

УДК 666.927.691

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ И  
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

*К.т.н., проф. Березюк А.Н., к.т.н., доц. Ганник Н.И.,  
к.т.н., доц. Гавриш А.В., к.т.н., доц. Мартыш А.П.,  
асс. Гайдар А.Н., асс. Ценацевич Т.А.*

*ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и  
архитектуры", г. Днепропетровск*

Для изучения композиционных строительных материалов все шире применяются методы, основанные на новейших достижениях физической химии, электроники и математики.

Существующие методы испытания полимерных композиций можно разделить на два класса: испытания на макро- и микроуровнях, которые в свою очередь можно разделить на три группы:

- исследование ненаполненных неотвержденных композиций;
- исследование наполненных композиций в процессе отверждения;
- исследование наполненных отвержденных композиций.

Первая группа исследований касается изучения свойств ненаполненных смол обычных и модифицированных ПАВ разной природы и концентрации. К этой группе относятся исследования: условной и динамической вязкостей; плотности; поверхностного натяжения смолы; краевого угла смачивания смолы гладких поверхностей, работу адгезии смолы к стеклу и к поверхности порошковых наполнителей. К этой группе также относятся исследования на микроуровне – снятие ИК – спектров мономера ФА, инициатора отверждения БСК и поверхностно активных веществ.

Условная вязкость ненаполненных фурановых смол без добавок и с добавками ПАВ измерялась вискозиметром ВЗ-4 с диаметром сопла 4мм по ГОСТ 8420-74.

Динамическая вязкость определялась по методу Стокса [1]. Исследуемая жидкость заливается в мерный цилиндр. Металлический шарик радиусом ( $r$ ) кладется (без толчка) на поверхность жидкости. Как только шарик достигнет точки А (движение шарика станет равномерным), включается электросекундомер и выключается на отметке В.

Вязкость жидкости ( $\eta$ ), находится по формуле

$$\eta = \frac{2}{9} gr^2 \frac{(\rho_{ш} - \rho_{ж})t}{e}; \quad (1.1)$$

где  $g$ - 9,8 м/сек<sup>2</sup> – ускорение силы тяжести;

$t$  - время за которое шарик пройдет расстояние между метками на мерном цилиндре;

$\rho_{ш}, \rho_{ж}$  - плотность материала соответственно шарика и жидкости.

Плотность смолы определяется пикнометром Пинкевича [2].

Поверхностное натяжение ( $\sigma$ ) смолы определяется методом максимального давления газовых пузырьков на приборе П.А.Ребиндера,

методом счета капель и методом отрыва кольца [2].

Краевой угол смачивания гладких поверхностей определялся методом капиллярного поднятия [3], в порошковых наполнителях – по скорости пропитки порошка.

Работа адгезии связующего к поверхности стекла [4] определяется их следующих соображений. Пусть связующее поднялось по капилляру на некоторую высоту  $h$ . Можно считать что работа смачивания  $A_1$ , уравновешивается работой образования новой поверхности  $A_2$  и работой по подъему жидкости в капилляре  $A_3$  ( $A_1=A_2+A_3$ ). Тогда работа смачивания будет равна:

$$A_1 = Wa \cdot S_{бок}; \quad (1.2)$$

где  $W_a$  - работа адгезии;

$S_{бок}=2nRh$  - боковая поверхность цилиндра (капилляра);

$r$  - радиус капилляра.

Работа по образованию новой поверхности жидкости равна:

$$A = \sigma \cdot S_{бок} = \sigma 2nRh; \quad (1.3)$$

Работа перемещения центра тяжести жидкости равна:

$$A_3 = mgh / 2 = \rho Vgh / 2 = \rho nr^2 hgh / 2; \quad (1.4)$$

где  $\rho$  - плотность связующего.

Откуда:

$$Wa = \sigma + \frac{\rho ghr}{4}; \quad (1.5)$$

Работа адгезии связующего к поверхности порошковых наполнителей также рассчитывается по формуле (1.5), где  $r$  - радиус пор, который определяется при пропитке порошка эталонной жидкостью (например водой);  $h$  - глубина пропитки порошка за определенное время [4].

Ко второй группе относятся исследования свойств наполненных фурановых композиций. К этим исследованиям относятся: определение структурной прочности композиций в начальные сроки отверждения, контракции, линейной усадки, внутренних напряжений, теплоты полимеризации, работы адгезии фурановых композиций к бетону, кинематики отверждения при комнатной и повышенных температурах.

Технология приготовления составов фурановых композиций следующая: нужное количество фурановой смолы совмещается с отвердителем (расплавленной при температуре 55-60°C и остывшей до температуры 35-40°C бензолсульфокислоты (БСК), затем вводится наполнитель). Смесь хорошо перемешивается и укладывается в заранее пропарафиненные формы и подвергается виброуплотнению. Поверхностно-активные вещества вводились в фурановую смолу в процентном содержании от массы смолы. Количество наполнителя определялось отношением П/Н.

Структурная прочность (предельное напряжение сдвига) исследуемых композиций определялось на коническом пластометре П.А.Ребиндера.

Линейная усадка измерялась с помощью горизонтального оптического компаратора ИЗА-2. В металлическую форму размером 4x4x16, покрытую тонким слоем парафина заливается исследуемая смесь, форма становится на виброплощадку, а затем в смесь вставляются два репера, расстояние между которыми измеряется на компараторе с точностью до 0,0005мм. Это расстояние принимается за  $l_0$ . Последующие замеры делаются в следующие сроки: первые 6 часов – через каждый час, затем через 1,3,7,14,26 суток.

Удельная поверхность наполнителей определялась на приборе ПСХ-4. Внутренние напряжения в структуре композиций измерялись с помощью магнитоупругих датчиков [6].

Теплота полимеризации и максимум экзотермии полимерной композиции изучалась с помощью термосного калориметра с автоматической записью результатов по методике [7] и по ГОСТ 21970-76. Теплоту полимеризации рассчитывали по формуле:

$$g = g_k F ; \quad (1.6)$$

где  $g_k = 0,015$  Дж/с;

$k$  - (постоянная);

$F$  - площадь ограниченной кривой  $\Delta T=f(\tau)$ , автоматически записанной на диаграммной ленте и осью времени ( $\tau$ ).

Работа адгезии наполненных фурановых композиций к бетону определялась методом нормального отрыва шайб и методом разрушения при изгибе склеенных балочек [8].

При исследовании свойств отвержденных фурановых композитов определялись: кратковременные пределы прочности при сжатии, растяжении, изгибе; относительные деформации при растяжении и сжатии; коэффициент Пуассона и мгновенный модуль упругости композитов, водопоглощение, водостойкость и химстойкость.

Для этой группы исследований готовились образцы: балочки 4x4x16, лопатки [9], кубы размером 3x3x3см, диски размером 5x0,2см.

Кратковременные пределы прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ), растяжении ( $R_p$ ) и изгибе ( $R_{изг}$ ) определяли по соответствующим ГОСТам: ГОСТ 4651-78; ГОСТ 11262-76; ГОСТ 4648-71.

Относительные деформации ( $\epsilon$ ) при растяжении и сжатии определялись с помощью тензодатчиков сопротивления и установки для регистрации деформаций – АИД-1м и АИД-2м.

Коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) и мгновенный модуль упругости ( $E$ ) фурановых композитов определяли при ступенчатом нагружении по методике работы [10] и ГОСТ 9590-71.

Водопоглощение, водостойкость и химстойкость определяли согласно “Руководства по методикам испытаний полимербетонных на химстойкость” [9].

Для выявления характера и величины межфазных взаимодействий при изучении микроструктуры фурановых композиций в исследованиях применялись рентгенофазовый анализ и метод ИКС [11].

Число идентичных испытаний образцов ( $n$ ), необходимых для получения достоверных результатов при определенном уровне значимости ( $\alpha=5\%$ )

рассчитывали после испытания двадцати образцов одного состава, изготовленных и твердевших в одинаковых условиях. Обработку результатов вели по общеизвестным методикам.

Число идентичных испытаний образцов определяли по формуле:

$$n = \frac{\sigma \cdot 100^2}{\alpha^2 \cdot \bar{R}^2}; \quad (1.7)$$

где  $\bar{R}$  - среднеарифметическое значение из совокупности всех наблюдений;

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i \cdot m_i}{\sum m_i}; \quad (1.8)$$

$\sum R_i \cdot m_i$  - сумма их произведения значений отдельных измерений на число одинаковых значений;

$m = \sum m_i$  - число отдельных испытаний;

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (R - \bar{R}) \cdot m_i}{m - 1}}; \quad (1.9)$$

$\sigma$  - среднеквадратическое отклонение;

$\alpha$  - уровень значимости (5%).

1. Среднеарифметическое значение вычисляли по формуле (1.8).

2. Вычисляли размах ряда измерений:

$$\Delta R = R_{\max} - R_{\min}; \quad (1.10)$$

где  $R_{\max}$ ,  $R_{\min}$  - соответственно, максимальное и минимальное значение отклика.

3. Вычисляли коэффициент разбросанности ряда измерений:

$$K_p = \frac{R_{\max}}{R_{\min}}; \quad (1.11)$$

4. Среднеквадратичное отклонение вычисляли по формуле (1.9).

5. Вычисляли исправленное среднеквадратичное отклонение:

$$S_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}; \quad (1.12)$$

6. Рассчитывали среднюю ошибку среднеарифметического:

$$\delta = \frac{\bar{R}}{S_{\bar{x}}}; \quad (1.13)$$

если  $\delta < 3$ , то результаты опыта следует считать совершенно ненадежными.

7. Определяли коэффициент изменчивости данного признака (вариационный коэффициент):

$$V = \pm \frac{\sigma}{\bar{R}} \cdot 100\%; \quad (1.14)$$

При  $\alpha=5\%$  вариационный коэффициент должен быть менее 12%. При большем значении ( $V$ ) результаты опыта следует считать ненадежными.

8. Определяли доверительный интервал:

$$\bar{R} \pm \varepsilon\alpha ; \quad (1.15)$$

$$\varepsilon_{\alpha} = t \frac{\sigma}{\sqrt{m}} ; \quad (1.16)$$

где  $\varepsilon_{\alpha}$  - относительная погрешность;

$t$  – коэффициент Стьюдента, находится по таблице.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Физические основы механики молекулярной физики. Колебания и волны.-М.: Физмат гиз, 1959,463с.
2. Воробьев В.А. Лабораторный практикум по общему курсу строительных материалов.-М.: Высшая школа, 1974,298с.
3. Григоров О.Н. и др. Руководство к практическим работам по коллоидной химии.-М.-Л.: Химия, 1984, 326с.
4. Андреев Л.В. Разработка и исследование фурановых полимербетонов с фторсодержащими наполнителями для строительных конструкций гальванических производств.-Канд.дис.Л., 1990, 153с.
5. Прошин А.П., Саратовцева Н.Д. Влияние поверхностно - активных веществ на смачиваемость наполнителя полиэфирной смолой.- Вш.: Полимерные строительные материалы.-Казань, КИСИ, 1992, с,29-30.
6. Гельфер И.Н. Датчик для измерения напряжений в бетоне. Авт.свид.№306338-Опубл.в Б.И., 1968, №19.
7. Патураев В.В., Сухарева Л.Н. Изготовление строительных конструкций на основе пластмасс.М.:Стройиздат, 1988, 28с.
8. Серова Л.П. Влияние технологических факторов на сцепление низкоуглеродистой проволоки с бетоном. Автореферат. дисс. канд. наук,- М.:1979, ВЗПЧ.
9. Руководство по методам испытаний полимербетонов на химстойкость.- М.:НИИЖТ, 1982, 18с.
10. Соловьев Г.К. Исследование основных физико – механических свойств полимербетонов ФАМ и ПН на лёгких заполнителях.- Канд. дисс.- М.:1983, 177с.
11. Кесслер И.Методы ИКС в химическом анализе. (Перевод с немецкого). Н.:Мир, 1984, 287с.