

Электронный ресурс: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma00046a058> (Available online 01.05.2002)

3. Lim H.L. Dynamic electromechanical hydrogel matrices for stem Cell Culture / H.L. Lim, J.C. Chuang, T. Tran, A. Aung, G. Arya, S. Varghese / Journal «Advanced Functional Materials V.21 (2011) P.55–63 / Электронный ресурс: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.201001519/abstract;jsessionid=A2CDFE95D241035A8CB03E7C743310D9.f01t04> (Available online 07.01.2011)

4. Safronov A.P. DC Electric Fields Produce Periodic Bending Of Polyelectrolyte Gels / M.Shakhnovich, A. Kalganov, I.A. Kamalov, T.F. Shklyar, F.A. Blyakhman, G.H. Pollack / Journal «Polymer» V.52 (2011) P.2430-2436 / Электронный ресурс: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386111002540> (Available online 13.05.2011)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 16-08-00609)

УДК 61:577.3

М.А. Русинова^{1,2}, А.О. Добрейкина¹, Т.Ф.Шкляр^{2,3}
ОЦЕНКА МОДУЛЯ ЮНГА ФЕРРОГЕЛЕЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

¹Департамент «Физический факультет» УрФУ,

²Кафедра медицинской физики, информатики и математики
Уральский государственный медицинский университет,

³Отдел биомедицинской физики и инженерии ЦНИЛ УГМУ,
Екатеринбург, Российская Федерация

М.А. Rusinova^{1,3}, A.O. Dobreikina¹, T.F. Shklyar^{2,3}
YOUNG'S MODULUS TESTING IN THE FERROGELS FOR MEDICAL APPLICATIONS

¹Department of Physics, UrFU,

²Biomedical physics and engineering department
Ural State Medical University

³Department of Biomedical Physics and Engineering CRL USMU,
Yekaterinburg, Russian Federation

Контактный e-mail: rusinova.mari@iCloud.com

Аннотация. В статье рассмотрены упругие свойства синтетических полиакриламидных гелей с наночастицами оксида железа (FeO_x) и влияние

массовой доли наночастиц в полимерной матрице на величину модуля Юнга в образцах.

Annotation. The article describes the elastic properties of synthetic polyacrylamide gels filled with iron oxide nanoparticles (FeOx) and the effects of nanoparticles mass fraction in the polymer matrix on the Young's modulus value of the gel samples.

Ключевые слова: наночастицы, феррогели, модуль Юнга.

Keywords: nanoparticles, ferrogels, Young's modulus.

В настоящее время гидрогели и изготовленные на их основе материалы широко используются в медицине, например для направленной доставки лекарственных средств. Синтетические гидрогели также могут быть использованы как микропреобразователи энергии в био-микро-электро-механических системах (BioMEMS) [1-3]. Особое внимание уделяют композитным материалам на основе полимерной гелеобразной матрицы и магнитного наполнителя (магнитных наночастиц). Феррогели обладают уникальным свойством изменять свою форму и расположение под действием магнитных полей и возвращаться к исходному состоянию в отсутствие внешнего воздействия. Это свойство магнитонаполненных гелей позволяет рассматривать их в качестве перспективных материалов для создания гидроусилителей, искусственных мышц, транспорта лекарственных средств в организме.

При создании новых материалов для биоинженерии возникает необходимость всестороннего изучения их свойств. В частности, вопрос о влиянии магнитных наночастиц, введенных в полимерную матрицу, на упругие свойства гидрогелей до сих пор не решен. Имеются данные об отличии механических свойств магнитонаполненных гелей от свойств аналогичных гелей без наполнителя [4]. Другие авторы показывают повышение или понижение жесткости биополимерных мембран с магнитными частицами в зависимости от вида самих частиц. Например, не отмечено существенных изменений степени изгиба полимерных пленок после их наполнения наночастицами железа [5].

Цель исследования – оценить упругие свойства синтетических полиакриламидных гелей с наночастицами оксида железа (FeO_x). Установить влияние массовой доли наночастиц в полимерной матрице на величину модуля Юнга образцов геля.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись синтетические гидрогели полиакриламидной кислоты (ПАА), синтезированные на кафедре высокомолекулярных соединений УрФУ (под руководством профессора А.П. Сафронова).

Основной процесс синтеза гелей – сополимеризация акриламида (основного полимера) и N,N'-метиленабисакриламида (сшивающего агента) в

водной дисперсии магнетита (смешанного оксида железа (I) и (II) – FeO_x) в присутствии различных инициаторов полимеризации. Массовая доля наночастиц оксида железа колебалась от 0,27% до 1,48%.

Образцы гелей для измерений упругих свойств готовили в виде цилиндров диаметром и высотой примерно 10 мм. Измерения механических свойств проводили на экспериментальной установке, содержащей прецизионные полупроводниковые датчики силы и длины образцов, а также линейный электромагнитный мотор для задания деформаций. Задавали пилообразные деформации величиной 5-10% от высоты образца и регистрировали изменение показаний датчика силы. По данным динамических испытаний образцов был определен модуль Юнга: $E = \sigma/\epsilon$, где σ – механическое напряжение, ϵ – деформация. Данные обрабатывали с помощью стандартных статистических методов, вычисляя среднее значение модуля Юнга и среднеквадратическое отклонение.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные данные приведены в таблице (ниже). Расчет модуля Юнга проводили как при сжатии образца (столбец 4), так и при высвобождении до начальной длины (столбец 5). И, наконец, в столбце 6 приведен средний показатель величины модуля упругости геля.

Из приведенных данных (столбцы 6 и 7) видно, что модуль упругости полиакриламидной матрицы существенно ниже, чем у магнитных гидрогелей. С увеличением массовой доли наночастиц оксида железа величина модуля Юнга для магнитонаполненных образцов мало изменяется и колеблется в диапазоне 16,6 – 19,7 кПа. Кроме того установлено, что величины модулей упругости для деформаций на сжатие и высвобождения различны. Это свидетельствует о вкладе вязкой компоненты, которую также следует установить для гидрогелей с наночастицами оксида железа. Этому будет посвящен следующий этап исследования.

Таблица

Результаты измерения модуля Юнга в тестируемых образцах.

Образец	(n)	Массовая доля FeO_x , %	Модуль Юнга, кПа			Среднее квадратичное отклонение
			сжатие	высвобождение	среднее	
1	2	3	4	5	6	7
G 160	8	0	6,6	8,2	7,4	1,3
FG 158	8	0,27	17,5	15,2	16,4	3,8
FG 156	6	0,56	22,8	16,6	19,7	2,9
FG 154	4	0,93	15,5	16,4	15,9	0,9
FG 152	6	1,10	20	17,4	18,7	2,6
FG 151	4	1,48	17,1	16,2	16,6	1,7

Выводы:

Таким образом, на основании полученных данных можно утверждать, что модуль упругости полиакриламидного гидрогеля без наполнения

наночастицами железа составляет 7-8 кПа, что сравнимо с жесткостью мягких биологических тканей [6], наполнение полиакриламидной матрицы наночастицами оксида железа в массовой доле до 1,48% приводит к значительному увеличению модуля упругости гелей, увеличение концентрации наночастиц в диапазоне от 0,27% до 1,48% значимым образом не влияло на модуль Юнга феррогелей.

Литература:

1. Gong J.P. Polymer gels as soft and wet chemomechanical systems an approach to artificial muscles / J.P. Gong, D. Kaneko, Y. Osada. / The Royal Society of Chemistry, №12 / 2002 P. 2169-2177.
2. Jabbaril E. Swelling characteristics of acrylic acid polyelectrolyte hydrogel in a dc electric field / E Jabbaril, A.S. Sarvestani, J. Tavakoli / Smart Materials and Structures, №16 / 2007. P. 1614–1620.
3. Cells G.H. Gels and the Engine of Life / G.H. Cells, Pollak / Anew, Unifying Approach to Cell Function. Seattle WA: Ebner&Sons. / 2001, P. 305.
4. Csetneki I Magnetic Field-Responsive Smart Polymer Composites / I Csetneki, G. Filipcsei, A. Szilagy, M., Zrinyi / Adv Polym Sci, 2007, P. 137–189.
5. Sophia I.K. Influence of iron oxide nanoparticles on bending elasticity and bilayerfluidity of phosphatidylcholine liposomal membranes / I.K. Sophia, J. Lyubomirova, Genova N.P., Poormina B.S. / Colloids and Surfaces A:Physicochem. Eng. Aspects 460 / 2014 P. 248-253.
6. Владимиров Ю.А. Биофизика: учебник / Ю.А.Владимиров, Д.И.Рощупкин и др. / М: Медицина, 1983, 272 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №14-19-00989 «Магнитополимерные материалы для инженерии биологических тканей».

УДК 539.893

**Ю.Н. Семенова, А.Н. Бабушкин
ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ ФАЗЫ НА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ZrO_2 ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ
(В МЕДИЦИНСКОМ ПРИЛОЖЕНИИ)**

Кафедра физики низких температур
Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Российская федерация

**U.N. Semenova, A.N. Babushkin
EFFECT OF CONCENTRATION TETRAGONAL PHASE OF ZrO_2 ON
THE ELECTRICAL PROPERTIES AT HIGH PRESSURES**