

УДК 669.017: 539.43: 548.4

Рассоха А.Н., Черкашина А.Н.

**ФРАКТАЛЬНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУР
ФУРАНО-ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Анализ структуры полимерных систем, которые по сути являются микро- или макрогетерогенными системами, показал, что наиболее чувствительными элементами являются границы раздела фаз и наличие фрактальных структур, обеспечивающих адаптацию материала к факторам внешнего воздействия. Результатом этой адаптации является наличие связи между реологическими, прочностными, эксплуатационными характеристиками полимерного материала и фрактальными параметрами структуры [1-3].

Основой синергетических принципов управления свойствами полимерных систем является универсальность законов адаптации структуры к внешнему воздействию. Универсальность заключается в том, что при адаптационных перестройках структуры материала критические параметры перестают зависеть от внешних условий и становятся константами, определяющими неравновесные фазовые переходы при данном механизме самоорганизации структуры [3, 4]. Адаптация структуры является процессом перестройки структуры, потерявшей устойчивость, с самоорганизацией новой, более устойчивой структуры фрактального характера.

В случае фрактальных структур функция d_i вида $d_i^{1/m} = V_n / V_{n+1}$ должна быть связана с параметрами, контролирующими неравновесные фазовые переходы в процессе эволюции структуры и описывает самоподобие последовательного изменения критических параметров, контролирующих переход от одной точки неустойчивости системы к другой [3, 5]. V_n и V_{n+1} соответственно значение предыдущего и последующего критического параметра, $d_i^{1/m} = A$ – мера адаптации системы после воздействия внешних факторов, d_i – мера устойчивости нелинейной динамической системы, $a = 1/m$ – параметр, характеризующий способность структуры системы адаптироваться к изменению внешнего фактора, m – число перестроек структуры (показатель периодичности).

Экспериментальные и теоретические исследования последних лет позволяют говорить, что фракталы являются информаторами, сигнализирующими о состоянии системы. Информативность фракталов обеспечивается инвариантными и самоподобными свойствами, способностью передавать системе информацию о нарушении устойчивости своего структурного состояния, адаптивностью (способностью самовосстанавливаться) к внешнему воздействию вследствие перестройки фрактального множества в точках неустойчивости структуры системы (точках бифуркации) – за счет внутренней энергии и обратных связей выбирать дальнейшую структуру функционирования [4,6].

В последнее время установлено, что универсальным критерием устойчивости структуры системы, является золотая пропорция и параметры, производные от нее (табл. 1) [7].

Таблица 1 – Детерминированные законом золотой пропорции константы самоподобия d_i эволюционирующих систем и соответствующие им показатели m при структурных перестройках для самоуправляемых систем с обратной связью

I	m/d_i	1	2	4	8	16	32	64	128
1	0,618	0,618							
2	0,465	0,465	0,682						
3	0,380	0,380	0,616	0,785					
4	0,324	0,324	0,569	0,754	0,869				
5	0,285	0,285	0,534	0,731	0,855	0,925			
6	0,255	0,255	0,505	0,711	0,843	0,918	0,958		
7	0,232	0,232	0,482	0,694	0,833	0,913	0,955	0,977	
8	0,213	0,213	0,461	0,679	0,824	0,908	0,953	0,976	0,988

Представляло интерес в рамках синергетического подхода к анализу устойчивости фрактальных структур в полимерных материалах, учитывающих универсальность и масштабную инвариантность параметров, контролирующих неравновесные фазовые переходы, проанализировать влияние соотношения компонентов на адаптивность структуры фурано-эпоксидных полимеров (ФАЭД).

Число ассоциированных структурных элементов в ФАЭД является важным структурным параметром системы, использование которого позволяет проанализировать структуру совмещенного олигомера к варьированию соотношения компонентов в нем.

С целью количественной оценки устойчивости и адаптивности структуры ФАЭД использовали экспериментальную зависимость числа ассоциированных элементов, определенных на основании реологических исследований, от состава олигомера, на которых при приближении критической концентрации эпоксидного олигомера (ЭО) спонтанно изменяется вид зависимости (появляются точки перегиба). Точки перегиба на этой зависимости являются точками бифуркации, при достижении которых прежняя структура становится нестабильной, и в процессе адаптации самоорганизуется в более устойчивую. В интервале критических значений параметра N / N_0 (относительное число структурных частиц в ассоциате), структура остается стабильной в результате адаптации ее к изменению состава ФАЭД. Определение динамической вязкости ФАЭД осуществлялось на ротационном реовискозиметре "Реотест-2" с узлом типа "цилиндр- цилиндр".

В табл.2 представлены критические значения N / N_0 , отвечающие точкам бифуркации и значения мер устойчивости (d_i) и адаптивности ($A_m, m, a, A_m^*, m^*, a^*$) структуры ФАЭД к изменению его состава, определяемые в соответствии с алгоритмом [1] и табл.1.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что в диапазоне исследованных концентраций ЭО ФАЭД характеризуется различной мерой устойчивости и адаптивности структуры.

Таблица 2 – Значение критических параметров N / N_0 , отвечающие точкам бифуркации, показатели устойчивости и адаптивности структуры ФАЭД

Концентрация ЭО, масс. доли	B_n/B_{n+1}	d_i	A_m	M	a	A_m^*	m^*	a^*
0,075-0,125	0,809	0,213	0,824	8	0,125	0,998	128	0,008
0,125-0,150	0,618	0,618	0,618	1	1,000	0,618	1	1,000
0,150-0,200	0,878	0,324	0,869	8	0,125	0,869	8	0,125
0,200-0,225	0,863	0,324	0,869	8	0,125	0,869	8	0,125
0,225-0,375	0,720	0,225	0,711	4	0,250	0,958	32	0,031
0,375-0,450	0,673	0,465	0,682	2	0,500	0,682	2	0,500
0,450-0,600	0,713	0,255	0,711	4	0,250	0,958	32	0,031

Примечание: $B_n = (N/N_0)$, $B_{n+1} = (N/N_0)_{n+1}$

В диапазоне $0,075 \div 0,125$ масс. долей ЭО система характеризуется минимальной устойчивостью ($d_i = 0,213$), однако чрезвычайно высокой – максимальной способностью к адаптации: критическое значение мер адаптивности наибольшее – $A_m^* = 0,998$, а возможное число перестроек структуры m (показатель периодичности) колеблется в интервале $8 \div 128$.

В интервале $0,125 \div 0,15$ масс. долей ЭО олигомер обладает максимальной устойчивостью ($d_i = 0,618$ и минимальной адаптивностью $A_m^* = 0,618$), при этом перестройка структуры не приводит к увеличению адаптивности ($m = 1$).

Диапазоны $0,15 \div 0,225$ и $0,225 \div 0,375$ масс. долей ЭО характеризуются невысокой устойчивостью структуры ФАЭД (соответственно $d_i = 0,324$ и $0,255$), но достаточно

значительной способностью к адаптации ($A_m^* = 0,869 \div 0,958$) и расширения возможности перестройки структуры для интервала $0,225 \div 0,375$ масс. долей ЭО (m изменяется в интервале $4 \div 32$).

В интервале $0,375 \div 0,450$ масс. долей ЭО происходит некоторое увеличение устойчивости ($d_i = 0,465$) и снижение адаптивности системы к рецептурным факторам ($A_m^* = 0,682$) с последующим (интервал $0,45 \div 0,60$) снижением устойчивости структуры ($d_i = 0,255$), однако существенно увеличивается адаптивность ФАЭД ($A_m^* = 0,958$) и количество вариантов перестроек структуры в процессе адаптации к варьированию рецептурных факторов ($m = 4-32$).

Проведенный анализ структуры ФАЭД в рамках фрактально-синергетического подхода, предоставил информацию о прошедших изменениях структуры фурано-эпоксидного олигомера в результате варьирования соотношения компонентов, охарактеризовал степень удаления системы от состояния равновесия и диапазон концентраций ЭО, в которых происходит скачкообразный переход от одного равновесного (стационарного) состояния системы в другое. Различные концентрационные диапазоны ФАЭД обладают разной устойчивостью и различной адаптивностью, а, следовательно, и разной упорядоченностью.

Литература

1. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. М.: Наука, 1994, 383 с
2. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 423 с.
3. Новиков В.У., Иванова В.С., Недвига С.И. Фрактально-синергетический аспект анализа устойчивости структур в полимерных материалах // Пласт. массы, 2003, № 10, С. 17-22.
4. Новиков В.У., Козлов Г.В. Структура и свойства полимеров в рамках фрактального подхода // Успехи химии, 2002. Т.69, № 6, С. 572-586.
5. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир. 1973. 280 с.
6. Иванова В.С. Мультифрактальный метод тестирования устойчивости структур в материалах. М.: Интерконтакт. 2000.
7. Шевелев И.Ш., Марутаев М.А., Шмелев И.П. Золотое сечение. Три взгляда на природу гармонии. М.: Стройиздат, 1990.

УДК 669.017: 539.43: 548.4

Рассоха О.М., Черкашина Г.М.

ФРАКТАЛЬНО-СИНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СТРУКТУР ФУРАНО-ЕПОКСИДНИХ МАТЕРІАЛІВ

В межах мультифрактального аналізу розвивляються питання стійкості і адаптації структур фурано-епоксидних систем у залежності від співвідношення компонентів мономеру ФАМ та епоксидного олігомеру. Виявлено концентраційні діапазони, що забезпечують високий рівень стійкості та адаптації структур досліджених фурано-епоксидних матеріалів.