

Изд. Воронеж, 1991. – 205 с. **6.** Андреев А.Н. Производство сдобных хлебобулочных изделий. – С-Пб.: ГИОРД, 2003. – 469 с. **7.** Хроменков В.М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик. – С-Пб.: ГИОРД, 2002. – 488 с. **8.** Борейша И.А. Технологическое оборудование хлебопекарных предприятий. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1991. – 187 с. **9.** Тульский Н.В. Малогабаритное оборудование хлебопекарных предприятий. – М.: Пищпром., 1976. – 272 с.

Поступила в редколлегию: 14.04.08р.

УДК 621:662.6:678.5

А.Н. РАССОХА, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»

ФУРАНО-ЭПОКСИДНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

В роботі наведені результати розрахунково-теоретичного аналізу та практичного дослідження топологічної структури, міцностних, технологічних та експлуатаційних властивостей фурано-епоксидних полімерів, що наповненні кварцевим піском, періклазом та каоліном.

Results of theory analysis and practical investigation of topology structure, stiffness and technology properties of furan-epoxy polymers filled by quartz sand and kaolin are represented in this work

Структуру фурано-эпоксидных полимеров (ФАЭД), содержащих дисперсные наполнители (кварцевый песок, каолин, периклаз), с достаточной степенью точности можно описать в рамках модели композита, у которой полимерное связующее наполненной системы состоит из свободной (Θ), недоступной (B) полимерной части и граничного слоя (M) заданной толщины (δ), которые целесообразно выразить через максимальную объемную долю наполнителя при плотной упаковке частиц дисперсной фазы φ_{max} и степень заполнения φ .

Определяя опытным путем или задавая значения толщины межфазного слоя (МФС) δ , можно оценить его долю M в композите: $M = (f^3 - 1) \cdot j$, где φ_n – объемная доля полимера, рассчитываемая по формуле $j_n = 1 - j$; f^3 – коэффициент, учитывающий отношение толщины граничного слоя к диаметру частиц d , $f^3 = (1 + 2d/d)^3$. Так как МФС слои не принимают участие в процессе течения наполненной системы, то текучесть фурано-эпоксидного мате-

риала обеспечивается наличием связующего, находящегося в свободном (Θ) и недоступном (B) объеме: $j_n - M = \Theta + B$. Текучесть композиции на основе ФАЭД определяется наличием некоторой доли свободной части связующего Θ , оцениваемой по соотношению: $\Theta = (j_{\max} - f^3 \cdot j) / j_{\max}$. Минимальная доля ФАЭД, находящегося в недоступном объеме B между частицами наполнителя с эффективным диаметром $D = d + 2d$ при $j \approx j_{\max}$, не образует непрерывной фазы связующего в композиционной системе и ее можно оценить по формуле: $B = [(1 - j_{\max}) / j_{\max}] \cdot f^3 \cdot j$.

Анализ структуры фурано-эпоксидных полимерных композиционных материалов (ПКМ) проводился для наполнителей различной степени дисперсности: тонко-, средне- и грубодисперсных материалов. Параметры наполненных систем приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика структурных элементов ПКМ

Тип дисперсности	φ_{\max} , об. доли	d , мкм	δ , мкм	f^3
Тонкодисперсный	0,6371	5	0,2	1,0242
Среднедисперсный	0,6402	30	0,8	1,1686
Грубодисперсный	0,6497	60	1,0	1,1023

Толщину граничного слоя δ оценивали по результатам реологических испытаний, учитывая тот факт, что этот параметр зависит от напряжения сдвига при течении композиции на основе ФАЭД. Однако при определенном δ вязкость ФАЭД в МФС резко возрастает и в нем не проявляются сдвиговые деформации, а частица наполнителя (кварцевый песок, каолин, периклаз) перемещается совместно со связующим, увеличивая эффективный диаметр $D = d + 2d$.

На рис. 1 – 3 представлены структурные параметры наполненных фурано-эпоксидных ПКМ.

Топологическую структуру густосшитых фурано-эпоксидных полимеров можно рассматривать как непрерывную трехмерную структуру, состоящую из локальных сгущений (густосшитых «ядер») и разреженных дефектных зон, концентрирующих топологические дефекты. Густосшитые участки этой структуры проявляются в виде глобулярных агрегатов с большой плотностью молекулярной упаковки.

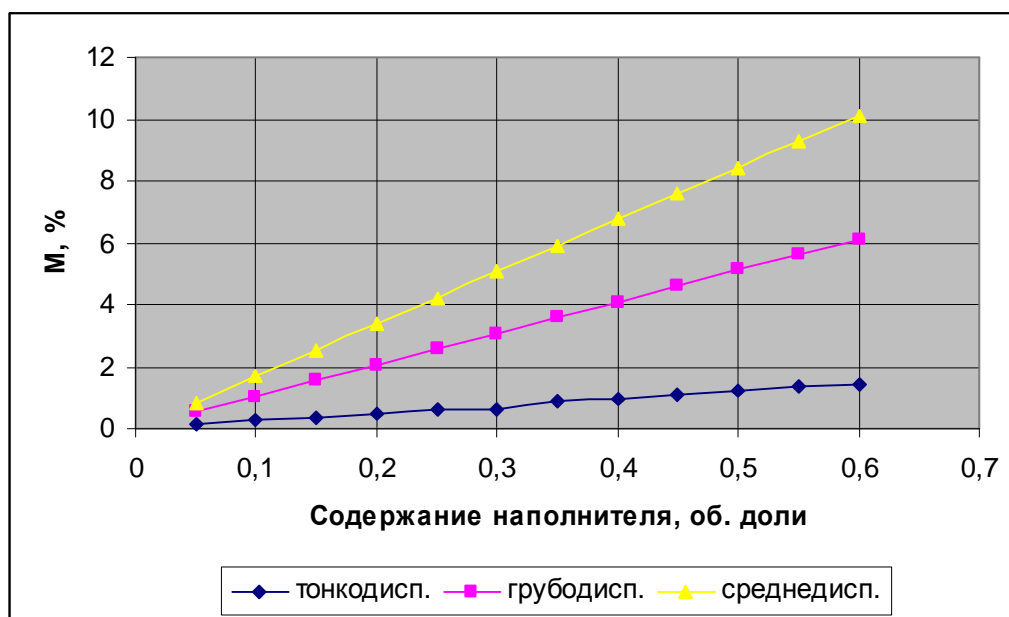


Рис. 1. Зависимость содержания МФС в фурано-эпоксидном композите от концентрации наполнителя при различной дисперсности

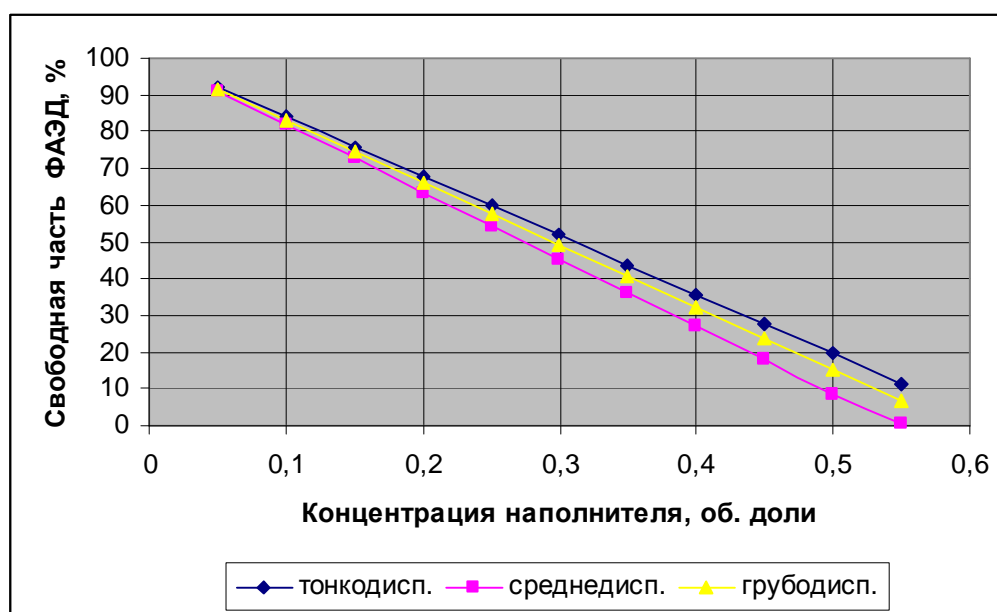


Рис. 2. Зависимость содержания свободной части ФАЭД от концентрации наполнителя различной степени дисперсности.

С целью направленного регулирования свойств фурано-эпоксидных полимеров целесообразно проводить межструктурную модификацию выбранными материалами (каменноугольной смолой – КУС, госсиполовой смолой – ГС, низкомолекулярным полиизобутиленом – НМПИБ, битумом – БН), в результате которой добавки-модификаторы оказываются вытесненными из более плотных глобул в рыхло упакованные дефектные зоны, квазиадсорби-

руясь на поверхности густосшитых «ядер». При этом общая структурная организация фурано-эпоксидного полимера практически не изменяется.

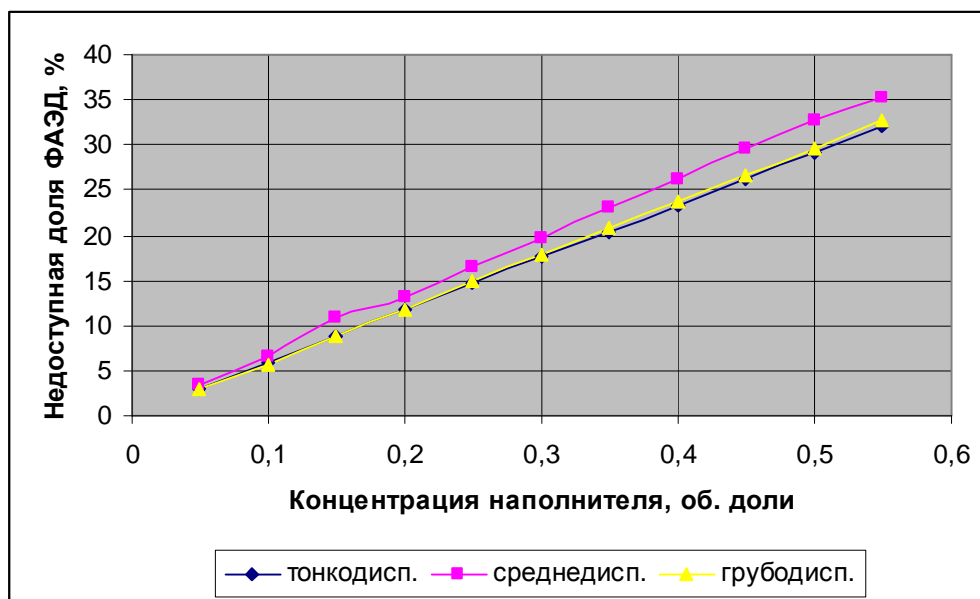


Рис. 3. Зависимость содержания недоступной части ФАЭД в композите от концентрации наполнителя различной степени дисперсности.

Минимальное количество модификатора C_m (масс. %), необходимого для формирования на поверхности глобулярного образования («ядра») с эффективным диаметром d (мкм) мономолекулярного слоя, можно ориентировочно оценить из соотношения: $d = 0,2/C_m$.

Учитывая, что морфологический анализ композиций ФАЭД-20(20) – ФАЭД-40(20) показал преимущественное наличие глобул со среднеэффективным диаметром $d = 0,015 – 0,040$ мкм и незначительное количество сферических структурных элементов $\approx 1,5 – 2,0$ мкм, то количество модификатора (моно-, ди-, тримолекулярный слой) составляет (табл. 2):

Таблица 2

Необходимое количество структурных модификаторов, масс. %

Диаметр d , мкм	Количество модификатора C_m при толщине слоя (в молекулах)		
	моно	ди	три
0,015	13,3	26,6	39,9
0,040	5	10	15
1,5	0,13	0,26	0,39
2,0	0,1	0,2	0,3

Таким образом, диапазон оптимальных концентраций модифицирующего агента фурано-эпоксидных полимеров в случае мономолекулярного слоя находится в интервале 5 – 13,3 масс. %. Введение большего количества модификаторов (вариант ди- и тримолекулярной квазиадсорбции), как правило, приводит к трансформированию структуры фурано-эпоксидных полимеров.

Способность фурано-эпоксидных РСО структурироваться не только при термическом воздействии, но и при комнатной температуре, высокая адгезия к различным субстратам, теплостойкость, технологичность, удовлетворительная прочность предопределили характер композитов, разработанных на их основе.

По технологическим признакам количество видов фурано-эпоксидных ПКМ относительно невелико (антикоррозионные материалы, клеи и герметики, мастики, замазки, полимербетоны, пресс-материалы).

Широкий ассортимент фурано-эпоксидных композиционных систем, высокий комплекс прочностных, технологических и эксплуатационных свойств объясняет их широкое практическое применение в различных отраслях науки, техники, промышленности. По функциональному назначению и областям назначения все композиты на основе фурано-эпоксидных композитов можно условно разделить на следующие группы:

1. Антикоррозионные композиционные системы для защиты: металлических поверхностей (трубопроводы, технологическое оборудование, конструкции и др.); железобетонных конструкций; деревянных конструкций и сооружений.

2. Клеевые, заливочные и герметизирующие компаунды.

3. Полимерные композиционные системы строительного назначения (полимербетоны, полимермастики и полимерзамазки)..

4. Пресс-материалы с функциональными наполнителями дисперсного или армирующего типов.

5. Теплостойкие композиционные материалы.

Наиболее широкую популярность композиты на основе АЭД приобрели в качестве антикоррозионных защитных систем. фурано-эпоксидные системы хорошо зарекомендовали себя для защиты внешней и внутренней поверхности металлических и железобетонных трубопроводов, металлоконструкций, дымовых труб и газоходов, в других областях промышленности. Для защиты

деревянных конструкций и сооружений фурано-эпоксидные материалы используются редко.

Особую ценность фурано-эпоксидные композиты приобрели в качестве основы при формировании защитных антикоррозионных систем на внешней поверхности газо- и нефтепроводов, эксплуатируемых при высоких температурах, так как покрытия характеризуются устойчивостью к размягчению, гидролизу или отслаиванию под действием водных эксплуатационных сред, отсутствием склонности к естественному разрушению, охрупчиванию, потере адгезионных контактов между покрытием и субстратом .

Широко используются защитно-конструкционные системы на основе ФАЭД для придания объектам водостойкости, футеровки различного технологического оборудования. Композиционные фурано-эпоксидные системы удовлетворяют практически всем требованиям, предъявляемым к защитно-конструкционным материалам и обеспечивают надежную работу конструкции во времени с учетом деформации системы при изменении температуры эксплуатации .

Защитные системы на основе ФАЭД, нанесенные на бетонные и железобетонные элементы, являются не только эффективной антикоррозионной защитой, но и значительно повышают долговечность защищаемых объектов, улучшают прочностные параметры железобетона, повышают трещиностойкость за счет увеличения предельной растяжимости бетона .

Фурано-эпоксидные клеевые, герметизирующие и заливочные компаунды обладают высоким уровнем адгезионных параметров и когезионной прочностью в отвержденном состоянии и поэтому применяются в различных отраслях науки и техники для склеивания и герметизации металлов, бетона, стеклопластиков, сотовых пластмассовых конструкций и др. Несмотря на то, что существует большое число композиций на основе ФАЭД для этих целей, непрерывно проводятся работы, направленные на дальнейшее повышение их технологических и эксплуатационных параметров.

Особое место среди прогрессивных материалов в современном индустриальном и гражданском строительстве занимают фурано-эпоксидные полимербетоны, полимеррастворы и мастики. Внедрение фурано-эпоксидных материалов для соединения сборных элементов, ремонта и усиления несущих и ограждающих конструкций, увеличения сцепления "нового" бетона со "старым", устройства защитно-декоративных покрытий, полов дает большой технико-экономический эффект.

Опыт применения полимербетонов на основе фурано-эпоксидных реакционноспособных систем для защиты наиболее уязвимых мест гидротехнических сооружений показывает, что полимербетоны достаточно эффективно противостоят эрозии, которая вызывается быстрыми потоками воды с высоким содержанием абразивных частиц, а также циклическим воздействием факторов светопогоды .

Разработка состава и технологии формирования композиционных пресс-материалов на основе ФАЭД и функциональных наполнителей является сложной задачей инженерного материаловедения, так как не удается получить композиционные системы с высоким уровнем технологических свойств (жизнеспособность, текучесть и др.) .

Однако фурано-эпоксидные пресс-материалы нашли широкое применение в радиоэлектронной, электротехнической промышленности, машиностроении. На основе ФАЭД разработана магнитопроводящая диэлектрическая композиция, содержащая железный порошок и обладающая свойствами металла и неметалла: она проводит магнитный поток и является диэлектриком. Создан композит конструкционного назначения для ремонта блоков цилиндров двигателей автомобилей и тракторов, а также силовых конструкций деталей машин. Разработаны ряд фурано-эпоксидных антифрикционных ПКМ, изделия из которых эффективно работают при повышенных температурах и значительных удельных нагрузках .

Композиты на основе ФАЭД применяют для изготовления литьевых форм и формовой оснастки, периодически работающих в интервале температур 100 – 200 °С.

Таким образом, фурано-эпоксидные композиционные материалы, содержащие дисперсные наполнители и функциональные модификаторы являются перспективным классом полимерных композитов с широким спектром возможностей и областей использования.

Поступила в редколлегию 10.04.08