

УДК 620.178.162:621.65:678

В.А. Красный, к.т.н., доц., **В.В. Максаров**, д.т.н., проф., Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург

Повышение износостойкости уплотнений из полимерных композитных материалов в узлах трения скважинных нефтяных насосов

Рассмотрено применение полимерных композиционных материалов в узлах трения скважинных нефтяных насосов. Показано, что значительное влияние на износостойкость пары трения, работающей в среде сырой нефти, оказывает не только состав композита, но и расположение армирующих волокон. Наилучшие результаты получены для образца из полиамида, армированного на 50% высокомолекулярными синтетическими волокнами, уложенными перпендикулярно поверхности трения.

***Ключевые слова:** скважинный нефтяной насос, полимерные композитные материалы, полиамид, пятно износа, армирование волокнами.*

V.A. Krasnyy, V.V. Maksarov

Increased Wear of the Seals of Polymer Composite Materials in the Friction Nodes Downhole Oil Pumps

The paper considers the application of polymer composite materials in friction units of downhole oil pumps. It is shown that a significant influence on the wear resistance of the friction pair, working in the environment of crude oil, has not only the composition of the composite, but also the arrangement of the reinforcing fibers. The best results were obtained for a sample of polyamide reinforced with 50% of high molecular weight synthetic fibers, laid perpendicular to the friction surface.

***Keywords:** downhole oil pump, polymer composite materials, polyamide, stain wear, the reinforcement fibers.*

Постоянный рост глубин скважин и степени извлечения нефти из пластов ставит задачу нового современного нефтедобывающего оборудования и применения новых прогрессивных материалов. Одной из проблем при этом является поиск новых уплотняющих материалов для погружных скважинных насосов, обладающих высокой износостойкостью

в специфических условиях больших глубин добычи и контакте с сырой нефтью.

Этапы извлечения нефти, сбора и подготовки нефти на промыслах оснащены сложным оборудованием, предназначенным для осуществления разнообразных процессов – нагрева, охлаждения, конденсации, сепарации, перекачки, компримирования, фильтрации и ряда других операций с нефтью [1].

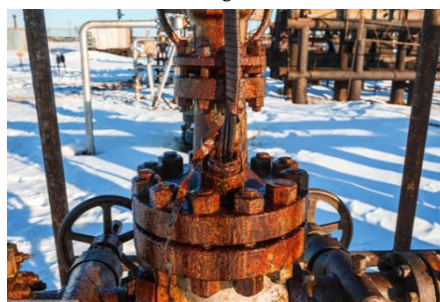
Эффективность эксплуатации производственного оборудования, в частности, оборудования буровых скважин – штанговых глубинных насосов, центробежных, погружных электронасосов и др. (рис. 1а, б, в), во многом зависит от надёжности и долговечности работы его уплотнительных устройств. Условия работы уплотнений по давлению, температуре, смазывающей способности и химической активности уплотняемой среды, по скорости вращения валов весьма разнообразны. В связи с широким применением уплотнительных устройств в оборудовании нефтедобычи возникла необходимость в изыскании наиболее эффективных схем и материалов уплотнений, которые обладают высокой герметичностью и износостойкостью и требуют минимального обслуживания в эксплуатации.



а



б



в

Рис. 1. Типы нефтяных скважинных насосов

Одним из основных показателей качества работы уплотнений являются утечки рабочей среды, долговечность и расход мощности на трение в уплотнении. Несовершенство уплотнительных устройств приводит к преждевременному выходу из строя оборудования, нарушению технологического процесса, потерям рабочей среды, повышенному

расходу энергии на преодоление сил трения в уплотнении и нарушению санитарно-гигиенических условий работы обслуживающего персонала.

Центробежные насосы для откачки жидкости из скважины принципиально не отличаются от обычных центробежных насосов, используемых для перекачки жидкостей на поверхности земли. Однако малые радиальные размеры, обусловленные диаметром обсадных колонн, в которые спускаются центробежные насосы, практически неограниченные осевые размеры, необходимость преодоления высоких напоров и работа насоса в погруженном состоянии привели к созданию центробежных насосных агрегатов специфического конструктивного исполнения. Внешне они ничем не отличаются от трубы, но внутренняя полость такой трубы содержит большое число сложных деталей, требующих совершенной технологии изготовления [2].

Известные широкопроходные клапаны плунжерных насосов в процессе их внедрения в практику добычи нефти во многих регионах показали положительные результаты. При их применении, как правило, коэффициент наполнения насоса возрастает. Однако в условиях сероводородной агрессии резиновое уплотнительное кольцо быстро выходит из строя. Поэтому ресурс клапана, а, следовательно, межремонтный период насосной установки, не всегда возрастает.

Следует отдавать предпочтение тем конструкциям, которые работают при минимальном обслуживании и обладают высокой герметичностью и износостойкостью. В этом отношении манжетные уплотнения обладают рядом преимуществ. К ним можно отнести – малые габариты, лёгкость монтажа и замены, высокая герметичность и невысокая стоимость. Однако эффективность и долговечность манжетного уплотнения в значительной степени определяется материалом уплотнительного элемента, который в основном изготавливается из различных марок резин. Герметичность манжетными уплотнениями создаётся за счёт трения между уплотняющей кромкой манжеты и поверхностью вала. Нормальная работа манжетного уплотнения возможна только тогда, когда на поверхности трения имеется тонкая плёнка уплотняемой жидкости (благодаря капиллярным силам), которая сводит к минимуму вредные эффекты трения, тепловыделения и износа. Но в процессе эксплуатации возможны режимы сухого и абразивного трения, где резина обладает низкой работоспособностью, так как резко возрастает её износ. Это является существенным недостатком особенно в условиях эксплуатации оборудования применительно к условиям нефтедобычи.

На рис. 2 а, б, показаны типовые конструкции уплотнений, применяемых в плунжерных нефтяных насосах.



а



б

Рис. 2. Типовая конструкция уплотнения (а) и виды манжетных уплотнений (б) скважинных погружных насосов

Возникает необходимость к поискам новых видов материалов, которые обладают хорошими антифрикционными свойствами в условиях работы без смазки и в абразивной среде. К ним необходимо предъявить и технологические требования по переработке в изделия (способность к формованию методом литья под давлением). К таким материалам относятся полимерные композиты.

Арматурой в волокнистых полимерных КМ могут быть волокна различной формы: нити, ленты, сетки разного плетения. Армирование волокнистых КМ может осуществляться по одноосной, двухосной и трехосной схеме. Прочность и жесткость таких материалов определяется свойствами армирующих волокон, воспринимающих основную нагрузку. Существенное влияние на свойства оказывает также направление армирования композитов (хаотически, продольно или перпендикулярно направленным)

[3]. Испытаниям подвергались хаотически и направленно армированные композиты на основе ряда полимеров: полиамид (ПА), полисульфон (ПСК-1), полиэтилен (ПЭНД), полиэтилентерефтолат (ПЭТФ). В качестве сравнительного материала использовалась бронза ОФ 10-10. Наполнителями полимеров служили дисперсный графит ГЛ-1, углеродное волокно «Углен» (УВ), диспергированное (1 мм) волокно «Углен» (ДУВ), высокомодульные синтетические волокна (СВМ) [4].

Образцы материалов испытывались в виде цилиндров $\varnothing 10$ мм в паре с роликом $\varnothing 40$ мм из закаленной стали 40Х с твердостью НРС 42...45 обработанным полированием до $Ra = 0,15$ мкм. Испытания производились на экспериментальной установке, смонтированной на базе асинхронного двигателя 1ФАЗ с частотой вращения вала 2730 об/мин, с нагружающим устройством в среде сырой нефти. При этом для экспрессных испытаний была выбрана нагрузка на контакте образца 20 Н, а схема испытаний соответствовала классической схеме двух скрещенных цилиндров.

За критерий износа при испытаниях образцов с не постоянной геометрией контакта принималась площадь пятна износа, образовавшаяся на образце через заданное время испытаний (60 мин). При этом очевидно, что наилучший во фрикционном отношении материал должен иметь наименьшую площадь пятна износа при прочих равных условиях испытаний. Время испытания выбиралось с точки зрения возможности достижения такой площади пятна износа, которая могла быть с достаточной точностью измерена с помощью оптического инструментального микроскопа с ценой деления 0,01 мм.

При данной схеме трения в процессе изнашивания на неподвижном образце композита образуется канавка износа. Длина канавки по направлению скольжения равна a , ширина в перпендикулярном направлении – b и высота в центре канавки – h . Воспользовавшись данными работ [5, 6] для расчета объема и площади пятна износа прямоугольной в плане формы при условии несоосного контакта двух цилиндров можно приближенно рассчитать площадь сегмента по формуле

$$S = \frac{a^3}{6D} = \frac{2}{3} ah,$$

а объемный износ цилиндрического образца по ширине канавки износа

$$V = \frac{a^3 b}{3D}.$$

Для сравнительной оценки пятна износа принимались прямоугольной в плане формы, однако для более точных расчетов в указанных работах предложены расчетные формулы для трапециевидной и треугольной формы пятен износа.

Состав исследованных композитов, а также вид армирования представлены в таблице 1, а результаты экспрессных испытаний в виде сравнительной гистограммы по площади пятен износа на рис. 3.

Образец полисульфона без наполнителя (4) не выдержал испытаний и разрушился через 15 мин. Его наполнение СВМ снижает износ, однако при больших наполнениях он вновь увеличивается (5-7). Для ПЭТФ также в среднем диапазоне наполнение снижает износ образца (2, 3).

Наиболее интересные результаты получены с образцами из полиамида, который и без наполнителя (8) показывал наилучшие фрикционные свойства из серии исследованных полимеров. Хаотическое армирование СВМ до 40% (10-11) незначительно ухудшает износостойкость полиамида, так же как и такое же количество диспергированного углеволокна. В то же время введение разрыхляющего структуру графита, несмотря на его смазывающую способность, значительно ухудшает свойства композита (9).

Состав исследованных композитов

№ п/п	Состав композита		Вид армирования
	матрица	армирование композита	
1	Бронза ОФ 10-10	-	-
2	ПЭТФ	-	-
3	ПЭТФ	30% СВМ	Хаотически
4	ПСК	-	-
5	ПСК	30% СВМ	Хаотически
6	ПСК	50% СВМ	Перпендикулярно
7	ПСК	50% СВМ	Продольно
8	ПА	-	-
9	ПА	30% ГЛ-1	Хаотически
10	ПА	20% СВМ	Хаотически
11	ПА	35% СВМ	Хаотически
12	ПА	49% СВМ	Хаотически
13	ПА	30% ДУВ	Хаотически
14	ПА	50% УВ	Перпендикулярно
15	ПА	50% УВ	Продольно
16	ПА	50% СВМ	Перпендикулярно
17	ПЭНД	40% УВ	Хаотически
18	ПЭНД	40% УВ	Перпендикулярно
19	ПЭНД	40% УВ	Продольно



Рис. 3. Сравнительные результаты экспрессной оценки износостойкости композитов

Анализируя влияние способа армирования композита на его износостойкость, видно, что для композитов с матрицами из ПСК и ПА износостойкость выше при трении композита перпендикулярно армирующим волокнам. Очевидно, это связано с тем, что при перпендикулярном к волокнам направлении трения, отношение площади

трения к площади волокна, контактирующего с матрицей, существенно меньше единицы, а при параллельном – близко к единице. В то же время для композитов со слабой адгезией волокна к матрице и меньшей прочностью самой матрицы этот параметр не имеет существенного значения (ПЭНД с углеродным волокном). Такой механизм изнашивания направленно армированных композитов позволяет предположить, что замена хаотически армированных композитов из ПА и СВМ на перпендикулярно армированные, позволит получить материал, перспективный для поставленной в работе цели. Образец материала, содержащего 50% волокон СВМ, уложенных перпендикулярно поверхности трения, показал износостойкость в 3,5 раза превышающую износостойкость полиамида (16).

Таким образом, для применения в качестве уплотняющих материалов в узлах механизмов, работающих в контакте с сырой нефтью, целесообразно использование материалов на основе полиамида, армированного волокнами СВМ в направлении перпендикулярном к поверхности трения.

Список литературы

1. **Алиев Б.М.**, Машины и механизмы для добычи нефти: - М.: Недра, 1989. – 232 с.
2. **Ивановский В.Н.**, Скважинные насосные установки для добычи нефти. Учебное пособие / В.Н. Ивановский, В.И. Дарищев, А.А. Сабиров, В.С. Каштанов, С.С. Пекин — М.: ГУП Изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. — 824 с.
3. **Кербер М. Л.**, Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии. — СПб.: Профессия, 2008. — 560 с.
4. **Метелкин В.И.**, Выбор перспективных материалов для работы в узлах трения скважинных насосов в среде сырой нефти / В.И. Метелкин, В.А. Красный, А.В. Савицкий – В сб. Проблемы износостойкости и надежности машин. Ч.2. – Спб., 1992, с.67-70.
5. **Козырев Ю.П.**, Определение характеристик изнашивания при линейном начальном контакте цилиндрических контртел / Ю.П. Козырев, Б.М. Гинзбург, Н.Д. Приемский, Д.Г. Точильников, В.П. Булатов – Трение и износ, 1993, т. 14, №4, с. 759-764.
6. **Булатов В.П.**, Влияние режимов вакуумно-дугового напыления на износостойкость карбидо-титановых покрытий / В.П. Булатов, Б.М. Гинзбург, Ю.П. Козырев, В.А. Красный, В.Г. Кузнецов, Е.Б. Седакова – Трение и износ, т.15, № 6, с. 1009-1013.