

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
НИИ МЕХАНИКИ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА им. М.В. ЛОМОНОСОВА
НИИ МЕХАНИКИ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА им. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО
ООО САНАТОРИЙ «ВЯТИЧИ»

**МАТЕРИАЛЫ XXVI МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА
«ДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
МЕХАНИКИ КОНСТРУКЦИЙ И СПЛОШНЫХ СРЕД»
имени А.Г. Горшкова**

Вятичи, 16 – 20 марта 2020 г.

Том 2

**XXVI INTERNATIONAL SYMPOSIUM «DYNAMIC
AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF A MECHANICS
OF CONSTRUCTIONS AND CONTINUOUS MEDIUMS»
Dedicated to A.G. Gorshkov**

Vyatichi, 16 – 20 March 2020

Vol. 2

Москва 2020

© Материалы XXVI Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова.
Т.2. – М.: ООО "ТРП", 2020. – 244 с.

Программный комитет:

Тарлаковский Д.В. (председатель), д.ф.-м.н., проф., академик РАЕН (Россия)
Шклярчук Ф.Н. (зам. председателя), д.т.н., проф. (Россия)
Федотенков Г.В. (ученый секретарь), к.ф.-м.н., доц., член-корр. РАЕН (Россия)
Бабешко В.А., академик РАН (Россия)
Баженов В.Г., д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Белосточный Г.Н., д.т.н., проф. (Россия)
Гаврюшин С.С., д.т.н., проф. (Россия)
Гачкевич А.Р., д.ф.-м.н., проф. (Украина)
Горячева И.Г., академик РАН (Россия)
Ерофеев В.И., д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Желязов Т., профессор, Софийский технический университет (Болгария)
Зинин А.В., к.т.н., доц. (Россия)
Игумнов Л.А., д.ф.-м.н., проф., академик РАЕН (Россия)
Кит Г.С., член-корр. АН Украины (Украина)
Коноплев Ю.Г., академик АН Республики Татарстан (Россия)
Кушнир Р.М., академик НАН Украины (Украина)
Локощенко А.М., д.ф.-м.н., проф., академик РАЕН (Россия)
Ломакин Е.В., член-корр. РАН (Россия)
Матвеев А.М., академик РАН (Россия)
Медведский А.Л., д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Морозов Н.Ф., академик РАН (Россия)
Нестеров В.А., д.т.н., проф. (Россия)
Окунев Ю.М., академик РАЕН (Россия)
Остапенко Н.А., д.ф.-м.н., проф., академик РАЕН (Россия)
Паймушин В.Н., академик АН Республики Татарстан (Россия)
Петрашкевич Войцех, профессор (Польша)
Плескачевский Ю.М., член-корр. НАН Белоруссии (республика Беларусь)
Рабинский Л.Н., д.ф.-м.н., проф., член-корр. РАЕН (Россия)
Равикович Ю.А. д.т.н., проф., проректор МАИ (Россия)
Саркисян С.О., д.ф.-м.н., проф., член-корр. НАН Армении (Армения)
Старовойтов Э.И., д.ф.-м.н., проф. (республика Беларусь)
Сыпало К.И., член-корр. РАН (Россия)
Yu Gu, PhD, Professor, Beijing Jiaotong University (Китай)

Организационный комитет:

Бугаев Н.М. председатель оргкомитета,	Оконечников А.С., доцент, МАИ
зав лабораторией, МАИ	Земсков А.В., профессор, МАИ
Вахтерова Я.А., ассистент, МАИ	Федотенков Г.В., доцент, МАИ

Симпозиум проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-08-20003/20 “Научные мероприятия”).

ISBN 978-5-6043255-9-9

© Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

XXVI Международный симпозиум «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» проводился Московским авиационным институтом (национальным исследовательским университетом) – МАИ, научно-исследовательским институтом механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, научно-исследовательским институтом механики и Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского при поддержке РФФИ на базе санатория «Вятичи» с 16 по 20 марта 2020 года.

В соответствии с тематикой докладов их обсуждение проходило в рамках трех секций.

Секция I «Динамика сплошных сред» (председатель академик РАН Горячева И.Г., сопредседатели – академик НАН Украины, Кушнир Р.М. и д.ф.-м.н., профессор Старовойтов Э.И.).

Секция II «Динамика и прочность конструкций» (председатель – д.т.н., профессор Шклярчук Ф.Н., сопредседатели – д.ф.-м.н., профессор Баженов В.Г. и академик Республики Татарстан Паймушин В.Н.).

Секция III «Технологические проблемы новых материалов и конструкций» (председатель – д.ф.-м.н., профессор Рабинский Л.Н., к.т.н., доцент Зинин А.В.).

Материалы симпозиума распределены по двум томам. Во второй том вошли не включенные в первый том тезисы и отобранные программным комитетом лучшие доклады. Все материалы, в основном, приводятся в авторской редакции.

Председатель программного комитета Д.В. Тарлаковский

ВЫДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ РЕЛАКСАЦИИ В СЛОЖНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССАХ (β_k - ПРОЦЕСС В ПЭ)

Кречетова М.М.¹, Ломовской В.А.^{1,2}, Шатохина С.А.²

(¹ МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва, ² Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Москва)

Аморфно-кристаллическая структура ПЭ характеризуются сложным релаксационным поведением [1,2]. Статические исследования физико-механических характеристик полиэтиленов с различной M_w позволяют определить пределы текучести σ_m и их зависимости от температуры. Это, в свою очередь, позволило провести исследование релаксационных процессов при $\sigma \approx \sigma_m$, т. е. $\sigma = f(t)$ и установить, что реакция исследуемых систем является сложной и характеризуется двумя областями зависимости напряжений: $\sigma = \sigma_I + \sigma_{II} = \sigma(t)_T + \sigma_{const}$. В этом случае вся структурная система исследуемого образца ПЭ может быть представлена в виде совокупности двух структурно-кинетических подсистем, квази-независимо реагирующих на внешние деформирующее воздействие. Феноменологически описать общую реакцию исследуемой системы в этом случае возможно с использованием модели стандартного линейного тела:

$$\frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_1}{\eta_1} \cdot \sigma = \left[(E_0 + E_1)i\omega + \frac{E_0 E_1}{\eta_1} \right] \varepsilon_0 e^{i\omega t} \quad (1)$$

где σ - напряжение в поперечном сечении образца; E_0 и E_1 - модули упругости I и II подсистем; η_1 - вязкость II подсистемы; ω - частота.

Решением уравнения (1) для затухающего колебательного процесса, возбужденного в исследуемой системе является соотношение:

$$\lambda_i = 2\lambda_{i_{\max}} \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2)$$

где λ_i и $\lambda_{i_{\max}}$ - текущее и максимальное в пике потерь.

На спектре внутреннего трения $\lambda = f(t)$, значение логарифмического декремента; τ - время релаксации. Полученные спектры $\lambda = f(t)$ для ПЭ выявляют два локальных диссипативных процесса в различных температурных интервалах [1]. Однако, и в этом случае температурный интервал проявления этого процесса 100 градусов, а частота свободных затухающих крутильных колебаний в этом же температурном интервале изменяется от ~ 4 Гц до ~ 2 Гц. В таком узком частотном интервале можно может быть использована для модельных представлений

стандартного линейного тела дробно-экспоненциальная формула Работнова в виде [3,4]:

$$\varphi(t) = \mathfrak{D}_{\gamma-1} \left(\frac{t}{\tau} \right) = \frac{1}{\tau} \left(\frac{t}{\tau} \right)^{\gamma-1} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(\frac{t}{\tau} \right)^{\gamma n}}{\Gamma[\gamma^{(n+1)}]} \quad (3)$$

Для выявления связи между соотношением (1-3) используется введение комплексного модуля $E^*(i\omega)$ в общем соотношении: $\sigma(t) = E^*(i\omega) \varepsilon(t)$

где

$$E^*(i\omega) = E'(\omega) + iE''(\omega); \quad E'(\omega) = E_l + \frac{E_{II} \eta_{II}^2 \omega^2}{E_{II}^2 + \eta_{II}^2 \omega^2} \quad (4)$$

$$E''(\omega) = \frac{E_{II}^2 \eta_{II} \omega}{E_{II}^2 + \eta_{II}^2 \omega^2}; \quad \lambda = \frac{1}{\pi} \frac{E''(\omega)}{E'(\omega)}.$$

Учитывая соотношения (4) и используя преобразования Лапласа для функции Работнова (3) и тригонометрические функции, входящие в ряд, удаётся построить нормированные зависимости $\lambda_i / \lambda_{i_{\max}}$ при различных значениях параметра дробности γ , который может служить характеристикой релаксационной микронеоднородности релаксирующей структурно-кинетической подсистемы в комбинированном образце. Однако, это возможно лишь в узком частотном диапазоне, т. к. ранее было показано, что ядро Работнова в широком частотном диапазоне не может быть использовано вследствие несоблюдения некоторых требований к сходимости функции и её образа [5].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-00427 и №19-33-90105.

Литература

1. Ломовской В.А., Мазурина С.А., Симонов-Емельянов И.Д., Киселев М.Р., Константинов Н.Ю. Релаксационная спектроскопия полиэтиленов с разной молекулярной массой. — М.: Материаловедение, 2018. — №7. — С. 9 – 17.
2. Алехина Р.А., Ломовской В.А., Симонов-Емельянов И.Д., Шатохина С.А. Релаксационная и физико-механические характеристики полиэтиленов с различной молекулярной массой. — М.: Тонкие химические технологии, 2019. — Т.14. — №6. — С. 61 – 71.
3. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. — М.: Наука, 1974. — С. 383.
4. Андреев И.В., Мазурин О.В. Исследование реологических свойств оконного стекла динамическим механическим методом. // Физ. и хим. стекла, 1980. — Т.6. — № 2. — С. 203 – 210.

5. Валишин А.А., Горшков А.А., Ломовской В.А. Релаксационные процессы и их спектры в ликвирующих стеклах // Изв. РАН. МТТ, 2011. – № 2. – С. 169 – 182.

МЕТОД ПРОДОЛЖЕНИЯ РЕШЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРУ В ЗАДАЧЕ О НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ПОЛЗУЧЕСТИ НАГРЕТОЙ ТОЛСТОСТЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЫ С УЧЕТОМ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Кузнецов Е.Б.¹, Леонов С.С.^{1,2}

(¹Московский авиационный институт, ²Российский университет дружбы народов, Москва)

Рассматривается задача о неустановившейся ползучести равномерно прогретой до температуры $T = 450^\circ\text{C}$ толстостенной цилиндрической трубы постоянной толщины из сплава АК4-1Т, подверженной действию постоянного внутреннего давления P . Для описания данной задачи с учетом больших перемещений используется система определяющих уравнений энергетического варианта теории ползучести совместно с условием пропорциональности девиаторов напряжений и скоростей деформации вида [1]

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{B \cdot \sigma_i^n}{A^\alpha (A_*^{\alpha+1} - A^{\alpha+1})^m}, \quad \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial t} = \frac{\partial A}{\partial t} \cdot \frac{3\sigma_r}{2\sigma_i^2}, \quad \frac{\partial \varepsilon_\varphi}{\partial t} = \frac{\partial A}{\partial t} \cdot \frac{3\sigma_\varphi}{2\sigma_i^2}, \quad t \in [0; t_*], \quad x \in [x_1, 1] \quad (1)$$

с начальными условиями

$$A(0, x) = \varepsilon_r(0, x) = \varepsilon_\varphi(0, x) = 0 \quad \forall x \in [x_1, 1]. \quad (2)$$

Здесь $A(t, x)$ – удельная работа рассеяния, $\varepsilon_r(t, x)$, $\varepsilon_\varphi(t, x)$ – радиальная и тангенциальная компоненты деформаций ползучести, t – время, $x = r / R_2$ – безразмерный радиус, r – радиальная координата точки трубы до деформации, R_1 и R_2 – начальные внутренний и внешний радиусы трубы, $\sigma_i = \sqrt{\sigma_r^2 - \sigma_r \sigma_\varphi + \sigma_\varphi^2}$ – интенсивность напряжений, $\sigma_r(t, x)$, $\sigma_\varphi(t, x)$ – радиальная и тангенциальная компоненты напряжений, t_* – момент разрушения конструкции, A_* – критическое значение удельной работы рассеяния, $x_1 = R_1 / R_2$, B, n, m, α – характеристики ползучести материала. Решение задачи (1)-(2) ищется при фиксированном значении аргумента x , что дает возможность заменить частные производные на полные.

Значения компонент напряжений вдоль сечения трубы в каждый момент времени находятся из решения краевой задачи для системы дифференциальных уравнений [1]