

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИАКРИЛАМИДНОГО ФЕРРОГЕЛЯ ОТ СОДЕРЖАНИЯ МАГНИТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Бугаёва А.В.<sup>1,2</sup>, Шкляр Т.Ф.<sup>1,2</sup>

<sup>1)</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2)</sup> Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия  
E-mail: [bantonina1998@mail.ru](mailto:bantonina1998@mail.ru)

## INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYACRYLAMIDE FERROGEL ON THE MAGNETIC FILLER CONTENT

Bugayova A.V.<sup>1,2</sup>, Shklyar T.F.<sup>1,2</sup>

<sup>1)</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2)</sup> Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

In this work, the mechanical characteristics of polyacrylamide hydrogels with different content of strontium ferrite particles were compared using the DMA method. It is shown that with an increase in the concentration of magnetic particles from 0.00 to 11.01%, the viscoelastic properties increase.

Феррогели (ФГ) – перспективные материалы для использования в области биоинженерии. Они могут применяться в качестве матриц для культивирования клеток, направленной доставки лекарств, создания искусственных мышц [1-3]. Важным параметром для успешного применения новых материалов являются их вязкоупругие свойства, которые можно регулировать при синтезе различными способами. В частности, введение в полимерную сетку магнитных частиц (МЧ) позволит не только изменять механические характеристики, но и управлять такими композитными материалами.

В данной работе исследована зависимость механических параметров полиакриламидных ФГ, наполненных различным количеством МЧ феррита стронция.

ФГ были синтезированы на основе полиакриламида методом радикальной полимеризации с начальной концентрацией мономера 0,6 М. Синтез выполнен в ИЕНиМ под руководством профессора Сафронова А.П. Исследуемые гели имеют одну сшивку на 100 мономерных звеньев и отличаются массовой долей частиц феррита стронция ( $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ): 0,00%, 0,07%, 0,72%, 4,01%, 8,55%, 11,01%.

Методом динамо-механического анализа (ДМА) в диапазоне частот ( $f$ ) от 0,05 до 10 Гц оценивали механические свойства ФГ. Для анализа зависимости механических параметров от концентрации МЧ использовали модуль накопления ( $G'$ ), модуль потерь ( $G''$ ) и коэффициент динамической вязкости ( $\eta'$ ).

Показано, что армирование сетки геля МЧ приводит к росту значений  $G'$ , особенно на высоких частотах деформации: от 1 до 10 Гц. Выявлен рост величины

$G''$  при увеличении концентрации МЧ, причем характер зависимости  $G''(f)$  не монотонный: на высоких частотах наблюдается выраженное уменьшение значений. Зависимость  $\eta'(f)$  обратно пропорциональная для всех типов ФГ. Для сравнительного анализа влияния концентрации МЧ выбраны значения механических параметров на минимальной частоте 0,05 Гц, чтобы учесть вклад релаксационных процессов. Установлено, что  $G'$  возрастает с увеличением концентрации МЧ (Рис. 1). Можно полагать, что с увеличением содержания магнитотвердого наполнителя полимерная сетка уплотняется за счет дополнительных физических связей между МЧ и полимерными цепочками, и упругость гелей возрастает.

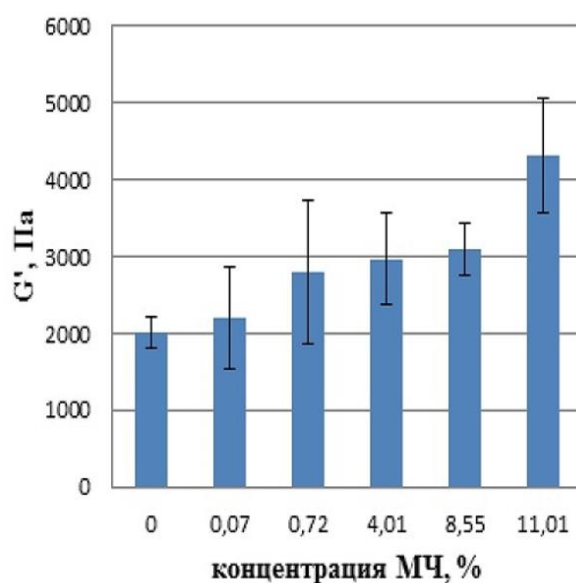


Рис. 1. Значения модуля накопления для гелей с разной концентрацией МЧ

$G''$  и  $\eta'$  с увеличением концентрации частиц  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  также возрастают: от 183,33 до 503,67 Па и от 538,57 до 1603,22 Па·с соответственно. Этот эффект объясняется также взаимодействием МЧ с полимером, и по мере увеличения концентрации магнитного наполнителя сетка уплотняется, что, в свою очередь, приводит к росту трения при деформации.

Таким образом, выявлена зависимость параметров, характеризующих упругие и вязкие свойства, от концентрации МЧ. Армирование полимерной основы МЧ повышает вязкоупругие свойства композитного материала.

*Благодарим профессора А.П. Сафронова за предоставленные материалы для исследования.*

1. Ф. А. Бляхман, Э. Б. Макарова, П. А. Шабадров, и др., Физика металлов и металловедение 121, № 4, 339–345 (2020).
2. F. A. Blyakhman, A. P. Safronov, A. Y. Zubarev, T. F. Shklyar et al., J. Results in Physics 7, 3624-3633 (2017).
3. R. Fuhrer, E. K. Athanassiou, N. A. Luechinger, W. Stark, J. Small 5, Iss. 3, 383-388 (2009).