

Перспективные полимерные материалы для уплотнений в арматуростроении

ЗЕРЩИКОВ К. Ю., СЕМЕНОВ Ю. В., ООО «Константа-2», г. Волгоград, www.constant-2.ru

Конкурентоспособность запорно-регулирующей арматуры (ЗРА) определяется двумя факторами: стоимостью и условиями эксплуатации, главными из которых являются давление, температура и характер прокачиваемых сред. В свою очередь, возможность эксплуатации при заданных условиях обеспечивается конструктивным оформлением арматуры, технологией ее изготовления и применяемыми материалами. При выборе материалов, используемых в данном типе запорной арматуры, решающими оказываются их физико-механические и технологические свойства.



Рис. 1. Факторы, определяющие конкурентоспособность арматуры

Уплотнения являются неотъемлемой частью ЗРА и при небольшой относительной стоимости решающим образом определяют ее характеристики. Так, при анализе отказов запорной арматуры на буровых и добывающих морских платформах установлено, что 76 % из них обусловлены проблемами, связанными с уплотнениями [1], рис. 2. Таким образом, задача адекватного выбора материала для уплотнений является одной из ключевых, обеспечивающих конкурентоспособность запорно-регулирующей арматуры.

Условия эксплуатации уплотнительных элементов задаются главным образом параметрами рабочей среды.

К ним относятся: температура, давление, физико-химическая активность или агрессивность, которые могут дости-

гать экстремальных значений, что в отношении запорной арматуры означает давления свыше 40 МПа, температуры ниже -50 °С и выше 150 °С, агрессивные среды.

Наиболее часто применяемыми в настоящее время полимерными материалами для изготовления уплотнений в арматуростроении в России, да и за ее пределами являются полиуретан, полиамид, фторопласт и композиции на его основе, резины общего назначения на основе бутадиенитрильного, этиленпропиленового, силоксанового каучуков и фторкаучука. Ввиду того, что эти материалы уже не полностью удовлетворяют возросшим требованиям по прочности, тепло- и холодостойкости, химической стойкости, в последнее время нашли применение сравнительно новые материалы: полиэфирэфиркетон, полифениленсульфид,

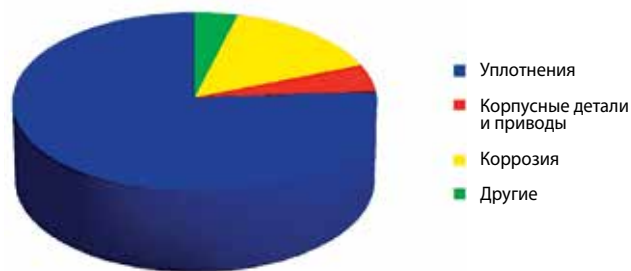


Рис. 2. Анализ отказов ЗРА на погружных платформах

Табл. 1. Преимущества и недостатки используемых и новых материалов.

Применяемые материалы			Рекомендуемые материалы		
материал	преимущества	недостатки	материал	преимущества	недостатки
Фторопласт	Высокая химстойкость, теплостойкость, низкий коэффициент трения	Высокая ползучесть и КТЛР	Наполненный фторопласт	Низкий КТЛР, повышенная износостойкость	Ползучесть и недостаточная прочность при высоких температурах
Полиамид	Высокая прочность, износостойкость	Высокое водопоглощение, низкая химстойкость, холодостойкость	Полифениленсульфид	Высокая прочность и химстойкость, холодостойкость	Низкая ударная прочность
Полиуретан	Высокая износостойкость и уплотняющая способность	Низкая тепло- и химстойкость	Полиэфирэфиркетон	Высокая прочность и теплостойкость, износостойкость	Низкая ударная прочность

полиоксиметилен, термопластичные эластомеры, резины на основе каучуков специального назначения: гидрированного бутадиенинитрильного, фторсилоксанового, эпихлоргидринового, акрилатного. Некоторые сравнительные характеристики полимерных материалов представлены в табл. 1.

Материалы, используемые для изготовления уплотнений, характеризуются комплексом физико-механических, теплофизических и триботехнических характеристик. Однако, чтобы определить, какие из них следует оценивать для адекватного выбора материала, необходимо также знать силы и характер деформации, воздействующие на уплотнение в процессе эксплуатации. Их находят из анализа построенной расчетной схемы. На основе оценки напряженно-деформированного состояния определяют физико-механические характеристики материала, по которым следует проводить его выбор (схема на рис. 3). Анализируя характер среды, а

кислот и щелочей, нефтепродуктов и растворителей, к метанолу и сероводороду, стойкость к гидролизу — сохранение физико-механических свойств после длительной экспозиции в горячей воде и перегретом водяном паре. Наличие такой линейки позволяет выбирать из области характеристик материал, отвечающий условиям нагружения и эксплуатации, с любым комплексом свойств.

Поскольку условия эксплуатации ЗРА изменяются в направлении увеличения давлений и температур, интересно рассмотреть прочностные характеристики и показатели теплостойкости. Предел текучести (прочности) при сжатии является одной из ключевых прочностных характеристик, так как наилучшим образом соответствует усилиям, действующим в уплотнениях. Как видно из рис. 4, материалы серии «Констафтор» обладают на порядок более высокой прочностью по сравнению с фторопластом,

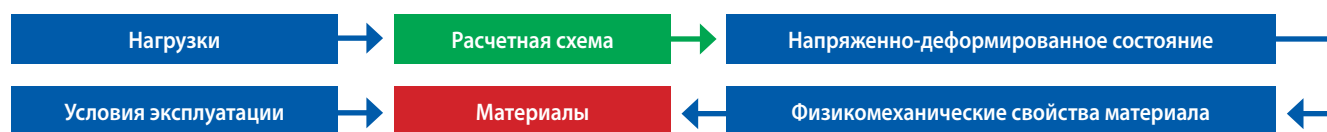


Рис. 3. Алгоритм выбора материала для уплотнения

для подвижных уплотнений и параметры взаимного перемещения, вводят дополнительные критерии для выбора материала. Реализация такого алгоритма представляется обоснованной при разработке новых материалов — акцент делается не столько на разработке материала, имеющего более высокие свойства, например прочность, сколько материала с определенным набором свойств для данных условий эксплуатации и нагрузок.

На базе представленных выше положений разработана линейка композиционных материалов на основе термостойких полимеров: фторопласта, полифениленсульфида, полиоксиметилена, полиэфирэфиркетона, сверхвысокомолекулярного полиэтилена под брендом «Констафтор» (табл. 2), превосходящих по комплексу своих свойств применяемые сейчас. Варьирование состава и количества вводимых в полимерную матрицу наполнителей позволяет получать материалы с уникальным комплексом свойств: предел текучести (прочности) при сжатии — от 40 до 250 МПа, предел текучести (прочности) при растяжении — от 20 до 200 МПа, модуль упругости при сжатии — от 300 до 6000 МПа, модуль упругости при растяжении — от 200 до 8000 МПа, твердость по Шор Д — 50—90 ед., коэффициент линейного расширения — не более 4×10^{-5} 1/град, коэффициент сухого трения скольжения — 0,1—0,15, водопоглощение — менее 0,1 %, скорость относительного перемещения для подвижных уплотнений до 5 м/сек. Материалы отличаются высокой стойкостью в растворах

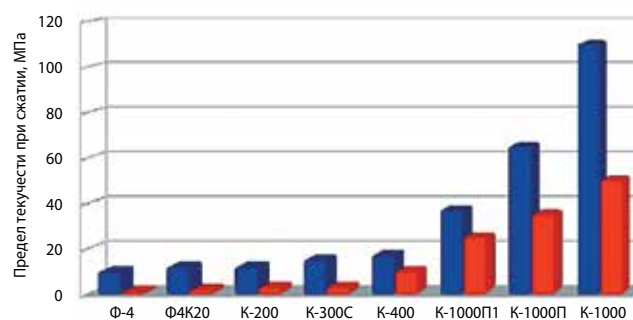


Рис. 4. Предел текучести (прочности) при сжатии композитов серии «Констафтор» при 25 °C и 150 °C

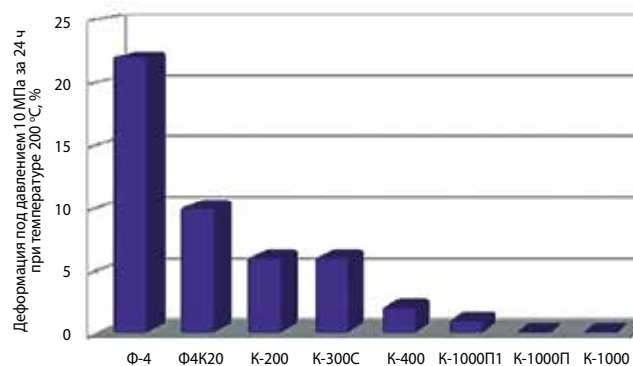


Рис. 5. Теплостойкость композитов «Констафтор»

Табл. 2. Краткая характеристика материалов серии «Констафтор»

Материал	Характеристика
Констафтор 200 (К-200)	Композиция фторопласта с углерод-керамическим наполнителем с высокой прочностью и жесткостью
Констафтор 300С (К-300С)	Композиция фторопласта с модифицированным волокнистым наполнителем с высокими антифрикционными свойствами
Констафтор 400 (К-400)	Композиция фторопласта с высоким содержанием наполнителей с низкой ползучестью и повышенной теплостойкостью
Констафтор 1000П, 1000П1 (К-1000П, К-1000П1)	Композиции полифениленсульфида с усиливающими и антифрикционными наполнителями, обладающие высокими уплотняющими свойствами
Констафтор 1000 (К-1000)	Композиция полиэфирэфиркетона с антифрикционными и усиливающими наполнителями для высоконагруженных уплотнений, эксплуатирующихся при высоких температурах в высокоабразивных средах

следовательно, можно получить более высокие характеристики ЗРА, применяя данные материалы. На рис. 5 представлены данные, отражающие теплостойкость материалов, оцениваемую по деформации при внедрении индентора под давлением 10 МПа в образец материала, нагретый до 200 °С в течение 24 часов. Видно, что материалы обладают в несколько раз более высокой теплостойкостью по отношению к фторопласту, а образцы из «К-1000П» и «К-1000» практически не деформируются при этой температуре, поэтому уплотнения из них можно эксплуатировать при температуре до + 200 °С.

В условиях продвижения добычи и транспортировки углеводородов на север, а также развития рынка сжиженного природного газа разработка арматуры, работоспособной при низких и криогенных температурах, особенно актуальна. Следовательно, актуально исследование свойств материалов и их изменения при низких температурах. Так, известные трудности в обеспечении герметичности шаровых кранов при низких температурах, на наш взгляд, объясняются ростом твердости и изменением линейных размеров уплотнения из-за разницы в коэффициентах линейного расширения пластмассы и металла. Следовательно, возникает задача согласования теплового расширения под действием повышенных температур или сжатия при пониженных температурах уплотнения и места его установки. Основным способом решения является максимально возможное сближение значений коэффициента линейного расширения полимерного композита и стали. На рис. 6 представлены КТЛР материалов «Констафтор» в сравнении со сталью и фторопластом. Как видно, некоторые материалы обладают близким к стали коэффициентом, что особенно важно при работе в условиях пониженных температур.

Поскольку наблюдается повышение твердости с понижением температуры (рис. 7), для сохранения герметичности на заданном уровне, видимо, необходимо повышать контактное давление в уплотнении. В то же время снижение твердости разработанных композиционных материалов с ростом температуры происходит не так интенсивно, что коррелирует с данными по теплостойкости и должно положительно отразиться на работоспособности при повышенных температурах.

Поскольку трибологические характеристики уплотняющих материалов оказывают существенное влияние на экономические показатели ЗРА, так как определяют мощность применяемых приводов, представляет интерес исследование коэффициентов трения разработанных композитов. Как видно на рис. 8, коэффициенты трения материалов выше, чем у фторопласта, однако абсолютная величина, не превышающая 0,15, является вполне приемлемой.

Высокие прочностные и трибологические показатели, а также коррозионная стойкость композитов «Констафтор» позволяют рассматривать их в качестве замены традиционно применяемой в узлах ЗРА бронзы, при этом обеспечивая высокие технико-экономические показатели

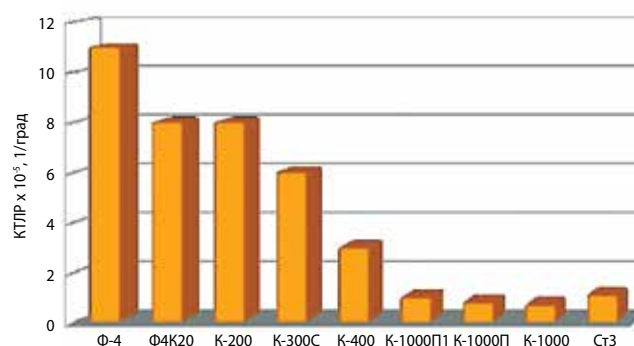


Рис. 6. Средние значения коэффициентов линейного расширения материалов в интервале температур -70 — +200 °С

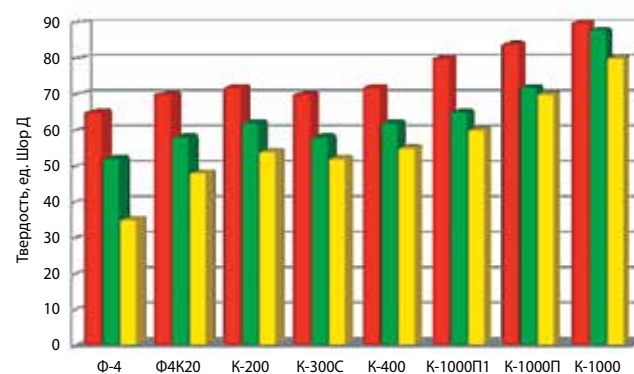


Рис. 7. Твердость материалов серии «Констафтор» при различных температурах: -70 °С; +25 °С; +200 °С

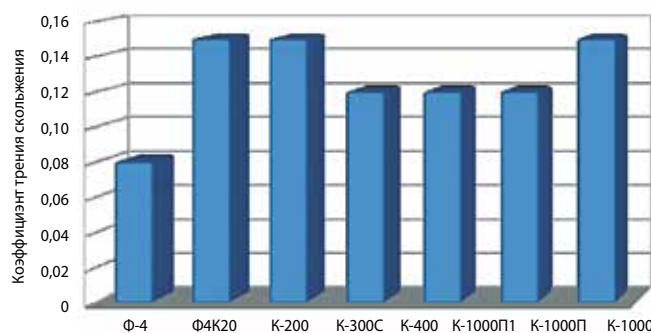


Рис. 8. Коэффициенты трения по стали марки 08X18N10T при скорости скольжения 10 мм/мин материалов серии «Констафтор»

арматуры. В таблице 3 представлены сравнительные свойства бронзы и композита на основе полиэфирэфиркетона «Констафтор 1000».

В силу своей уникальной эластичности резиновые уплотнители остаются наиболее массовым типом уплотнений.

Табл. 3. Сравнительные свойства бронзы и «Констафтора 1000»

Материал	Прочность при 25 °С, МПа	Прочность при 150 °С, МПа	Кoeffициент сухого трения скольжения	Износостойкость	КТЛР, 1/град	Стойкость в агрессивных средах
Бронза	180	100	0,3	Плохая	1,7 x 10 ⁻⁵	Ограниченная
Констафтор 1000	200	120	0,18	Отличная	2 x 10 ⁻⁵	Отличная

Табл. 4. Преимущества и недостатки резин общего и специального назначения

Применяемые материалы			Рекомендуемые материалы		
материал	преимущества	недостатки	материал	преимущества	недостатки
Бутадиен-нитрильный	Стойкость в углеводородах	Низкая теплостойкость до +100 °С	Гидрированный БНК	Стойкость в углеводородах и воде, хладостойкость	Высокая твердость
Фторкаучук	Высокая теплостойкость до +250 °С и химстойкость	Низкая хладостойкость до -30 °С	Фторсилоксановый каучук	Высокая теплостойкость до +250 °С и хладостойкость до -60 °С	Низкая прочность
Этилен-пропиленовый каучук	Высокая прочность до 18 МПа и стойкость к гидролизу	Низкая стойкость в углеводородах	Эпихлоргидриновый каучук	Высокая хладостойкость до -60 °С и прочность до 10 МПа	Низкая теплостойкость до +140 °С
Силоксановый каучук	Высокая теплостойкость до +350 °С и хладостойкость до -70 °С	Низкая прочность и химстойкость	Акрилатный каучук	Теплостойкость до +170 °С	Низкая прочность и хладостойкость до -40 °С

Однако, как было отмечено выше, возросшие параметры эксплуатации обуславливают необходимость повышения физико-механических и теплофизических характеристик применяемых эластомеров. В табл. 4 отражены характерные параметры применения резин на основе каучуков специального назначения в сравнении с традиционно применяемыми. Видно, что их использование позволяет расширить диапазон условий эксплуатации, но в то же время не является универсальным решением и подчас не позволяет подобрать материал, удовлетворяющий нескольким условиям одновременно.

Оптимальным для решения комплексной задачи по обеспечению теплостойкости уплотнения в сочетании с морозостойкостью и химической стойкостью при достаточном уровне упруго-эластических свойств является применение резиновых колец во фторопластовой оболочке [2]. За прошедшее время нам удалось создать отечественную технологию серийного производства РФК, существенно улучшив качество, обеспечив воспроизводимость свойств, поняв пределы их применимости. И хотя их стоимость пока еще выше колец из традиционно применяемых резиновых смесей, но для специфических условий эксплуатации им нет альтернативы. В таблице 5 представлены сравнительные данные по РФК и уплотнениям из фторкаучука.

Таким образом, основываясь на условиях работы уплотнений и их напряженно-деформированном состоянии, мы можем осознанно подбирать наиболее подходящие для данных условий эксплуатации материалы из линейки разработанных. Следовательно, существует возможность увеличения параметров работы оборудования, а значит, конкурентоспособности ЗРА без существенных дополнительных затрат, заменив уплотнения и проверив работоспособность уплотнительного узла.

Безусловно, проведенные исследования не претендуют на исчерпывающее описание процесса выбора материала для уплотнения, поскольку невозможно свести к одной схеме все конструктивные особенности арматуры и условия эксплуатации, однако в первом приближении они представляются актуальными и позволят сократить время принятия решения.

Как отмечается в [3], для количественной оценки параметров уплотнений основным источником являются экспериментальные данные, то есть окончательный вывод о рабочих характеристиках уплотнения может дать только эксперимент, причем в условиях, максимально приближенных к рабочим. Поэтому крайне важно для подтверждения выводов проведение испытаний материалов в составе изделий, а для этого необходимо тесное взаимодействие разработчиков материалов с производителями запорной арматуры.

Табл. 5. Сравнительные характеристики РФК и резины на основе фторкаучука Viton

Материал уплотнения	Морозостойкость, °С	Теплостойкость, °С	Стойкость к декомпрессии	Остаточная деформация сжатия, %	Стойкость в агрессивных средах	Твердость, Шор А
Резина на основе фторкаучука (Viton)	-25	+250	Не стоек	20—30	Не стоек в растворах щелочей, растворителей	60—80
Резина во фторопластовой оболочке	-150	+250	Стойк	Не более 20	Стойк во всех средах	80—90

Литература:

- Enhancing valve reliability in offshore facilities. B. Narasimhan, V. Ramakrishnan/ Valve World v.19, issue 6, 2014, p. 96—99.
- Зерщиков К. Ю., Семенов Ю. В. Влияние конструктивно-технологических параметров на герметизирующую способность резино-фторопластовых колец в уплотнении. Арматуростроение 2014. № 1, 55—58 с.
- Голубев А. И., Кондаков Л. А., Гордеев В. В. и др. Уплотнения и уплотнительная техника, Справочник, М., Машиностроение, 1994.