется седлом, стоящим за шаром, и максимальное давление воздействует на него в закрытом положении крана. Вычисление нагрузок, испытываемых уплотнением, будем вести на основании расчетной схемы усилий, действующих в уплотнительном узле (рис. 1). Усилие, действующее на уплотнение от давления среды и прижимающее шар к седлу $P = p\pi D_1^2 \cos\varphi / 4$, где: D_1 – наружный диаметр контакта уплотнения с шаром, однако D_1 и D – наружный диаметр уплотнения – отличаются незначительно, поэтому в дальнейшем для простоты будем использовать величину D , p – максимальное давление среды. Поскольку угол φ на практике равен 45° или близок к нему, $P = 0,56pD^2$.

Тогда напряжения сжатия, действующие в седле:

$$\sigma = 0,56pD^2 / 0,785(D^2 - d^2) = 0,71pD^2 / (D^2 - d^2), \quad (1)$$

где d – внутренний диаметр уплотнения.

Таблица 1. Физико-механические свойства Ф-4ПН и Ф4К20

Материал	Предел текучести при сжатии, МПа	Модуль упругости при сжатии, МПа	Твердость, Шор Д	Козффициент трения	КТЛР, 1/град	Деформация под давлением 10 МПа при 200 °С за 24 ч, %
Ф-4ПН	10	130	50-52	0,08	$1,5 \cdot 10^{-4}$	22
Ф4К20	12	150	55-57	0,15	$0,8 \cdot 10^{-4}$	10

Таблица 2. Расчет напряжений в уплотнениях

DN	D, мм	d, мм	P, МПа	σ по формуле (1), МПа	q по формуле (2), МПа	P, МПа	σ по формуле (1), МПа	q по формуле (2), МПа
25	33	25	2,5	4,2	4,5	4,0	6,7	7,3
50	66	50	2,5	4,2	4,5	4,0	6,7	7,3
100	120	100	2,5	5,8	6,9	4,0	9,3	11,0
200	234	200	2,5	6,5	8,0	4,0	10,5	12,8

Совершенно очевидно, что нельзя допускать пластической деформации материала седла в процессе эксплуатации, так как это приведет к потере герметичности, поэтому за основную прочностную характеристику, с которой сравниваются действующие в уплотнении напряжения, надо принимать предел текучести или предел прочности (для хрупких материалов) при сжатии материала с некоторым коэффициентом запаса. Следовательно, работоспособность будет обеспечена при условии $\sigma \leq [\sigma]$, где: $[\sigma] = \sigma_{сж} / k$, $\sigma_{сж}$ – предел текучести или предел прочности при сжатии при рабочей температуре, определяется экспериментально по стандартной методике, k – коэффициент запаса, $k = k_1 \cdot k_2$, где $k_1 = 1,2$ – коэффициент, учитывающий двадцатипроцентный разброс свойств полимерных материалов, $k_2 = 1,2$ – коэффициент, учитывающий технологические факторы: неравномерность приложения усилия, скачки давления, неточности изготовления и сборки. Таким образом, для фторопласта $[\sigma] = 7$ МПа, а для Ф4К20 $[\sigma] = 8,5$ МПа.

В [1] давление, воздействующее на уплотнение, предложено рассчитывать из соотношения:

$$q = p(D + d) / 4(D - d). \quad (2)$$

Работоспособность уплотнения обеспечивается при выполнении условия $q \leq [q]$, где $[q]$ – допустимое удельное давление, которое согласно экспертным оценкам для фторопласта равно 15 МПа, для капрона – 30 МПа. Этой методикой пользовались на протяжении длительного времени, однако она не позволяет оценивать возможности других материалов, так как значение $[q]$ известно только для капрона и фторопласта.

Рассчитаем напряжения, действующие в уплотнениях шаровых кранов с условным проходом DN 25, DN 50, DN 100, DN 200. В табл. 2 представлены типичные размеры уплотнений и рассчитанные по формулам (1) и (2) напряжения, действующие в них при двух значениях максимального давления: 2,5 МПа и 4 МПа. Полученные расчетные данные объясняют пределы эксплуатации шаровых кранов с плавающей пробкой, обозначенные ранее, и могут служить для оценки возможности применения новых материалов для уплотнения при обозначенных рабочих режимах. Очевидно, их можно использовать и при решении обратной задачи – назначение размеров седла по задаваемым рабочим характеристикам крана.

Проведенные расчеты показывают, что повышение рабочих характеристик кранов, в первую очередь по дав-

лению, требует применения материалов с более высоким пределом текучести. Чтобы оценить границы работоспособности предлагаемых материалов для уплотнений шаровых кранов, определили их пределы текучести при сжатии. На рис. 2 представлены результаты испытаний на сжатие по ГОСТ 4651-82 материалов серии «Констафтор». Испытания проводили на цилиндрических образцах, вырезанных вдоль направления прессования на машине МР-05 при скорости 10 мм/мин. Видно, что материалы «Констафтор 200» и «Констафтор 300С» примерно соответствуют по свойствам Ф4К20, «Констафтор 400» имеет более высокую прочность и модуль упругости. «Констафтор 1000П» и «Констафтор 1000» существенно превосходят по прочности применяемые в настоящее время материалы.

На диаграмме (рис. 3) отображены результаты измерения пределов текучести при сжатии материалов. Из рассмотрения следует, что «Констафтор 400» можно применять в кранах с условным проходом до DN100, работающих под давлением до 8 МПа, а «Констафтор 1000» – в кранах с условным проходом до DN 200 при 20 МПа, при обозначенных ранее размерах уплотнений. Изменением размеров уплотнений также можно влиять на рабочие параметры шаровых кранов. Безусловно, приведенные оценки носят предварительный характер и требуют подтверждения при натурных испытаниях. Тем не менее, сравнение свойств материалов серии «Констафтор» с применяемыми сегодня показывает перспективность их применения. Видно, что рассматриваемая линейка ма-

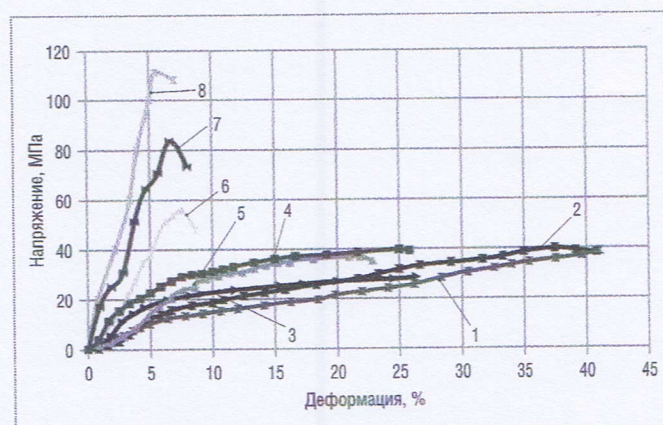


Рис. 2. Результаты испытаний на сжатие материалов серии «Констафтор»: 1 – Ф4ПН; 2 – Ф4К20; 3 – Констафтор 300; 4 – Констафтор 400; 5 – Констафтор 200; 6 – Констафтор 1000П1; 7 – Констафтор 1000П; 8 – Констафтор 1000

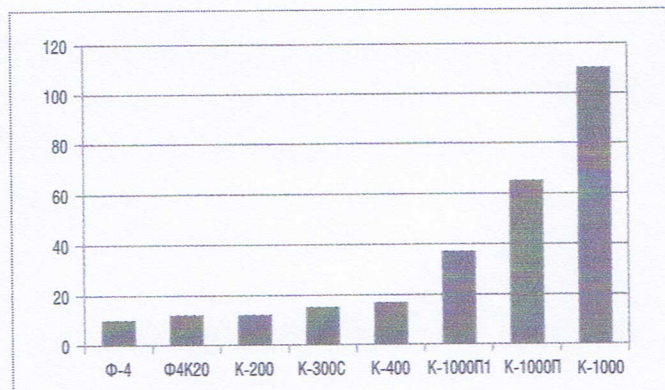


Рис. 3. Сравнение пределов текучести (прочности) материалов «Констафтор»

териалов позволяет использовать их для изготовления уплотнений шаровых кранов, применяемых в широком диапазоне давлений.

Таким образом, при тех же размерах шарового крана и уплотнения применение материалов серии «Констафтор» позволит поднять рабочие характеристики кранов с плавающей пробкой: давление до 20 МПа.

Однако, на основании полученных результатов можно сделать выводы о применимости материалов для тех или иных условий эксплуатации только при нормальной температуре. Чтобы оценить границы применимости материалов при повышенных температурах, исследовали деформируемость материалов в течение 24 часов при температуре 200 °С под напряжением 9,6 МПа. Исследования теплостойкости проводили на приборе для термомеханических испытаний путем измерения деформации образца при пенетрации в него индентора, имитируя таким способом напряжение сжатия в материале. Измеряли величину внедрения индентора за 24 часа в исследуемый образец, отнесенную к его начальной толщине. Очевидно, что чем меньше величина пенетрации, тем выше сопротивление материала деформированию при повышенной температуре. Результаты представлены в табл. 3. Эти данные показывают, что материалы серии «Констафтор» лучше сопротивляются деформированию при повышенных температурах, чем используемые в настоящее время, однако установить по ним предельную температуру эксплуатации без проведения натурных испытаний пока не представляется возможным – они не позволяют оценить допустимую величину деформации, при которой работоспособность уплотнения сохраняется. Тем не менее, сравнение этих величин между собой и с достигнутыми пределами эксплуатации известных материалов позволяет сделать заключение о возможности применения материалов «Кон-

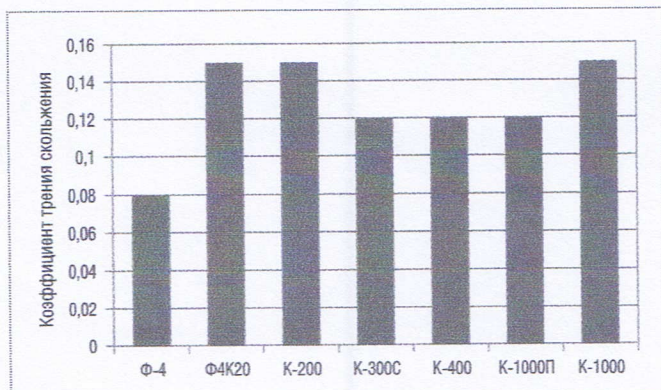


Рис. 4. Коэффициенты трения по стали марки 08X18H10T при скорости скольжения 10 мм/мин материалов серии «Констафтор»

стафтор 1000П» и «Констафтор 1000» при температуре эксплуатации 200 °С и напряжении сжатия при этой температуре не менее 10 МПа.

Как было отмечено, величина коэффициента трения скольжения оказывает значительное влияние на выбор материала для уплотнения, так как момент поворота пробки прямо пропорционально зависит от нее. В свою очередь, момент, требуемый для управления, определяет необходимую мощность привода, что влияет на экономичность шарового крана. На рис. 4 показаны коэффициенты трения материалов серии «Констафтор» в сравнении с фторопластом и коксонаполненным композитом Ф4К20.

Как и ожидалось, коэффициенты трения композиционных материалов выше, чем у фторопласта, однако абсолютная их величина не превышает 0,15, а для лучших образцов 0,12, что не должно существенно снизить эффективность их применения.

Выше было сделано предположение, что значение твердости оказывает большое влияние на способность материала обеспечивать отсутствие протечек, то есть на герметичность. Как видно из табл. 1, твердость фторопластов Ф-4 и Ф4К20 составляет от 50 до 58 Шор Д. Известно из практики, что в шаровых кранах, предназначенных для работы на газе, лучше зарекомендовали себя уплотнения из полиуретана, чуть хуже из Ф-4, наименее герметичны при одинаковых условиях уплотнения из Ф4К20, что мы связываем с большей твердостью и жесткостью материала уплотнения. В то же время, твердость полиэфирэфиркетона примерно 90 ед Шор Д, и при его использовании в качестве уплотнения требуется применение специальных приемов, как то полировка поверхности пробки и создание высокого давления поджатия или притирка седла по пробке. Таким образом, для обеспечения

условия герметичности без применения специальных приемов, что удорожает изделие, необходимо стремиться к значению твердости композита 50–60 ед Шор Д или близкого к нему. Материалы серии «Констафтор» обладают несколько более высокой твердостью, однако возможность варьировать ко-

Таблица 3. Теплостойкость композитов

Материал	Ф-4ПН	Ф4К20	Констафтор 200	Констафтор 300С	Констафтор 400	Констафтор 1000П	Констафтор 1000
Деформация под давлением 9,6 МПа при 200 °С за 24 ч, %	22	10	6	6	2	1	0

личество и свойства наполнителей позволяет получить линейку материалов различной твердости (табл. 4).

Таким образом, на основе анализа критериев работоспособности шарового крана и основываясь на принципах конструирования композиционных материалов, предложен спектр материалов для изготовления уплотнений шаровых кранов.

Материалы серии «Констафтор», применяемые для изготовления седловых уплотнений, делятся на три основные группы:

- Группа К-200, К-300, К-300С – композиционные материалы на основе фторопласта Ф-4 с дисперсными и волокнистыми наполнителями, отличающиеся низкой ползучестью и повышенной износостойкостью при невысокой стоимости. Их назначение – узлы, работающие под давлением не выше 10 МПа и температурах до 150 °С.
- Группа К-400 – высоконаполненные композиты фторопласта с аппретированными дисперсными и волокнистыми наполнителями, имеющие повышенный предел текучести и модуль упругости при сжатии, низкую ползучесть при высокой температуре и уникально низкий КТЛР – на порядок ниже, чем у фторопласта Ф-4. Их рабочие характеристики ограничены давлением 20 МПа и температурой 200 °С.
- Материалы серии К-1000 – композиты на основе термостойких, высокопрочных термопластов: полиэфирэфиркетона, полифениленсульфида. В зависимости от требуемых характеристик, в качестве добавок ис-

Таблица 4. Твердость материалов серии «Констафтор»

Материал	Констафтор 200	Констафтор 300С	Констафтор 400	Констафтор 1000П	Констафтор 1000
Твердость Шор Д	62–64	56–58	60–64	60–75	70–88

пользуются углеродные, стеклянные, полиэфирные, базальтовые волокна, фторопласт, графит и другие функциональные наполнители. Соответственно, свойства получаемых композитов могут варьироваться в очень широких пределах. В основном эти материалы предназначены для высоконагруженных уплотнений, работающих в сильно загрязненных средах, оказывающих абразивное воздействие, при температурах до 250 °С и даже до 300 °С, при высоких концентрациях агрессивных агентов.

Уплотнения из материалов «Констафтор» выпускаются по ТУ 2291-005-347246723-2008 и ТУ 2291-012-34724672-2010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков А.Ф. Арматура с шаровым затвором для гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1971.
2. Голубев А.И., Кондаков Л.А., Гордеев В.В. и др. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник. М.: Машиностроение, 1994.
3. Зерщиков К.Ю., Семенов Ю.В. и др. Полимерные уплотнения для экстремальных условий эксплуатации // Трубопроводная арматура и оборудование, 2007, № 3 (30).



9-я международная китайская выставка технологий и оборудования для нефтяной, газовой и нефтехимической промышленности - SIPPE 2014

Нефтегазовое оборудование Оффшорные технологии Транспортировка и хранение нефти в трубопроводах
Разработка месторождений нефти и химических веществ Обзор гидроразрывов с применением нефти и проппанта
Насосы, клапаны, компрессоры и оборудование для нефтяной и нефтехимической промышленности

4-6 декабря 2014 г.

Место: Shanghai New International Expo Center

- 600 VIP специалистов в сфере закупки
- 900 китайских/ зарубежных экспонентов
- 30000 профессиональных посетителей
- 40000 м² выставочная площадь

Website: www.sippe.org.cn
Tel: +86-21- 65929965 36411666
Fax: +86-21- 65282319
Email: info@aieexpo.com.cn



Hosted by



Supported by



Undertaker



Shanghai Aiepo Exhibition Service Co., Ltd
Shanghai AILing Exhibition Co., Ltd