

Ф.М. Бетеньков, А.Д. Насонов

ИССЛЕДОВАНИЕ «ХОЛОДНОЙ» ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Исследование «холодной» деструкции полимерных материалов авиационного назначения проводилось низкочастотным акустическим методом в интервале температур от -100°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Отмечено, что циклическое воздействие низких температур приводит к изменению механических свойств полимерного материала.

Ключевые слова: вязкоупругие свойства полимеров, циклическое охлаждение, температура стеклования.

F.M. Betenkov, A.D. Nasonov

THE STUDY OF «COLD» DESTRUCTION OF AIRCRAFT POLYMERIC MATERIALS

Investigation of the «cold» destruction of aircraft polymeric materials was carried out low-frequency acoustic method within the temperature range from -100°C to $+60^{\circ}\text{C}$. Noted that the cyclical impact of low temperatures leads to the change of the mechanical properties of the polymer material.

Key words: viscoelastic properties of polymers, cyclical cooling, glass-transition temperature.

Введение

В настоящее время полимерные материалы находят все большее применение в авиационной промышленности. К таким материалам можно отнести высоконаполненные эластомерные полимерные материалы (ВЭПМ). Однако остро стоит вопрос о стабильности эксплуатационных характеристик этих материалов при циклическом воздействии низких температур. Влияние циклического воздействия низких температур приводит к деструкции ВЭПМ и это, в свою очередь, находит отражение в изменении их физико-механических свойств. В связи с этим, были исследованы вязкоупругие свойства ВЭПМ, модифицированных и подвергнутых циклическому воздействию низких температур.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования был выбран ВЭПМ на основе СКД, модифицированный олеиновой кислотой в количестве 1 м. д. и ортофталевой кислотой в количестве 3 м. д. [1, 2, 5]. Исследуемые образцы были подвергнуты циклическому криогенному воздействию. Их выдерживали в среде жидкого азота в течение 7 минут, затем извлекали и оставляли при комнатной температуре до полного прогревания. Когда температура образца становилась комнатной, его вновь помещали в жидкий азот. Количество циклов «криогенное охлаждение-нагрев»

составило соответственно 0, 4, 8, 16 и 32. Исследования проводились методом динамического механического анализа [3] на обратном крутильном маятнике в интервале температур от -100°C до $+60^{\circ}\text{C}$ с частотой 1 Гц. Из экспериментальных результатов рассчитывались основные вязкоупругие характеристики: динамический модуль сдвига (G') и тангенс угла механических потерь ($\text{tg } \delta$). Погрешность определения G' составила 3 – 7%. Погрешность определения $\text{tg } \delta$ не превышает 6%.

Обсуждение результатов

На рис. 1 представлены температурные зависимости динамического модуля сдвига исходных образцов (не подвергавшихся циклическому воздействию криогенных температур).

Исходя из полученных данных проводились расчеты температуры стеклования и границ области стеклования). Методика расчетов была описана ранее [4]. Суть данной методики заключается в следующем:

- методом «сплайн»-аппроксимации строится сглаживающая кривая функции $G' = f(T)$ – рис. 1а;
- методом наименьших квадратов определяется зависимость $\frac{dG'}{dT} = f_1(T)$ – рис. 1б;
- точка минимума на графике функции $f_1(T)$ будет являться характеристической температурой – T_c (температура стеклования);

- методом наименьших квадратов определяется зависимость $\frac{d^2 G'}{dT^2} = f_2(T)$ – рис. 1в;
- область перехода функции $f_2(T)$ из минимума в максимум будет являться областью стеклования, а точки экстремумов – границами области стеклования ($T_H - T_K$).

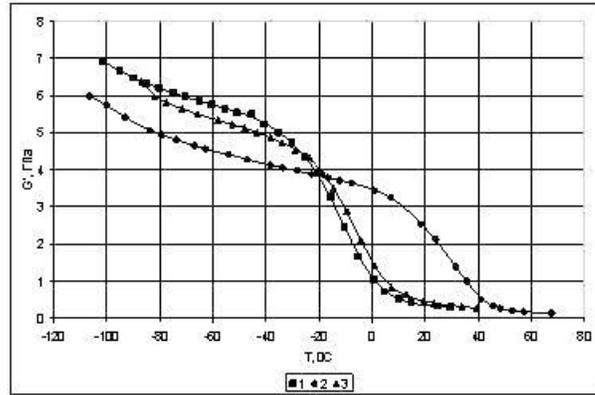


Рис. 1. Температурные зависимости исследуемых ВЭПМ, не подвергавшихся циклическому воздействию криогенных температур (1 – не модифицированный ВЭПМ; 2 – ВЭПМ, модифицированный 1 м. д. ОК (олеиновая кислота); 3 – ВЭПМ, модифицированный 3 м. д. ОФК (ортофталевая кислота))

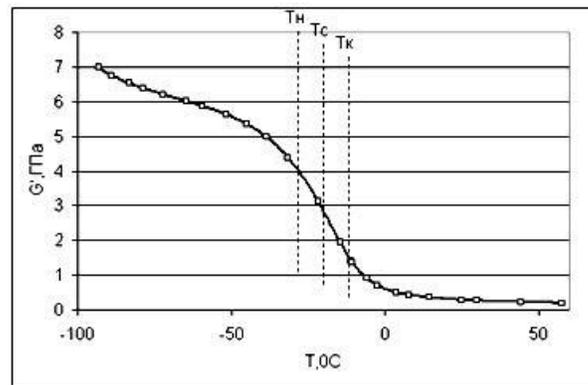


Рис. 1а. Температурная зависимость динамического модуля сдвига немодифицированного ВЭПМ (маркеры – экспериментальные точки, линия – «сплайн»-аппроксимация)

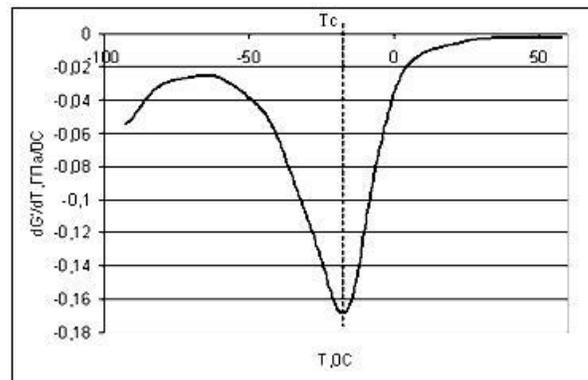


Рис. 1б. Температурная зависимость первой производной динамического модуля сдвига немодифицированного ВЭПМ

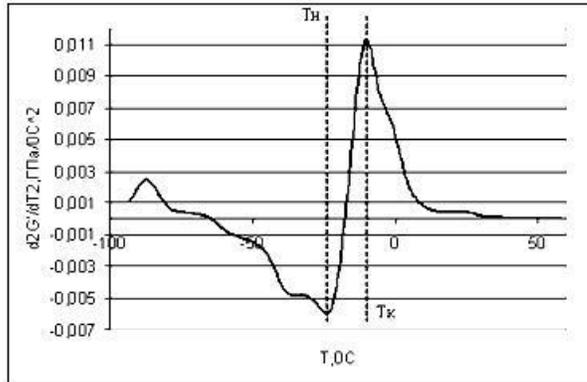


Рис. 1в. Температурная зависимость второй производной динамического модуля сдвига немодифицированного ВЭПМ

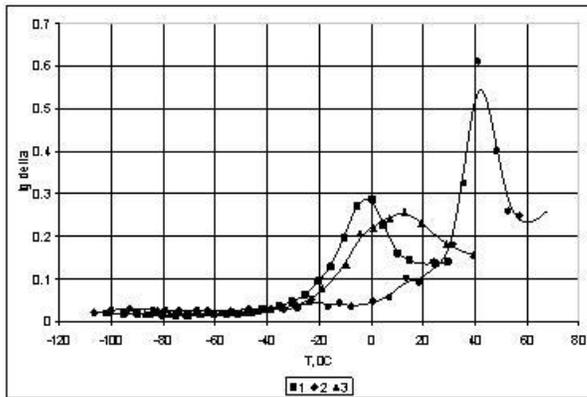


Рис. 2. Температурные зависимости $\text{tg } \delta$ исследуемых ВЭПМ, не подвергавшихся циклическому воздействию криогенных температур (1 – не модифицированный ВЭПМ; 2 – ВЭПМ, модифицированный 1 м. д. ОК; 3 – ВЭПМ, модифицированный 3 м. д. ОФК)

Из рисунков видно, что введение модификаторов в ВЭПМ приводит к снижению величины G' в области стеклообразного состояния, которая, в свою очередь, характеризует прочностные

свойства материала. Введение олеиновой кислоты приводит к увеличению температуры стеклования исследуемого ВЭПМ.

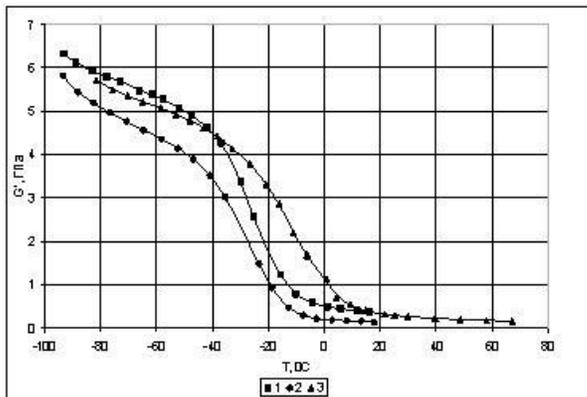


Рис. 3. Температурные зависимости G' (1 – не модифицированный ПКМ; 2 – ПКМ, модифицированный 1 м. д. ОК; 3 – ПКМ, модифицированный 3 м. д. ОФК) исследуемых ПКМ, подвергнутых 4-кратному циклу «криогенное охлаждение-нагрев»

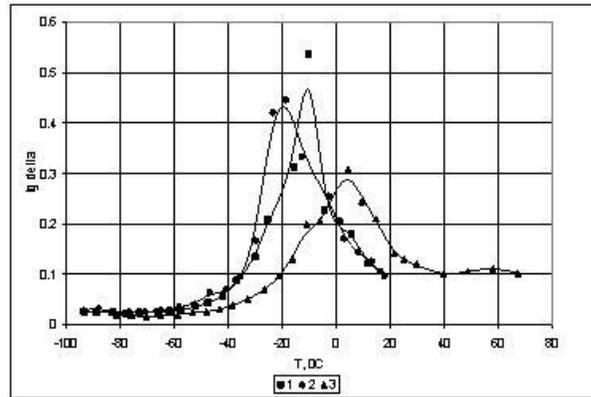


Рис. 4. Температурные зависимости $\operatorname{tg} \delta$ (1 – не модифицированный ПКМ; 2 – ПКМ, модифицированный 1 м. д. ОК; 3 – ПКМ, модифицированный 3 м. д. ОФК) исследуемых ПКМ, подвергнутых 4-кратному циклу «криогенное охлаждение-нагрев»

На рис. 2 представлены температурные зависимости тангенса угла механических потерь исходных образцов (не подвергавшихся циклическому воздействию криогенных температур).

На рисунках 3–4 представлены температурные зависимости G' и $\operatorname{tg} \delta$ исследуемых ВЭПМ, подвергнутых воздействию циклов «криогенное охлаждение-нагрев».

Согласно данным, представленным на рисунках, следует отметить, что характер изменения прочностных характеристик в области стеклообразного состояния в зависимости от вида модификатора остается прежним. Воздействие

циклов «криогенное охлаждение-нагрев», в свою очередь, приводит также к снижению температуры стеклования.

Дальнейшее увеличение количества циклов «криогенное охлаждение-нагрев» и их влияние на вязкоупругие свойства исследуемых ВЭПМ носит стабилизирующий характер. Особенно отчетливо это наблюдается после 16 циклов «криогенное охлаждение-нагрев» (смотри рис. 5, рядом с экспериментальными точками на графиках указано число циклов «криогенное охлаждение-нагрев»).

Таблица 1

Влияние числа циклов «криогенное охлаждение-нагрев» на изменение температуры стеклования T_c (образец 1 – ВЭПМ, модифицированный 1 м. д. ОК; образец 2 – ВЭПМ, модифицированный 3 м. д. ОФК)

Кол-во циклов «криогенное охлаждение-нагрев»	$T_c, ^\circ\text{C}$	
	Образец 1	Образец 2
0	30	-6
4	-27	-12
8	-14	-35
16	-15	38
32	-16	41

Как видно из таблицы 1, вид модификатора влияет на степень стабилизации и характер изменения вязкоупругих характеристик ВЭПМ, подвергнутого циклическому воздействию криогенных температур. С другой стороны, очевидно, что степень стабилизации характеризуется количеством циклов «криогенное охлаждение-нагрев», после которого начинает наблюдаться стабильность вязкоупругих свойств.

Заключение

Анализируя сказанное выше, следует отметить, что циклы «криогенное охлаждение-нагрев» снижают прочностные характеристики ВЭПМ. Изменение свойств ВЭПМ при воздействии циклов «криогенное охлаждение-нагрев», в количестве до 16, носит неоднозначный экстремальный характер. Такое поведение ВЭПМ, скорее всего, связано с первичным образованием

и накоплением в них различных дефектов (микротрещин, отслоений). Увеличение числа циклов «криогенное охлаждение-нагрев» приводит к слабо выраженному изменению вязкоупругих характеристик, так называемой стабилизации свойств. Изменение этих показателей и степень их стабильности в основном определяется ви-

дом модификатора. Высоконаполненные эластомерные композиционные материалы авиационного назначения, работающие в условиях циклического воздействия криогенных температур, следует перед введением в эксплуатацию предварительно подвергать криогенной обработке.

Библиографический список

1. Насонов, А. Д. Акустическое исследование физико-механических свойств фрикционных полимерных композитных материалов / А. Д. Насонов, Ф. М. Бетеньков, А. А. Викторов и др. // Ультразвук и термодинамические свойства вещества : сб. науч. трудов. – 2006. – Вып. 33. – С. 45–49.
2. Маркин, В. Б. Влияние степени сшивки на физико-механические свойства полимерных композиционных диэлектриков / В. Б. Маркин, Ф. М. Бетеньков, А. Д. Насонов и др. // Физика диэлектриков (Диэлектрики-2008) : материалы XI международной конференции (Санкт-Петербург, 3–7 июня). — 2008. — Т. 2. — С. 368–371.
3. Насонов, А. Д. Исследование влияния пространственной сетки на вязкоупругие свойства аморфных полимеров низкочастотным акустическим методом : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.15 / Насонов Алексей Дмитриевич. – Калинин, 1980. – 208 с.
4. Бетеньков, Ф. М. Исследование влияния дисперсного наполнителя волластонита на вязкоупругие свойства стеклопластиков / Ф. М. Бетеньков, А. Д. Насонов, П. Д. Голубь // Вестник Бурятского государственного университета: химия, физика. – 2011. — Вып. 3. — С. 244–246.
5. Бетеньков, Ф. М. Исследование влияния воздействия криогенных температур на вязкоупругие свойства высоконаполненных эластомерных композиционных материалов / Ф. М. Бетеньков, А. Д. Насонов, П. Д. Голубь // Актуальные проблемы технологического и профессионально-педагогического образования : сб. науч. статей. – 2010. — Ч. 1. — С. 81–86.