

## Реологические свойства магнитоактивных эластомеров на основе смеси мелких и крупных магнитных частиц

**Сорокин Владислав Валерьевич**

Студент 5-го курса

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
Физический факультет, Москва, Россия

E-mail: [v\\_sorokin@polly.phys.msu.ru](mailto:v_sorokin@polly.phys.msu.ru)

Магнитоактивный эластомер представляет собой композитный материал, состоящий из полимерной сетки (матрицы) с внедренными в нее магнитными частицами (наполнитель). Магнитоактивные эластомеры относятся к так называемым «умным» материалам – классу материалов, свойства которых могут обратимо изменяться под действием внешних воздействий. В частности, магнитоактивные эластомеры могут значительно изменять свои реологические, акустические, резистивные, диэлектрические свойства при помещении в магнитное поле небольшой индукции ( $0 - 1$  Тл).

В данной работе были исследованы реологические свойства магнитоактивных эластомеров на основе силиконовой матрицы, наполненные смесью мелких и крупных магнитных частиц карбонильного железа. Мелкие частицы имеют диаметр  $3 - 5$  мкм, крупные частицы –  $50 - 60$  мкм. Всего было синтезировано 5 образцов, которые имеют одинаковую суммарную массовую долю наполнителя ( $83 - 84$  %), но различаются долей крупных частиц в наполнителе ( $0$  %,  $25$  %,  $52$  %,  $64$  %,  $82$  % крупных частиц).

Реологические измерения были выполнены с использованием реометра *Physica MCR 301* («Anton Paar», Австрия) с измерительной системой «плоскость-плоскость» и магнитной ячейкой, позволяющей создавать однородное магнитное поле в плоскости, перпендикулярной плоскости образца.

Исследованы вязкоупругие свойства материала в различных режимах работы реометра. На первом этапе были получены начальные значения модуля накопления  $G'$  и модуля потерь  $G''$  для всех образцов без внешнего поля. Частота и амплитуда осцилляций поддерживались постоянными и равными, соответственно,  $1.6$  Гц и  $0.01$  %. Начальные модули накопления и модули потерь всех образцов совпадают по порядку величины.

Вторым этапом было исследование динамического модуля в зависимости от величины приложенного магнитного поля. В зависимости от состава наполнителя абсолютный прирост  $G'$  в максимальном поле может меняться от  $2.8$  до  $4.7$  МПа, относительное увеличение  $G'$  – от  $65$  до  $140$ .

Далее были исследованы магнито-реологические свойства при циклическом увеличении/уменьшении амплитуды деформации при различных значениях постоянного магнитного поля. После первого цикла значения модулей существенно возрастают, последующие циклы слабо влияют на их величину. При циклической нагрузке материал демонстрирует значительный гистерезис всех реологических свойств.

Для каждого образца с некоторого значения поля наблюдается аномально большой рост коэффициента потерь  $\tan\delta = G''/G'$ , который превышает единицу при амплитудах  $0.1 - 10$  %. Это свидетельствует о доминировании вязкой части динамического модуля над упругой, что характерно для жидкостей, а не эластомеров.

Наблюдаемое явление может быть связано с проскальзыванием образца, разрывом полимерной сетки. Сравнение фотографий поверхности образцов подтверждает износ поверхностного слоя материала после циклических нагрузок. Однако, свойства материала остаются стабильными при амплитудах деформации меньше  $1$  %, что важно для его практического применения.