

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Фторкаучуки занимают лидирующее положение в семействе специальных эластомеров благодаря своей уникальной совокупности свойств. Они демонстрируют исключительную стойкость к действию высоких температур (до 200–250 °С), масел, топлив, агрессивных химических реагентов и озона. Благодаря этому они нашли широкое применение в критически важных отраслях, таких как аэрокосмическая, автомобильная и химическая промышленность, где используются для изготовления уплотнений, шлангов, манжет и защитных оболочек.

Однако постоянное ужесточение эксплуатационных требований, в частности, необходимость работы в условиях повышенных термических нагрузок (около 300 °С) и в присутствии открытого пламени, выявило и ограничения стандартных марок фторкаучуков. К ним относятся склонность к термоокислительной деструкции при температурах свыше 250 °С, горючесть, а также образование токсичных продуктов разложения. Для преодоления этих недостатков перспективным направлением является модификация эластомерных композиций добавками, способными повысить термическую стабильность и придать материалу огнезащитные свойства. Одним из наиболее эффективных классов таких модификаторов являются металлосодержащие соединения, в частности, ферроцен, который подобно фуллерену создал целый класс новых производных соединений, обладающих уникальными свойствами [1].

Ферроцен (дициклопентадиенилжелезо, $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) представляет собой так называемое «сэндвичевое» металлоорганическое соединение, в котором атом железа расположен между двумя ароматическими циклопентадиенильными лигандами (рис.). Благодаря своей структуре ферроцен обладает рядом ценных для модификации полимеров свойств [2]:

1. Термическая стабильность. Он устойчив до температур около 400 °С, что позволяет ему функционировать в условиях высокотемпературной эксплуатации изделий на основе фторкаучуков.

2. Окислительно-восстановительная активность. Способность к обратимым реакциям окисления и восстановления лежит в основе его антиоксидантного действия.

3. Способность к миграции. Молекулы ферроцена способны перемещаться в объеме полимера к поверхности, что является ключевым для механизма его действия, поскольку зачастую источник окисления полимера находится на поверхности изделия.

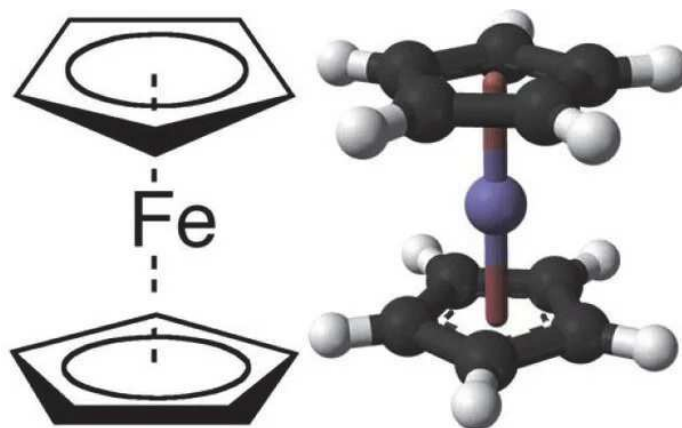


Рисунок – Структурная формула ферроцена

Для проверки теоретических предпосылок, в данной работе, нами были проведены механические испытания образцов эластомерных композиций на основе фторкаучука без добавки (FKM) и содержащих ферроцен в количестве 1,0 и 5,0 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука (обозначение FKMF1 и FKMF5 соответственно). Для вулканизации использовалась перекисная система. Полученные результаты, представленные в таблице и наглядно демонстрируют комплексное влияние металлоорганического соединения на прочностные свойства исследуемых композиций.

Таблица – Прочностные свойства эластомерных композиций

Наименование показателя	FKM	FKMF1	FKMF5
Условная прочность при растяжении, МПа	4,6	4,8	5,1
Относительное удлинение при разрыве, %	496	444	380
Напряжение при удлинении 100%, Н	9,0	9,2	11,1
Напряжение при удлинении 300%, Н	13,4	19,6	28,3

Анализ полученных данных показал, что введение ферроцена в количестве 1,0 и 5,0 масс. ч. оказало значительное влияние на прочностные и деформационные характеристики фторкаучуковой композиции. Так, наблюдается умеренный рост условной прочности при растяжении: с 4,6 МПа для образца сравнения до 4,8 МПа и 5,1 МПа, при содержании ферроцена 1,0 и 5,0 масс. ч. соответственно. Это указывает на некоторое упрочнение матрицы, вероятно, связанному со взаимодействием высокодисперсных частиц ферроцена и макромолекул полимера. Это предположение подтверждается при рассмотрении изменения модуля упругости (жёсткости материала), что видно по росту напряжений при заданных деформациях. Напряжение при 100% удлинении увеличилось на 2% для FKMF1 и значительно – на 23% для FKMF5 (с 9,0 до 11,1 МПа). Напряжение при 300% удлинении возросло ещё заметнее: на 46% для FKMF1 и на 111% для FKMF5 (с 13,4 до 28,3 МПа). При этом, установлено значительное снижение относительного удлинения при разрыве по мере увеличения содержания ферроцена: с 496% (FKM) до 444% (FKMF1) и далее до 380% (FKMF5).

Таким образом, добавка ферроцена действует как активный модификатор, приводящий к формированию более жёсткой и прочной, но менее эластичной композиции. Эффект проявляется сильнее с увеличением содержания ферроцена с 1,0 до 5,0 масс. ч. Полученные данные согласуются с моделью, в которой частицы ферроцена выступают в роли функциональных частиц, ограничивающих подвижность полимерных цепей фторкаучука, что и приводит к повышению модуля упругости и прочности. Данные исследования будут продолжены с целью установления влияния ферроцена на термическую стойкость и стойкость к действию агрессивных сред эластомерных композиций на основе фторкаучука.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антуфьева А. Д., Кабелицкая Ю. М., Шкляева Е. В., Абашев Г. Г. Ферроцен-содержащие соединения для химии материалов I. Ферроцен-содержащие полимеры // Вестник ПГУ. Химия. 2013. №4 (12). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ferrotsen-soderzhaschie-soedineniya-dlya-himii-materialov-i-ferrotsen-soderzhaschie-polimery> (дата обращения: 05.11.2025).
2. Несмеянов А. Н., Кочеткова Н.С. Основные направления практического использования ферроцена и его производных // Успехи химии. – 1974. Т. – XLIII. В. – №9. – С. 1513–1523.