

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

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

Чем обусловлено появление на рынке новых уплотнительных материалов? Основных побудительных мотива два: растущие технические требования к оборудованию, в котором используются уплотнения, и потребность в более экономичных вариантах исполнения уплотнений. Эти критерии стали основными при разработке нового уплотнительного материала для трубопроводной арматуры.

Поскольку «наиболее важной характеристикой уплотнений является их герметизирующая способность» [1], разрабатывая новый материал, исходили из основных теоретических положений теории герметичности. Как известно, «основным механизмом утечки в контактных уплотнениях

неподвижных соединений является течение среды через микроканалы между поверхностями уплотнителя и детали, возникающее вследствие шероховатости поверхностей и наличия дефектов, температурных и силовых деформаций» [1]. Следуя этому определению, можно заключить, что герметичность уплотнения определяется в первую очередь контактным взаимодействием сопрягаемых поверхностей, которое, в свою очередь, зависит от усилия прижатия и площади контакта, от механических свойств материала, шероховатости соприкасающихся поверхностей. Для достижения пластических деформаций, за счет которых в основном перекрываются каналы утечек, в [1] рекомендуется создать контактное давление, превышающее твердость материала НВ. Если обобщить эти факторы, то оказывается, что за комплексный показатель, определяющий герметизирующие свойства материала, можно принять твердость.

Помимо этого, в исследованиях [2, 3] определены основные характеристики материалов, влияющие на работоспособность уплотнений. Это прочность, от которой зависит воспринимаемое уплотнением давление среды, модуль упругости, величина которого определяет деформируемость под нагрузкой, ползучесть, определяющая неизменность деформации уплотнения во времени. Кроме того, материал уплотнения должен обладать низким коэффициентом трения и низким коэффициентом термического линейного расширения (КТЛР). Безусловно, важно отсутствие деградации во времени под воздействием внешней среды и температуры, которая зависит от физико-химических свойств материала.

Другим определяющим фактором выбора материала для уплотнения является, как было указано выше, его стоимость. Очевидно, что главными критериями, от которых зависит конечная стоимость уплотнения, являются стоимость сырья и технологичность процесса производства.

Как рекомендуется в [1], «для оценки показателей качества уплотнений применяют критерии сравнения». Наиболее значимые, на наш взгляд, критерии, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные свойства материалов, влияющие на эксплуатационные характеристики уплотнений

Свойство материала	Характеристики работоспособности уплотнения
Твердость	Герметичность
Стойкость к тепловому старению	Срок эксплуатации
Износостойкость	
Предел текучести при сжатии	Максимальное рабочее давление
Модуль упругости при сжатии	
Предельные рабочие температуры	Диапазон температур эксплуатации
Агрессивостойкость	Рабочие среды
Стоимость	Экономичность

В настоящее время в уплотнительной технике используется широкий спектр полимерных и композиционных материалов. Одним из основных пластиков для производства уплотнений наряду с резиной на протяжении длительного времени остается фторопласт 4 (ПТФЭ, тефлон). Это связано с уникальными характеристиками, которыми он обладает: химстойкостью, теплостойкостью, хладостойкостью, невысокой твердостью, низким коэффициентом трения. Тем не менее этот, безусловно, уникальный материал имеет известные недостатки: невысокую прочность, ограничивающую его применение при повышенных давлениях, высокую ползучесть, что не позволяет поддерживать надлежащий уровень контактных давлений без применения специальных методов, высокий коэффициент линейного расширения, низкую износостойкость. Поэтому существуют серьезные стимулы для разработки новых материалов, имеющих аналогичное сочетание свойств и невысокую стоимость, но лишенных вышеперечисленных недостатков.

Основываясь на вышеперечисленных критериях и учитывая опыт эксплуатации уплотнений из фторопласта, был разработан композиционный материал «Констафтор С». Созданию материала предшествовали обширные исследования. Так, надлежало подобрать матрицу, не уступающую по коррозионной стойкости фторопласту, но сочетающую

Аннотация:

Статья посвящена разработке новых технически эффективных, высокотехнологичных, коммерчески значимых уплотнительных материалов.

высокие прочностные свойства, сохраняющиеся при повышенных температурах. В результате проведенных исследований была подобрана смесь высокотермостойких полимеров с усиливающими и антифрикционными наполнителями.

Чтобы подтвердить высокую термостойкость материала, провели термомеханические испытания «Констафтора С». На рисунке 1 представлена кривая деформации образца при внедрении в него индентора под нагрузкой 9,6 МПа. Ход кривой показывает, что температура потери прочности материала составляет 280 °С. Это значит, что материал можно уверенно эксплуатировать при температурах до 250 °С

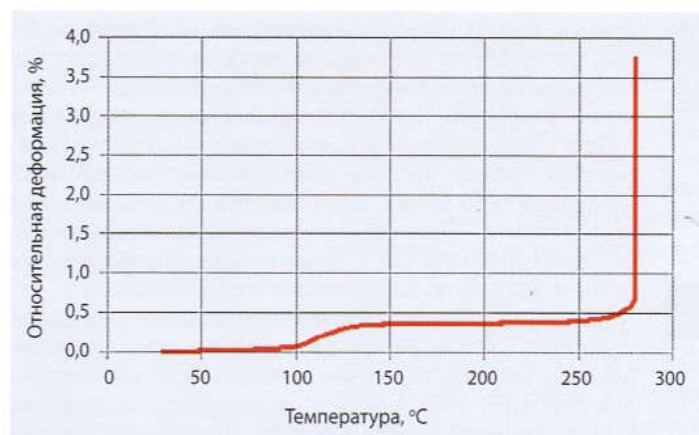


Рисунок 1 – Термомеханическая кривая «Констафтора С»

В таблице 2 приведены сравнительные характеристики фторопластов и «Констафтора С». Как видно, «Констафтор С» существенно превосходит по прочности серийно применяемые для изготовления уплотнений фторопласт 4 и его композит Ф4К20. Это значит, что его можно применять в более нагруженных узлах. Твердость «Констафтора С» выше, чем у фторопласта 4. Это значит, что для обеспечения герметичности необходимо создать более высокое контактное давление. Однако величина эта лишь немногим выше, чем требуемая для обеспечения герметичности уплотнений из фторопласта 4 или композита Ф4К20, что позволит применить его в существующих конструкциях трубопроводной арматуры без внесения конструктивных изменений. Увеличение модуля упругости и предела текучести при сжатии позволит повысить порог применимости по максимальному давлению, а высокая теплостойкость и отсутствие ползучести под нагрузкой (особенно при повышенных температурах) – длительно эксплуатировать арматуру при температуре среды до 200 °С.

Таблица 2 – Сравнительные физико-механические свойства

Свойство	Ф4	Ф4К20	Констафтор С
Предел текучести при сжатии, МПа	10–12	12–15	40–50
Модуль упругости при сжатии, МПа	350	400–450	500–600
Твердость, Шор Д	50–55	55–60	60–65
Диапазон рабочих температур, °С	-200 ÷ +250*	-100 ÷ +200	-70 ÷ +250

* Реальная температура эксплуатации составляет не более +150 °С.

Ползучесть под нагрузкой материала уплотнений является одной из причин раскрытия контакта, приводящего к потере герметичности соединения, поэтому для оценки работоспособности

материала для уплотнений этот показатель необходимо принимать в расчет. Это важно для прогнозирования длительной работы уплотнений. В таблице 3 представлены данные, характеризующие ползучесть фторопласта и «Констафтора С». При давлении 10 МПа уже через сутки во фторопластовых материалах развиваются недопустимые для нормальной эксплуатации деформации, тогда как «Констафтор С» практически не деформируется при таком давлении. Аппроксимация данных на область более высоких давлений показывает, что уплотнения из «Констафтора С» можно эксплуатировать при давлениях до 50 МПа.

Таблица 3 – Ползучесть при сжатии фторопласта и «Констафтора С»

Наименование материала	Ф4	Ф4К20	Констафтор С
Деформация под нагрузкой 10 МПа в течение 24 ч при 22 °С, %	22	10	0,1

Наряду с высокой прочностью к уплотнительным материалам, применяемым в трубопроводной арматуре, предъявляются требования по коррозионной стойкости к большому спектру агрессивных агентов. Как уже указывали ранее, одним из преимуществ фторопластовых уплотнений является уникальная химическая стойкость. Для подтверждения возможностей композиционного материала в таблице 4 представлены данные о химической стойкости материала «Констафтор С» по отношению к внешней среде. Данные таблицы показывают, что материал обладает химической стойкостью ко всем коммерчески значимым химическим агентам и мало уступает фторопласту 4.

Таблица 4 – Химическая стойкость «Констафтора С»

Вещество	Условия испытания (температура)	Показатель
Ацетон	60 °С	Стоек
Бутиловый спирт	80 °С	Стоек
Метилэтилкетон	60 °С	Стоек
Хлорид кальция	80 °С	Стоек
Соляная кислота HCl (10%)	80 °С	Стоек
Азотная кислота HNO ₃ (10%)	25 °С	Стоек
	80 °С	Не стоек
Хлорид натрия NaCl	80 °С	Стоек
NaOH (20%)	25 °С	Стоек
tMaOH (20%)	80 °С	Относительно стоек
Серная кислота H ₂ SO ₄ (10%)	80 °С	Стоек
Вода	90 °С	Стоек
Ксилол	60 °С	Стоек
Керосин	60 °С	Стоек
Метанол	60 °С	Стоек
Метилвый эфир	80 °С	Стоек
Этанол	25 °С	Стоек
Моторное масло	100 °С	Стоек

Рост применения мягких уплотнений в трубопроводной арматуре, используемой в атомной энергетике, требует оценки их радиационной стойкости. Радиационную стойкость материала определяли методом облучения γ -квантами ^{60}Co . Оценку проводили, сопоставляя ключевые характеристики, установленные ГОСТ 9.706 для материалов уплотнений, используемых в оборудовании, эксплуатирующемся на АЭС. Данный ГОСТ регламентирует основные свойства материалов, используемых при производстве уплотнений, изменение которых под воздействием радиации является существенным для сохранения герметизирующей способности. Сравнение данных, представленных в таблице 5, показывает, что «Констафтор С» обладает радиационной стойкостью как минимум до 10^8 рад, что позволяет применять его в наиболее нагруженных радиационным воздействием узлах.

Таблица 5 – Изменение характеристик материала под воздействием радиационного облучения γ -квантами ^{60}Co различными дозами (среднее 5 измерений)

Показатель	0 Мрад	10 Мрад	100 Мрад
Изменение прочности при растяжении, %	1	-5,6	+0,7
Изменение относительного удлинения при разрыве, %	1	+7	-7
Изменение плотности, %	1	0	-0,1

Для высоких параметров эксплуатации применяют материалы на основе суперконструкционных полимеров, наибольшее распространение из которых получил полиэфирэфиркетон. Однако, имея лучшие физико-механические свойства, эти материалы существенно дороже. Как видно из данных таблицы 6, «Констафтор С» занимает промежуточное положение между материалами, предназначенными для высоких параметров, и материалами для арматуры невысоких параметров. Однако за счет грамот-

ного подбора сырья по стоимости и технологичности его экономические характеристики выше и тех и других. Его показатель удельной стоимости существенно выше, что свидетельствует о его высоких технико-экономических показателях.

Основные характеристики фторопласта Ф4 и коксонаполненной композиции Ф4К20, «Констафтора С» и композита на основе полиэфирэфиркетона «Констафтор 1000», определяющие их работоспособность, измеренные на образцах, изготовленных по стандартной технологии, приведены в таблице 6.

Рассмотрение таблицы позволяет сформулировать следующие рекомендации по применению «Констафтора С». Там, где требуется интенсификация процессов за счет более высоких показателей работы оборудования – увеличение скоростей взаимного перемещения, увеличение рабочих температур, повышение долговечности и межремонтных сроков, высокое сопротивление коррозионному воздействию среды, сопротивляемость механическим воздействиям, – применение этого материала экономически целесообразно как с точки зрения потребительских свойств, так и по технологическим соображениям.

Поскольку выбор материала для уплотнения – это всегда компромисс между различными требованиями и возможностями, которые обеспечивают характеристики материала, основной упор делается на разработке материалов с определенным набором свойств для данных условий эксплуатации и оптимальной стоимостью. «Констафтор С» имеет несколько модификаций, которые отличаются по содержанию наполнителей, физико-механическим свойствам и, следовательно, по стоимости. Это разделение обусловлено необходимостью обеспечить рынок как материалами с оптимальными свойствами, так и максимально экономичными решениями. В зависимости от этого материалы подразделяются на более дешевые для уплотнений, используемых для комплектации наиболее экономичной трубопроводной арматуры, в частности шаровых кранов для системы ЖКХ, а также более дорогие и, соответственно, более прочные для ответственных узлов и более высоких температур и наконец композиты для контакта с пищевыми продуктами.

Таблица 6 – Сравнительные физико-механические свойства материалов

Материал	Предел текучести при сжатии, МПа	Модуль упругости при сжатии, МПа	Твердость, Шор Д	Коэффициент трения	КТЛР, 1/град	Деформация под давлением 10 МПа при 20 °С за 24 ч, %	Удельная прочность МПа*см ³ /кг	Ориентировочная стоимость руб/кг
Ф-4ПН	10	350	50–55	0,08–0,1	1,5*10 ⁻⁴	22	5	500
Ф4К20	12	400	55–60	0,1–0,15	0,8*10 ⁻⁴	10	6	600
Констафтор С	50	500	65–70	0,15–0,3	0,5*10 ⁻⁴	0,1	30	350
Констафтор 1000	200	4000	85	0,15–0,3	0,3*10 ⁻⁴	0	130	6000

Литература:

1. Уплотнения и уплотнительная техника, Справочник, Л. А. Кондаков, А. И. Голубев, В. В. Гордеев и др. М.; Машиностроение, 1994. – 448 с.
2. Применение композиционных материалов на основе термостойких полимеров в шаровых кранах с пробкой в опорах. Зерщиков К. Ю., Семенов Ю. В. // Арматуростроение. – 2015. – № 2 (95). – С. 53–58.
3. Материалы серии «Констафтор» для уплотнений шаровых кранов. Зерщиков К. Ю., Семенов Ю. В., Кузахметова Е. К. // Арматуростроение. – 2014. – № 4 (91). – С. 52–56.

Волгоград, сентябрь 2018 года