

и ПЭ. Также сохраняются размеры кристаллитов и кристаллов ПЭТТ, которые характеризуются уширением дифракционных линий.

#### Выводы

Таким образом, для системы полиэтилен-стрептоцид построена фазовая диаграмма состояния с эвтектико-перитектическими точками, указывающими на взаимное влияние компонентов при кристаллизации как полимера, так и низкомолекулярного вещества. Также интересно отметить, что образование наноразмера внедрения пентаэритрита в матрице полиэтилена наблюдается только при наличии в системе незначительного количества меламина (~1%). Построена часть фазовой диаграммы системы ПЭ-пентаэритрит.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Китайгородский И. А. Смешанные кристаллы. М., 1983, 280 с.
2. Вундерлонх Б. Физика макромолекул. М., 1976, 623 с.
3. Чердабаев А.Ш. Рентгенография молекулярных кристаллов. Алматы, Ғылым, 2000, 183 с.
4. Чердабаев А.Ш., Кудайбергенов С.Е., Бектуров Е.А. //Алматы, Вестник АН КазССР, 1984, № 10, с. 70.
5. Xiaomin Zhu, Beginn Uwe, Moller Martin, Чвалун С.Н. /Каргинская конференция, Наука о полимерах 21-му веку. Тезисы устных и стендовых докладов, т. 3. М., 2007, с. 73.
6. Bartczak Z., Lezak E. //Polymer: The International Journal for the Science and Technology of Polymers (including Polymer Communications). 2005, 46, №16, с. 6050-6063.

УДК 691.328

Макбузов Амангельды Салтыбалдиевич – к.т.н. (Актобе, АУ им. С.Баишева)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГКИХ АЭРИРОВАННЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОЖЖЕННОЙ ВЕРМИКУЛИТОВОЙ ПОРОДЫ

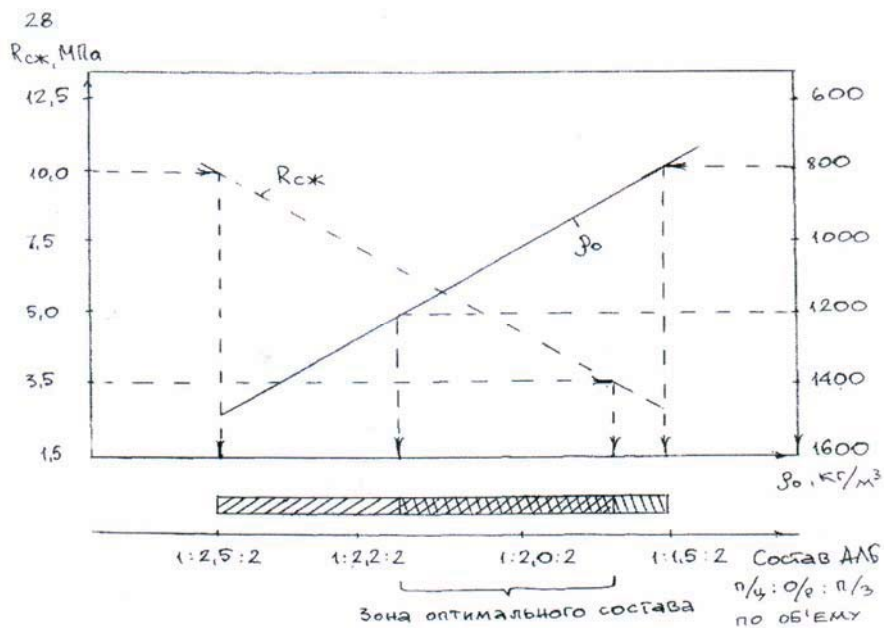
В отличие от подбора состава тяжелого бетона в задании на проектирование состава АЛБ, кроме заданной прочности, необходимо иметь показатель средней плотности не выше определенного уровня при необходимой подвижности легкогобетонной аэрированной смеси. Предел прочности при сжатии и средняя плотность АЛБ являются функциями состава этого бетона (рисунок 1). При подборе состава АЛБ выявлялась зона его оптимального состава, т.е. отбирались композиции, обеспечивающие показатель  $R_{сж}$  от 3,5 до 10,0 МПа и  $\rho_0$  от 800 до 1200 кг/м<sup>3</sup>.

Расчет состава аэрированных легких бетонов усложняется тем обстоятельством, что данный композит сочетает в себе свойства легкого бетона на пористом заполнителе, пенобетона и содержит обожженную вермикулитовую породу.

Для решения этого вопроса необходимо выявить долю пор в АЛБ, сформированных технической пеной-аэрированием, порами заполнителя, водой затворения.

Ниже приводится пример расчета состава АЛБ и его поровой структуры, который условно назван методом «поровых объемов» (величины даны с округлением) [1,2].

Требуется подобрать состав аэрированного легкого бетона со следующими свойствами: ОК=12см;  $\rho_0=1200$  кг/м<sup>3</sup>;  $R_B=7,5$  МПа.



Цифры обозначают соотношение объемных частей портландцемента  $\left(\frac{n}{y}\right)$ : обожженной вермикулитовой породы  $\left(\frac{o}{p}\right)$ ; пористого заполнителя  $\left(\frac{n}{z}\right)$

Рисунок 1 - Зависимость предела прочности при сжатии и средней плотности АЛБ от его состава

В основе расчета лежит положение: любой объем, высушенного до постоянной массы затвердевшего АЛБ, принятый за единицу, представляет собой сумму:

$$1 = V_{в.з.}^n + V_{з.в.з.}^n + V_{ПАВ}^n + V_{Ц.К.}^a + V_{О.Р.}^a + V_{в.з.}^a,$$

где  $V_{в.з.}^n$  - объем пор от воды затворения;  $V_{з.в.з.}^n$  - объем пор зерен вспученного заполнителя;  $V_{ПАВ}^n$  - объем пор от аэрирования - введения ОП-7;  $V_{Ц.К.}^a + V_{О.Р.}^a + V_{в.з.}^a$  - абсолютные объемы цементного камня, обожженной породы и вспученного заполнителя соответственно.

Далее последовательно определяются:

1) Объем пор от воды затворения.

По стандартному графику водопотребности бетонной смеси находим, что при заданной подвижности (ОК = 12 см)

расход воды:  $B = 225 \text{ л/м}^3$ , при  $\frac{B}{Ц} = 0,75$ ;

расход цемента:  $Ц = B : \frac{B}{Ц} = 300 \text{ кг}$ .

Количество химически связанной воды - 15 %

$$Вх.св. = 300 \times 0,15 = 45 \text{ л}$$

Таким образом, объем пор в общем объеме АЛБ от воды затворения:

$$V_{в.з.}^n = 225 - 45 = 180 \text{ л или } V_{в.з.}^n = 18 \%$$

2) Объем пор от введения зерен вспученного заполнителя при расходе его на  $1 \text{ м}^3$  АЛБ 400 л или 40 кг при  $\rho_n = 100 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$  и объеме межзерновой пустотности 50%.

Суммарный объем пор и пустот:

$$П = \frac{1,4 - 0,1}{1,4} \cdot 100\% = 93\%$$

Тогда объем пор в зернах заполнителя:

$$V \text{ пор заполнителя} = 93 - 50 = 43\%$$

$$V_{з.в.з.}^n = 200 \times 0,43 = 86 \text{ л или } V_{з.в.з.}^n = 8,6\%$$

$$V_{в.з.}^n + V_{з.в.з.}^n = 180 + 86 = 266 \text{ л в } 1 \text{ м}^3 \text{ АЛБ}$$

Соответственно, объем твердой фазы + объем пор от аэрирования составляет:

$$1000 - 266 = 734 \text{ л}$$

3) Объем пор от аэрирования.

Исходя из того, что проектируется АЛБ со средней плотностью  $\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$  при  $\rho = 2,6 \text{ г/см}^3$  истинная пористость его составит:

$$V_{нет.}^{пор} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} \cdot 100\% = \frac{2,6 - 1,2}{2,6} \cdot 100\% = 54\%,$$

$$\text{тогда } V_{ПАВ}^П = V_{ист.}^{пор} - (V_{в.з.}^n + V_{з.в.з.}^n) = 540 - 266 = 274 \text{ л}$$

$$\text{или } V_{ПАВ}^П = 27,4\% \text{ от общего объема АЛБ}$$

4) Объем твердой фазы.

$$V_{тв.ф.} = 1000 - (V_{в.з.}^n + V_{з.в.з.}^n + V_{ПАВ}^П) = 1000 - (180 + 86 + 274) = 460 \text{ л}$$

в то же время:

$$V_{тв.ф.} = V_{всп.з.}^a + V_{О.Р.}^a + V_{Ц.К.}^a = \frac{m_{з.ап.}}{\rho_{з.ап.}} + \frac{m_{О.Р.}}{\rho_{О.Р.}} + \frac{m_{Ц.К.}}{\rho_{Ц.К.}}$$

где  $m_{з.ап.}$ ;  $m_{О.Р.}$ ;  $m_{Ц.К.}$  – масса вспученного заполнителя, обожженной породы и цементного камня в  $1 \text{ м}^3$  АЛБ;

$\rho_{з.ап.}$ ;  $\rho_{О.Р.}$ ;  $\rho_{Ц.К.}$  – истинная плотность этих материалов.

Тогда, приняв расход обожженной вермикулитовой породы на  $1 \text{ м}^3$  АЛБ за  $x$ , находим эту величину:

$$460 = \frac{40}{1,4} + \frac{x}{2,8} + \frac{345}{2,5}$$

И, наконец, расход ПАВ – ОП – 7 определяем из формулы:

$$m_{ПАВ} = \frac{V_{пор}^{ист.}}{k \cdot \alpha},$$

где  $V_{пор}^{ист.}$  - истинная (суммарная) пористость бетона;  $k$  - выход пор-объем пены;  $\alpha$  - коэффициент использования порообразователя.

Данные по расчету поровой структуры АЛБ сведены в таблице 1.

Таблица 1 -Свойства аэрированного бетона от вида пористости

| №/№ | Предел прочности при сжатии, МПа | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Вид пористости, в т.ч. % |                   |                     |                     |
|-----|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
|     |                                  |                                      | $V_{пор}^{ист.}$         | $V_{в.з.}^n$      | $V_{ПАВ}^n$         | $V_{з.в.з.}^n$      |
| 1   | 5,0                              | 1000                                 | $\frac{60}{100}$         | $\frac{15}{25}$   | $\frac{33,4}{55,7}$ | $\frac{11,6}{19,3}$ |
| 2   | 7,5                              | 1200                                 | $\frac{54}{100}$         | $\frac{18}{33,3}$ | $\frac{27,4}{50,7}$ | $\frac{8,6}{16,0}$  |

Анализ полученных расчетных данных свидетельствует, что доля пор, сформированных воздухововлечением, составляет для АЛБ со средней плотностью 1000-1200кг/м<sup>3</sup> - 27,4 - 33,4% от суммарной пористости  $V_{пор}^{ист.} = 54 - 60\%$ , или около 50 - 55% от общего объема пор в материале. Приблизительно 1/3 - 1/4 всего объема пор образованы в результате избыточного водозатворения и только 17 - 20% объема пор сформированы вспученным заполнителем, что видно из рисунка 2.

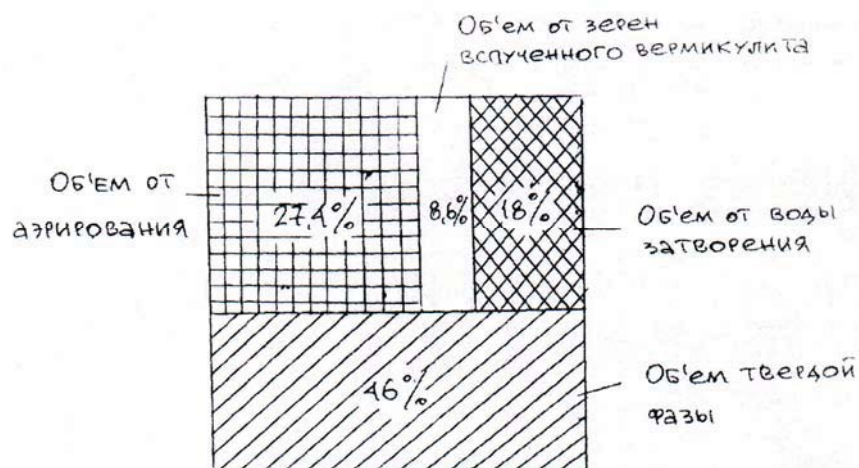


Рисунок 2 - Поровые составляющие аэрированного легкого бетона

Метод поровых объемов позволяет наряду с расчетом объемов пор в АЛБ от аэрирования, воды затворения и наличия зерен вспученного заполнителя производить достаточно точно расчет расходов материалов: заполнителя и пенообразующего вещества. Таким образом, зная поровую структуру, качество и количество пор в АЛБ,

можно, варьируя составом, меняя технологические параметры целенаправленно формировать строительные свойства легких бетонов рассматриваемого класса.

Средняя плотность и прочность аэрированных бетонов, в основном, определяются их составом, насыпной плотностью заполнителя (обоженная вермикулитовая порода) и водовязущим отношением, т. е. теми же факторами, что и для других легких бетонов [3,4]. Средняя плотность и прочность могут регулироваться следующими факторами:

- расходом воды;
- типом и расходом вяжущего;
- насыпной плотностью вспученного заполнителя и его количеством;
- количеством обоженной вермикулитовой породы;
- видом и количеством ПАВ;
- продолжительностью аэрирования;
- видом смесительной установки;
- способом введения пористого заполнителя.

Ранее проведенными работами [5,6] доказано, что использование в качестве поверхностно-активного вещества ОП-7 в количестве 0,15-0,2 % от массы вяжущего и перемешивание в аэросмесительной установке в течение 5-7 мин. позволяют получать теплоизоляционно-конструктивные бетоны наибольшей прочности.

Усадка определялась на образцах, хранившихся на воздухе в изотермической камере и составили 0,2 - 0,4 мм/пл.

Наблюдения, продолжавшиеся 3 месяца, показали, что усадочные деформации наиболее интенсивно развиваются в первые 7-14 дней и практически стабилизируются через 3 месяца. Введение в состав аэрированных легких бетонов обоженной вермикулитовой породы оказывает положительное влияние, так как усадка заметно снижается. В связи с тем, что эти бетоны имеют меньший расход цемента по сравнению с цементно-зольными, то доля гелевой составляющей цемента в бетоне сокращается, что также способствует снижению деформаций при твердении аэрированных бетонов.

Поровая структура изучалась на образцах следующих материалов:

- аэрированный легкий бетон со средней плотностью  $\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$  и общей пористостью  $P_{\text{общ}} = 51,9 \%$ ;
- аэрированный легкий бетон на основе обоженной вермикулитовой породы с  $\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$  и  $P_{\text{общ}} = 55,2\%$ ;
- пенобетон с  $\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$  и  $P_{\text{общ}} = 64,0\%$  (для сравнения).

Ниже приведены характеристики поровой структуры.

Характеристики поровой структуры  
Аэрированный легкий бетон

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Средний диаметр пор, мм - | 0,0187 |
| Размах варьирования, мм - | 0,06   |
| Стандартное отклонение -  | 0,014  |

Аэрированный легкий бетон с использованием обоженной вермикулитовой породы

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Средний диаметр пор, мм - | 0,0112 |
| Размах варьирования, мм - | 0,06   |
| Стандартное отклонение -  | 0,0135 |

Пенобетон

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Средний диаметр пор, мм - | 0,0287 |
| Размах варьирования, мм - | 0,08   |
| Стандартное отклонение -  | 0,0179 |

При примерно одинаковой общей пористости средний диаметр пор у пенобетона больше (примерно в 2 раза), чем у аэрированных легких бетонов.

Величина размаха варьирования и стандартного отклонения показывает, что пористая структура аэрированных легких бетонов более равномерная, чем у обычного пенобетона. Это связано с высокой скоростью перемешивания аэрированных легких бетонов и созданием мелкопористой структуры.

Теплопроводность измерялась на образцах – балочных 4x4x16 см методом цилиндрического зонда (таблица 1).

Таблица 1 -Зависимость теплопроводности формированных легких бетонов от их средней плотности

| Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Теплопроводность, Вт/(м.°К) |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 800                                  | 0,16 – 0,18                 |
| 900                                  | 0,17 – 0,19                 |
| 1000                                 | 0,18 – 0,21                 |
| 1100                                 | 0,20 – 0,23                 |
| 1200                                 | 0,23 – 0,28                 |
| 1300                                 | 0,30 – 0,34                 |

### Выводы

В целом, теплопроводность аэрированных легких бетонов ниже, чем керамзитобетона равной плотности, что определяется мелкопористым строением цементной матрицы и наличием особо легких заполнителей.

Результаты исследований показали, что аэрированные легкие бетоны имеют сорбционную влажность до 6% (при относительной влажности воздуха 50-60%). При пребывании бетонов на воздухе имеет место довольно интенсивная (в первые 7 суток) влагоотдача, поэтому в промышленном производстве необходимо создавать благоприятные условия твердения, особенно в первые сутки после их приготовления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов Ю.М. Аэрированные легкие и тепло-огнезащитные бетоны и растворы с применением вспученного вермикулита и перлита и изделия на их основе. Автореферат докторской диссертации. С-Пб., СПбГАСУ, 2005, 40 с.
2. Тихонов Ю.М., Аубакирова И.У., Макбузов А.С. Формирование поровой структуры аэрированных легких бетонов /В кн.: Теоретические проблемы строительного материаловедения и эффективные стеновые материалы. Всесоюзная конференция. Белгород, 1991, с. 25-77.
3. Макбузов А.С., Тихонов Ю.М., Коломиец И.В. Производство вермикулита Каратас – Алтынтасского месторождения (Западный Казахстан) в легких бетонах /В ст.докл.65-й науч.конф. С-Пб., СПбГАСУ, 2008, с. 136-140.
4. Боженов П.И., Пожнин А.П., Тихонов Ю.М. Применение вермикулита Каратасского месторождения Актюбинской области в строительстве. Отчет по теме. Дот. №61, Л., ЛИСИ, 1973.
5. Боженов П.И., Тихонов Ю.М. и др. Строительный аэрированный раствор /А.С. №802230, Б.И. №5, 1981.
6. Чистов Ю.Д., Чалая Е.В. Научно-технические основы производства и применения песчаных бетонов плотной и ячеистой структуры. Технологии бетонов, 2005, №1.