

ВЛИЯНИЕ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА МОДУЛЬ ЮНГА КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА И ПЬЕЗОКЕРАМИКИ

*Бакинский государственный университет, AZ-1148, ул.З.Халилова, 23

** Институт физики НАН Азербайджана, Баку, AZ1143 пр. Г.Джавида, 33,

*** Институт космических исследований природных ресурсов НАН Азербайджана, AZ1159, пр. Азадлыг, 159

Активные полимерные композиты с улучшенными пьезоэлектрическими, электрофизическими и прочностными свойствами широко применяются в различных областях преобразовательной техники, акустических антеннах и медицинских приборах. Поэтому при эксплуатации таких устройств с элементами из композиций полимер–пьезокерамик важную роль играют упругие свойства композиций. Ряд публикаций связан с изучением прочностных свойств композитов на основе полимер–пьезокерамик [1–3].

В работе представлены результаты исследования влияния межфазного взаимодействия на модуль упругости композиции на основе полимеров: полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), поливинилиденфторид (ПВДФ) и пьезокерамик с ромбоэдрической ПКРЗМ и тетрагональной ПКР8 структурами [4].

Пьезочастицы размером $50 < d < 63$ мкм механически смешивались с полимерным порошком, и их объемное содержание в полимере колебалось от 10 до 40%.

Композиции были получены методом горячего прессования при температуре плавления полимерной матрицы под давлением 15МПа в течение 10 мин с последующим охлаждением со скоростью 2000 град/мин и погружением расплава между двумя алюминиевыми фольгами в смесь льда с водой. Все образцы композиций ПЭВП+ПКРЗМ, ПЭВП+ПКР8 и ПВДФ+ПКРЗМ, ПВДФ+ПКР8 были изготовлены в виде пленки, и их модуль упругости определялся при температуре 293К.

Упругая постоянная E для двухфазной дисперсии выражается формулой [5, 6]:

$$E = \frac{3(1 - \Phi)E_1 + (2 + 3\Phi)E_2}{(3 + 2\Phi)E_1 + 2(1 - \Phi)E_2} E_1, \quad (1)$$

где E_1 и E_2 – упругие постоянные полимерной матрицы и пьезочастицы соответственно. На основе этой формулы была рассчитана упругая постоянная (модуль Юнга) всех композитов в зависимости от объемного содержания Φ пьезочастицы.

Упругая постоянная пьезочастицы значительно больше, чем у полимера, то есть $E_2 > E_1$. Тогда формулу (1) запишем в виде

$$E = \frac{2 + 3\Phi}{2(1 - \Phi)} E_1. \quad (2)$$

Видно, что E композитов практически не зависит от упругой постоянной пьезочастицы, а определяется E_1 полимера и объемного содержания пьезонаполнителя. Значения E , вычисленные по формуле (2) для композиции полимер–пьезокерамик, приведены на рисунках. Экспериментальные значения модуля Юнга определены из кривых растяжения $\sigma = f(\epsilon)$, выраженных законом Гука $\sigma = \epsilon E$.

Для всех композиций построены зависимости E от Φ .

На рис.1 приведены зависимости вычисленных (1) и экспериментально найденных (2, 3) значений модуля Юнга от объемного содержания пьезокерамики композиций ПВДФ+ПКРЗМ и ПВДФ+ПКР8. Во всех объемных содержаниях модуль Юнга обеих композиций монотонно увеличи-

вается в зависимости от содержания пьезочастицы. Из рисунка также видно, что значения модуля Юнга E композиции ПВДФ+ПКРЗМ при прочих равных условиях, в частности одинаковых объемных содержаниях Φ , больше, чем значения E для композиции ПВДФ+ПКР8 соответственно. Расчетные значения модуля Юнга во всех объемных содержаниях обеих композиций практически одинаковы (рис. 1), причем они меньше по сравнению с экспериментальными значениями E .

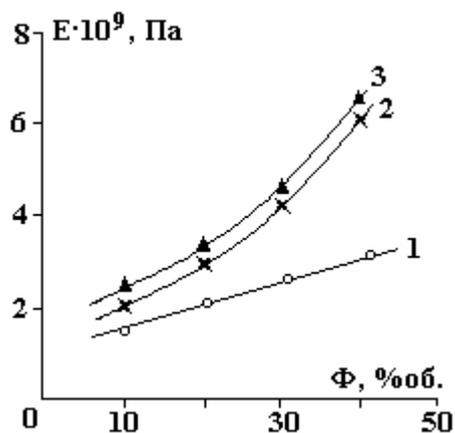


Рис.1. Зависимости модуля Юнга от объемного содержания пьезокерамики композиций ПВДФ+ПКРЗМ (3) и ПВДФ+ПКР8(2). 1 – теоретические, 2, 3 – экспериментальные

На рис. 2 представлены зависимости экспериментальных и теоретических значений модуля Юнга от объемного содержания пьезочастиц керамики композиций ПВДФ+ПКРЗМ и ПЭВП+ПКРЗМ.

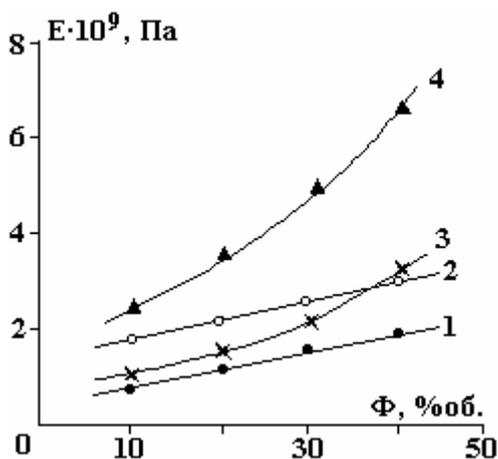


Рис. 2. Зависимости модуля Юнга от объемного содержания пьезокерамики композиций ПВДФ+ПКРЗМ (2,4) и ПЭВП+ПКРЗМ (1, 3). 1, 2 – теоритические, 3, 4 – экспериментальные

Экспериментальные и теоретические значения E композиции ПВДФ+ПКРЗМ при прочих равных условиях и одинаковых объемных содержаниях больше, чем значения E композиции ПЭВП+ПКРЗМ соответственно. Теоретические значения модуля Юнга обеих композиций в зависимости от содержания пьезочастицы увеличиваются по линейным законам, причем и здесь $E_{\text{теор}} < E_{\text{эксп}}$ (рис. 2).

На рис. 3 даны зависимости экспериментальных и теоретических значений модуля Юнга от объемного содержания пьезочастиц керамики композиций ПВДФ+ПКР8 и ПЭВП+ПКР8. Аналогичные закономерности зависимости модуля E от Φ этих композитов также сохраняются.

Известно, что электротермополяризация композиции на основе полимер–пьезокерамики меняет ее зарядовое состояние. Ранее показано, что изменение прочностных и электрофизических свойств может происходить вследствие заряда, накапливаемого в композиции при электротермополяризации [1–3]. Однако заметим, что влияние объемного и поляризационного зарядов, стабилизированных на границе раздела полимер–пьезокерамика, на модуль Юнга двухфазных систем практически не изучено.

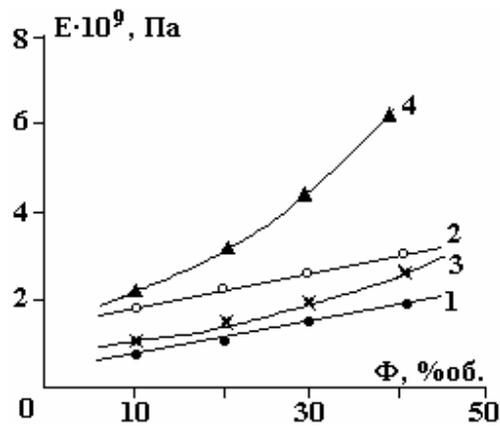


Рис. 3. Зависимости модуля Юнга от объемного содержания пьезокерамики композиций ПВДФ+ПКР8 (2,4) и ПЭВП+ПКР8(1, 3). 1, 2 – теоретические, 3, 4 – экспериментальные

Зависимости экспериментальных значений модуля Юнга E до и после поляризации и плотности зарядов q от объемного содержания пьезокерамики композиций ПВДФ+ПКРЗМ и ПЭВП+ПКРЗМ после поляризации приведены на рис. 4. Композиции подвергнуты электротермополяризации при температуре $T = 353$ К в течение $t = 1$ час под действием электрического поля с последующим охлаждением до комнатной температуры. Плотность заряда рассчитана по формуле $q = Q/S$, где Q – количество зарядов, вычисленное из кривых термостимулированных деполяризации [7], S – площадь образца. Показано, что не только экспериментальные значения модуля Юнга E композиции, но и электротермополяризация увеличиваются на основе ПВДФ больше, чем на основе ПЭВП.

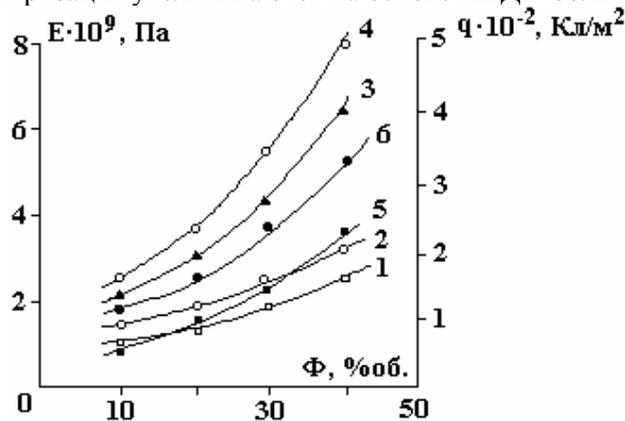


Рис. 4. Зависимости модуля Юнга E и плотности зарядов q от объемного содержания пьезокерамики композиций ПВДФ+ПКРЗМ и ПЭВП+ПКРЗМ до и после электротермополяризации. 1, 2 – ПЭВП+ПКРЗМ, 3, 4 – ПВДФ+ПКРЗМ; 1, 3 – до поляризации, 2, 4 – после поляризации; 5 – плотность заряда композиции ПЭВП+ПКРЗМ; 6 – плотность заряда композиции ПВДФ+ПКРЗМ

Экспериментальные результаты влияния напряженности поля поляризации на модуль Юнга и плотность заряда, накопленного в процессе электротермополяризации, композиции 80%ПВДФ+20%ПКРЗМ (рис. 5), показывают, что изменение E после процесса хорошо коррелирует с количеством плотности зарядов, вычисленной из кривых ТСД.

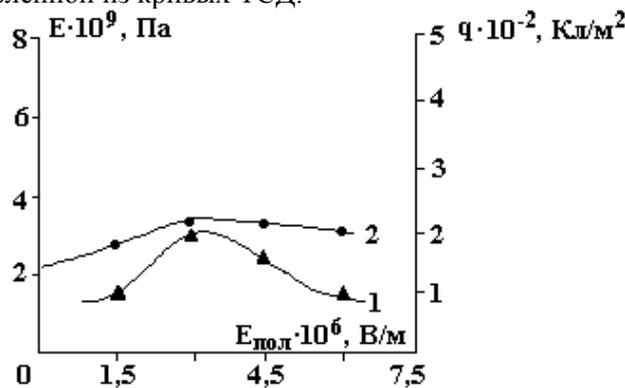


Рис. 5. Зависимости плотности заряда q и модуля Юнга E от напряженности электротермополяризации композиции 80% ПВДФ+20%ПКРЗМ. 1 – плотность заряда; 2 – модуль Юнга

Экспериментальные результаты позволяют утверждать, что обнаруженные расхождения с теоретическими значениями связаны с взаимодействиями между компонентами композиции, которые не учитывались при выводе расчетной формулы. Следовательно, композиция из полимера и пьезокерамики не является механической смесью, между компонентами композиции существует межфазное взаимодействие. Изменение модуля Юнга композиции после электротермополяризации также подтверждает существование взаимодействия между ее компонентами, которое в формулах не учтено.

Таким образом, расхождение между экспериментальными и теоретическими значениями модуля упругости композиций связано с тем, что не были учтены межфазное взаимодействие, толщина приграничного слоя, электронно-ионные процессы в композиционных системах полимер–пьезокерамик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рамазанов М.А., Абасов С.А., Мустафаев З.Е. Влияние электрополяризации на прочностные свойства композиции на основе полимер-пьезоэлектрик. Новые технологии-21-й век. 2001. № 6. С. 26–29.
2. Abasov S.A., Ramazanov M.A., Ibragimova H.S., Mustafayev Z.E. The influence of preliminary treatment under the effect of electric field on the strength properties of the c composition on the base of polyethylene and piezoceramics // Physics and chemistry of processing of materials. 2003. № 5. P. 87–88.
3. Рамазанов М.А., Ибрагимова Х.С., Абасов С.А., Гасанов А.М. Влияние предварительной электрообработки на зарядовое состояние и прочностные свойства композиции на основе полиэтилена и пьезокерамик // Электронная обработка материалов. 2005. № 4. С. 57–61.
4. Фесенко Е.Ф., Данцигер А.Я., Разумовская О.Н. Новые пьезокерамические материалы. Ростов-на-Дону, РГУ, 1983. 154 с.
5. Furukawa T., Fujino K., Fukada E. Electromechanical properties in the composites of Epoxy. Resin and PZT Ceramics Jap. // J.Appl.Phys., 1976. V. 15. P. 2119–2129.
6. Chen J.T. A constitutive equation for composite systems // J. Polm.Sci.,-Poly. Phys.Ed., 1983. 11. P. 2013–2026.
7. Гороховатский Ю.А. Основы термодеполяризационного анализа. М., 1983.

Поступила 27.02.06

Summary

In the given work presents results investigation influence interphase interaction on module Young's of compositionson on the base of unpolar polymer polyethylene of high density (PEHD) polar polymer polivinilydenftorid (PVDF) and piezoceramic with rombohedral structure PCR3M, tetragonal structure PCR8 before and after electrothermopolyarization. It has been shown the difference observed between experimental and theoretical values of modulus of elasticity E of compositions is connected, to our mind with not taking into consideration the interphase interactions thickness of the boundary layer and electron-ions processes in compositions systems of polymer piezoceramics.