

УДК 539.12.04

Ю. А. ЗАЙКИН, Н. А. ШИРОКАЯ, Г. А. ИСМАЙЛОВА

РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ПОЛИМЕРНОМ КОМПОЗИТЕ ЛИФТ, АРМИРОВАННОМ СЛЮДОЙ

Исследовано влияние электронного и гамма излучений на температурные зависимости внутреннего трения и модуля сдвига в композитном материале ЛИФТ с полимерным связующим, армированном слюдяным наполнителем. Обсуждаются особенности спектров механической релаксации и радиационно-инициированных изменений структуры этого класса композитов.

Слюдосодержащие композиты находят широкое применение в качестве изоляционных материалов на установках, работающих в различных агрессивных условиях, в том числе, в полях ионизирующих излучений. Изучение их радиационной стойкости представляет значительный практический интерес.

Экспериментальные и теоретические исследования процессов рассеяния упругой энергии в композитных материалах на основе полимеров, систематически проводимые в Лаборатории Радиационной физики НИИЭТФ КазНУ в течение последнего десятилетия, заложили основу практического применения метода внутреннего трения для получения труднодоступной другим методам информации об изменении структурного состояния в различных составляющих композитов (стеклотекстолитов, стеклослюдинитов, гетинаксов, фольгированных диэлектриков, углеродонаполненных материалов) при радиационных и других внешних воздействиях [1-6].

Данная работа продолжает этот цикл исследований спектров механической релаксации для практически важного жаростойкого полимерного композита ЛИФТ. ЛИФТ представляет собой слюдопласт, состоящий из слоев флагопитовой бумаги, пропитанных эпоксидно-фенольно-формальдегидным лаком ЛЭФ-3.

Изучалось влияние электронного и гамма-излучений на температурные зависимости внутреннего трения (ВТ) и модуля сдвига (МС) в этом композите.

Исследуемые образцы облучались электронами с энергией 2 МэВ от линейного ускорителя электронов ЭЛУ-4. Длительность импульса электронов составляла 5 мкс, промежуток между импульсами – 5 мс. Облучение проводилось при

комнатной температуре и мощности дозы электронов 1,2–3,8 кГр/с в диапазоне доз 6–17 МГр. Энергия гамма-квантов 1 МэВ, диапазон доз 40–70 кГр.

Установившиеся температурные зависимости внутреннего трения и модуля сдвига изменились в температурном интервале 20–250°C в необлученных образцах и через сутки после облучения на установке крутильного маятника при частоте колебаний образцов около 1 Гц.

Особое внимание уделялось сравнению структурных изменений в композите при его радиационной и термической обработке. Спектр механической релаксации в необлученном композите показан на рис. 1.

Видно, что переход стеклования в композите ЛИФТ характеризуется исключительно широким спектром релаксации, свидетельствующим о наличии свободных молекулярных сегментов различных размеров и различных мод колебаний.

Такая молекулярная структура приводит к отсутствию хорошо выраженной температуры перехода стеклования. Тем не менее, в температурном интервале 20–200°C модуль сдвига уменьшается в десять раз. Прогрев данного образца до 200°C приводит к некоторому сшиванию полимерной матрицы. При этом пики внутреннего трения и модуль сдвига смещаются в сторону больших температур (кривые 2 на рис. 1).

Результат облучения исследуемого образца дозой электронов 13, 17 МГр представлен на рис. 2. Облучение образца электронами дозой 13 МГр приводит к деструкции во всех составляющих композита ЛИФТ (кривые 2 на рис. 2). Внутреннее трение увеличивается, но пики ВТ и МС смещаются в сторону больших температур. При дальнейшем увеличении дозы (до 17 МГр) такая

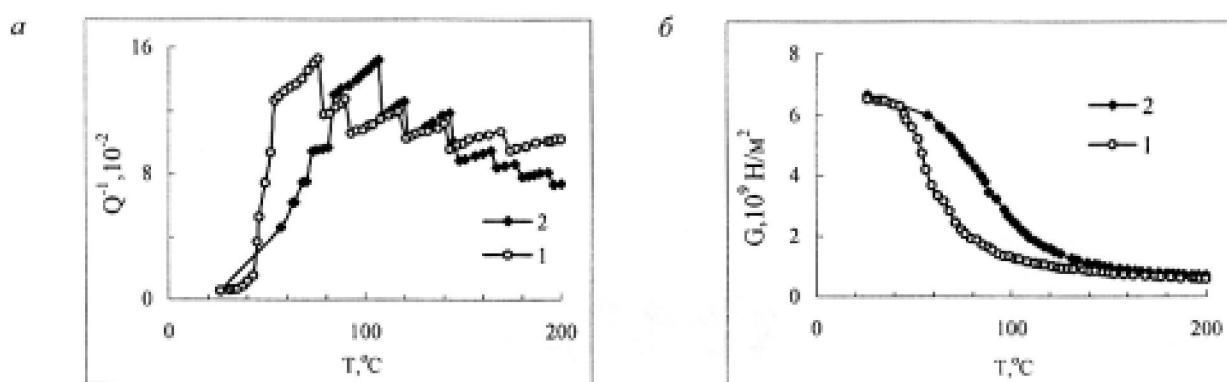


Рис. 1. Температурная зависимость внутреннего трения (а) и модуля сдвига (б)
в необлученном композите ЛИФТ (1) и после его прогрева до 200 °С (2)
Толщина образца $h = 1,0$ мм

тенденция сохраняется (кривые 3 на рис.2). Это говорит о том, что хотя при облучении композитов имеет место одновременное протекание процессов структурирования и деструкции полимера, наблюдается сдвиг баланса между ними в сторону преобладания процессов сшивания.

Вероятной причиной этого является перекрытие треков электронов и шпор при увеличении дозы облучения. Высокая концентрация радика-

лов в малых объемах устраниет стерические затруднения для их рекомбинации, затрудняя реакции диспропорционирования, приводящие к стабилизации оборванных концов молекулы и завершению акта деструкции. В результате относительная доля событий сшивания макромолекул становится выше. При дальнейшем увеличении дозы облучения электронами преобладают процессы деструкции.

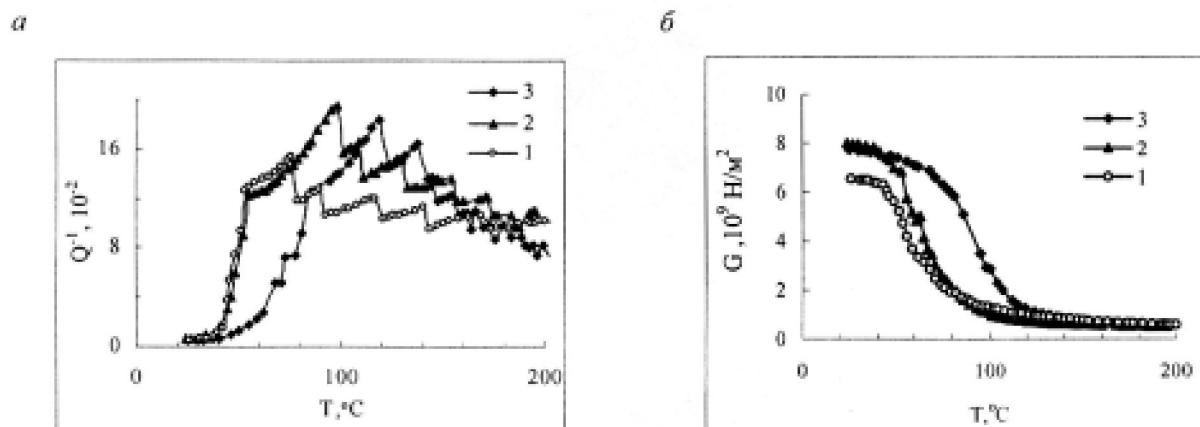


Рис. 2. Температурная зависимость внутреннего трения (а) и модуля сдвига (б) в слюдопласте ЛИФТ
после облучения электронами: 1 – $D = 0$; 2 – $D = 13$ МГр; 3 – $D = 17$ МГр;
Усредненная по времени мощность дозы – $\bar{D} = 2$ кГр/с.
Толщина образца $h = 1,0$ мм

Эксперименты по облучению ЛИФТ различными мощностями дозы электронного облучения [6] показали, что ее увеличение усиливает тенденцию полимерного связующего к сшиванию, что, в основном, проявляется в смещении релаксационных максимумов в сторону высоких температур.

Исследовались также спектры механической релаксации в данном композите, облученном гамма-квантами.

При облучении ЛИФТ до дозы 42 кГр во всех областях композита имеет место деструкция (рис. 3).

Как и после облучения электронами, температурная обработка облученного гамма-квантами

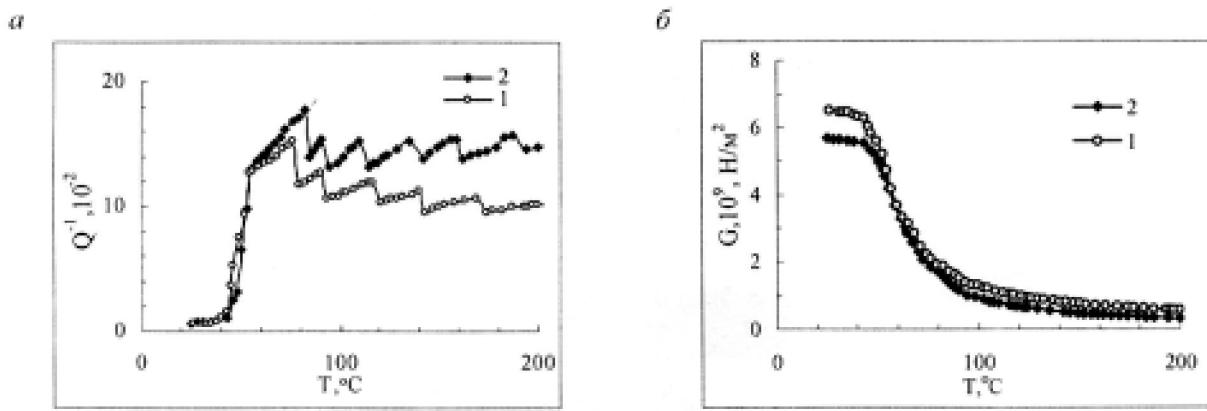


Рис. 3. Температурная зависимость внутреннего трения (а) и модуля сдвига (б) в композите ЛИФТ:

1 – $D = 0$; 2 – $D = 42$ кГр (D – поглощенная доза гамма квантов)

Усредненная по времени мощность дозы – $\bar{D} = 12$ Гр/с

Толщина образца $h = 1,0$ мм

образца до 200°C приводит к некоторому сшиванию полимерной матрицы (рис. 4).

Величина первого пика (рис. 4а) не изменяется и сдвигается в сторону больших температур. В высокотемпературной части спектра наблюдается уменьшение внутреннего трения. При этом кривая модуля сдвига также смещается в сторону больших температур.

Дополнительное облучение электронами этого образца приводит к дальнейшим процессам деструкции во всех составляющих композита. ВТ увеличивается, и кривая МС смещается в сторону меньших температур (рис. 5).

При увеличении дозы облучения гамма-квантами до 72 кГр (рис. 6) и дополнительном про-

греве облученного образца (рис. 7), как и при дозе 42 кГр, наблюдается некоторое сшивание полимерного связующего.

Вероятной причиной этого, как и в случае облучения электронами, может служить перекрытие треков и шпор. Однако если для электронов это наступает при дозах порядка 10 МГр и выше, то для гамма-квантов – при десятках кГр.

Заключение. Результаты работы показывают, что структурные изменения после облучения композитного материала зависят не только от дозы облучения, но и в значительной степени от мощности дозы.

При значениях дозы и мощности дозы, превышающих уровень, характерный для данного

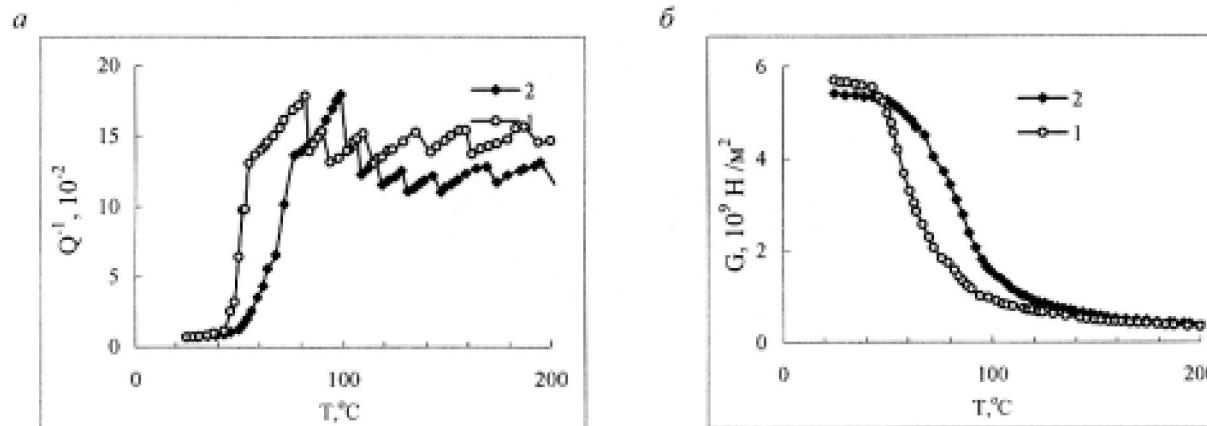


Рис. 4. Температурная зависимость внутреннего трения (а) и модуля сдвига (б) в композите ЛИФТ после облучения гамма квантами до дозы 42 кГр (1)

и после прогрева облученного образца до 200°C (2), $\bar{D} = 12$ Гр/с, $h=1,0$ мм

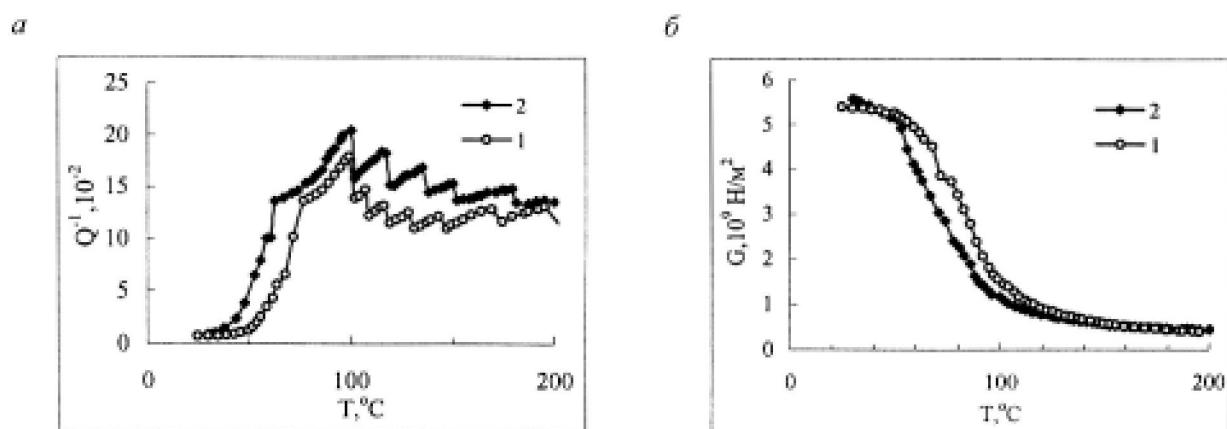


Рис. 5. Температурная зависимость внутреннего трения (а) и модуля сдвига (б) в композите ЛИФТ после облучения гамма квантами $D = 42 \text{ кГр}$, дополнительного нагрева (1) и облучения электронами $D = 4 \text{ МГр}$ (2)

Усредненная по времени мощность дозы – $\bar{D} = 12 \text{ Гр/с.}$

Толщина образца $h=1,0 \text{ мм}$

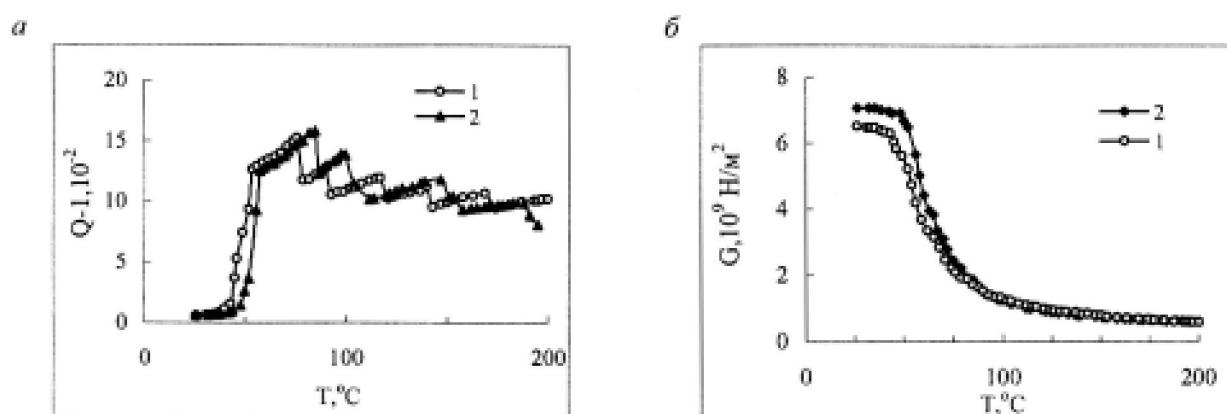


Рис. 6. Температурная зависимость внутреннего трения (а) и модуля сдвига (б) в композите ЛИФТ:
1 – $D=0$; 2 – $D=72 \text{ кГр}$ (D – поглощенная доза гамма квантов).

Усредненная по времени мощность дозы – $\bar{D} = 12 \text{ Гр/с.}$

Толщина образца $h=1,0 \text{ мм}$

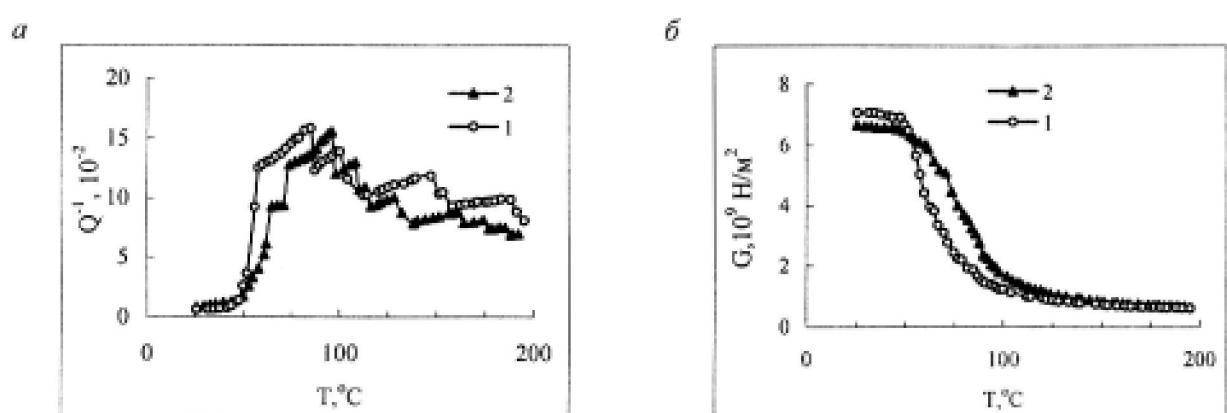


Рис. 7. Температурная зависимость внутреннего трения (а) и модуля сдвига (б) в композите ЛИФТ
после облучения гамма-квантами до дозы 72 кГр (1) и после прогрева облученного образца до 200°C (2).

Усредненная по времени мощность дозы – $\bar{D} = 12 \text{ Гр/с.}$

типа полимерного связующего, перекрытие шпор приводит к уменьшению относительной скорости радиационной деструкции, которая в определенных условиях может смениться на сшивание.

Полимерный связующий материал, использованный в рассмотренном здесь композите, деструктирует при повышенных дозах электронного излучения.

Термическая обработка таких композитов может быть использована как для повышения их радиационной стойкости, так и для частичного восстановления сшитой молекулярной структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Zaykin Yu.A., Koztaeva U.P.* Radiation-induced processes and internal friction in polymer-based composite materials. *Radiation Physics and Chemistry*. V. 58, issue 4. P. 387-395.
2. *Zaykin Yu.A., Koztaeva U.P.* Processes induced by electron irradiation and internal friction in polymer-based composite materials. *Bulletin KazSNU, Natural science series*, the fourth issue. Almaty, 2001.
3. *Zaykin Yu.A., Koztaeva U.P.* Radiation resistance and structural transitions in polymer-based composites irradiated by electrons // *Radiat. Phys. Chem.* 2002. V. 63/2. P. 547-550.
4. *Зайкин Ю.А., Широкая Н.А., Сабитова М.Ш., Козтаева У.П.* Структурные превращения и механическая

релаксация в углеродонаполненных композитах, облученных электронами // Мат-лы 4-й Междунар. конф. «Ядерная и радиационная физика» (15–17 сентября 2003 г.). Алматы: ИЯФ НЦП РК, 2004. Т. 2. С. 358-366.

5. *Зайкин Ю.А.* Рассеяние упругой энергии в радиационно-поврежденных твердых телах. Алматы: Қазақ университеті, 2003. С. 318-424.

6. *Zaykin Yu.A., Shirokaya N.A.* Effect of Electron Irradiation on Internal Friction and Molecular Structural Alterations in Polymer-Based Composite Materials Reinforced with Mica and Asbestos // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. 2007. V. 9. P. 47-56.

Резюме

Косымша слодамен өрнектелген ЛИФТ полимерлі композитті материалда электронды және гамма сәулеленудің қозғалыс модулі мен ішкі үйкелістің температуралық тәуелділігіне өсері зерттелді. Бұл топтагы композиттердің радиациалы-инициленген құрылымының өзгерісі және спектрларының механикалық релаксациясының ерекшеліктері талқыланады.

Summary

Effect of electron and gamma irradiation on temperature dependences of internal friction and shear modulus in polymer-based composites armored with mica is studied. Characteristics of mechanical relaxation spectra and radiation – initiated structural alterations in this type of composites discussed.

*КазНУ им. аль-Фараби,
г. Алматы*

Поступила 29.06.2009г.