

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕРМО-ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИВЗАИМОСВЯЗИ СВОЙСТВ ПММА ПО ЭНДОХРОННОЙ КОНЦЕПЦИИ

Полиметилметакрилат (ПММА) [1] — органическое стекло, термопластичный полимер линейной структуры является одним из наиболее широко применяемых полимерных материалов для различных современных изделий бытового и ответственного назначения. В настоящее время происходит стремительное развитие технологий изготовления различных новых модификаций ПММА, в том числе — с наноструктурой. Благодаря ряду ценных свойств материала, он находит незаменимые применения при низких и высоких температурах в области авиационной и космической техники, надводного и подводного кораблестроения, и как материал для моделирования краевых задач механики деформируемого твердого тела экспериментальными методами, в том числе информативными поляризационно-оптическими.

В данной работе, по экспериментальным сведениям автора с сотрудниками и других исследователей [2 и др.], с позиций эндохронного (с собственным, внутренним временем) подхода, применённого для отверждённого эпоксидного компаунда [3], рассмотрено поведение характеристик тепловой деформации, механической податливости, долговечности, параметров напряжённо-, деформационно-, температурно-временного соответствий и поляризационно-оптических характеристик технического ПММА марки ТОСП при одноосном растяжении.

Проведено физико-математическое сравнение этих характеристик и их 2d преобразованных (трансформированных) величин между собой в разных шкалах, включая различные эндохронные координаты, в том числе критических прочностных и структурных (фазовых) характеристик.

В области линейной и нелинейной определены функции механической, оптической ползучести и релаксации материала, выполнено математическое обращение интегральных уравнений в шкале «эндохронного (приведенного) по температуре времени».

Рассмотрены эндохронные критерии прочности и отсутствия текучести в форме повреждаемости, основанном на идеологии (интеграле) Бейли с использованием приведенного времени, и критерий фазового перехода. В интервале лабораторного времени от минут до месяца работа разрушения ПММА является инвариантом (постоянной), в случае динамического нагружения, она в 1,8 раза больше. Инвариантом достижения потери прочности является величина приведенного времени.

Установлено, что аналитические модели, базирующиеся на концепции горизонтального и вертикального масштабирования (2D скейлинга), позволяют универсальным методом преобразовывать параметры свойств ПММА к различным формам, в частности, к s-образной, полноценно отражающей фазовые переходы

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9

структуры при воздействиях, например в области стеклообразного и высокоэластического состояний.

Рассмотрены математические формулы связи нелинейной обобщенной функции ползучести и релаксации со «сложным» приведенным временем. При использовании только масштаба трансформированного времени, для достаточно полного описания поведения материала в немонотонных процессах, требуется иерархический набор подмасштабов: первый — обобщенный, второй — характеризующий трансформируемое время в случае постоянного напряжения, третий — ответственный за дополнительное изменение времени при переменном напряжении (зависит от скорости деформации).

Анализируется вид масштабов «простого» приведенного по температуре времени в случае 1d подхода и в случае 1d. Сопоставляя различные функции, друг с другом можно их взаимно уточнить и значительно дополнить, существенно расширить.

Для математического описания s-образных функций с сильными изменениями, структурными (фазовыми) переходами (температур стеклования и высокоэластического состояния), применён эффективный алгоритм зависимости логарифма функции ползучести от арктангенса трансформированного времени всего лишь с четырьмя постоянными.

Благодаря установлению взаимосвязи функциональных характеристик ПММА удаётся их взаимно существенно дополнить и уточнить.

Получение численных значений и графических изображений выполнено программным комплексом «Excel». Для приближения функций к экспериментальным точкам по методу наименьших квадратов был применён программный комплекс «Mathcad», что позволило осуществить описание применённых моделей с удовлетворительной точностью, не ниже разброса опытных данных.

#### Список литературы

1. Кацнельсон Н.Ю., Балаев Г. А. Полимерные материалы: Справочник — Л.: Химия, 1982. — 317 с.
2. Федоровский Г. Д. Эндохронные критерии прочности, текучести и фазовой устойчивости. В Межвуз. сб./СПбГУ: Проблемы механики деформируемого тела (к 70-летию со дня рожд. акад. Н. Ф. Морозова). СПб: СПбГУ, 2002. — С. 291–298.
3. Федоровский Г. Д. О физико-математическом моделировании определяющих функциональных свойств и взаимосвязи свойств традиционных и наноструктурных материалов // Морские интеллектуальные технологии, 2019, № 3 (45), Т. 3. — С. 201–207.