

## МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Заволока Ю.М., Выровой В.Н. (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*)

**Проаналізовано механізм організації макроструктури гетерогенних матеріалів на теплопровідність і на конфігурацію теплового потоку, в залежності від адгезійно-когезійних зв'язків матричного матеріалу та заповнювача, технологічної пошкодженості, та локальних змін щільності затужавілого композита.**

Введение новых государственных норм Украины «Тепловая изоляция зданий», более чем в два раза повышены нормативные требования к термическому сопротивлению теплопередачи ограждающих конструкций с целью экономии топливно-энергетических ресурсов и снижения расходов на эксплуатацию зданий.

Существующие модели теплопроводности композиционных материалов предусматривают различные варианты комбинаций более и менее теплопроводных включений их составляющих, но не учитывают влияния технологической поврежденности материалов на их структуру и теплопроводность.

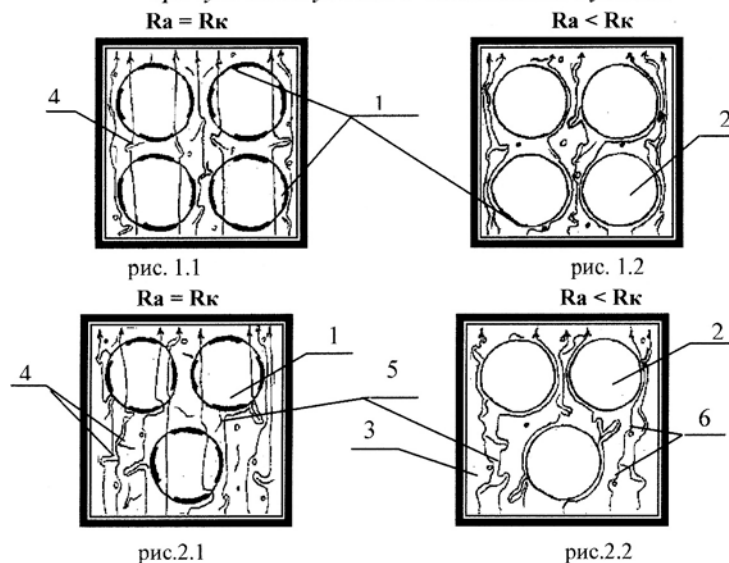
Характерной особенностью строительных композиционных материалов является их гетерогенность, которая определяется не только их качественным и количественным составом, но и дискретностью образовавшихся структур, наличием внутренних поверхностей раздела (ПР) и остаточным локальным и интегральным напряженно-деформированным состоянием.

Теплопроводность и теплозащитные свойства гетерогенных композиционных строительных материалов (КСМ) определяются сосуществованием составляющих их компонентов и структур, взаимодействующих через или посредством внутренних поверхностей раздела. К внутренним поверхностям раздела можно отнести берега технологических трещин, которые возникают и развиваются в период формирования гетерогенных материалов, что определяет в материалах возникновение остаточных деформаций (которые можно рассматривать как локальные изменения плотности), распределение и величина которых зависит как от геометрических параметров системы, так и от ее качественного состава и режимов твердения. Моделирование процессов передачи тепла в материалах дискретного строения, к которым предъявляются требования теплозащиты, является актуальной задачей. В связи с этим можно предположить, что формирование теплового потока в КСМ должно зависеть не только от теплопроводности составляющих материал компонентов, но и от состояния внутренних ПР и распределения остаточных деформаций (локального изменения плотности).

Для подтверждения этого был проведен комплекс исследований на моделях структурных ячеек бетонов, как гетерогенных материалов. Механизм теплопередачи изучили косвенным методом, путем качественного определения тепловых деформаций на моделях, изготовленных из фотоупругого материала. Применение метода фотоупругости позволило достаточно в широких пределах изучать влияние состава и адгезионно-когезионных сил связи на ПР между матрицей и заполнителями. Материалами для изготовления структурных ячеек были использованы: эпоксидная смола ЭД-20, оргстекло, алюминиевая фольга, металлические кольца и керамзитовый гравий. (см. рис.1.1.; 1.2.; 2.1.; 2.2.)

## СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

при кубической укладке и гексагональной укладке



1 – промасленные поверхности заполнителя (без адгезии), 2 – заполнители, 3 – матричный материал, 4 – трещины, 5 – тепловой поток, 6 – поры,  $R_a = R_k$  – частичная адгезия заполнителя с матричным материалом,  $R_a < R_k$  – без адгезией,  $R_a > R_k$  с адгезией

Проведенные исследования показали, что в зависимости от состояния поверхности раздела, количества заполнителя и способов его укладки формируется остаточное поле напряжений, которое зависит от геометрических параметров системы. Поэтому возникло предположение, что при формировании теплового потока на кинетику его прохождения и вид будет оказывать влияние и остаточно-деформированное поле напряжений.

Опыты показали, что для каждого расстояния между заполнителем (в нашем случае расстояние выражалось в долях радиуса заполнителя и составляло  $(0,2; 0,4; 0,6) \cdot R$ ) формируется индивидуальное остаточно-напряженное состояние. Кроме того, качественное распределение остаточных деформаций зависит от того, есть или нет адгезия между заполнителем и матрицей.

Проведенные исследования показали, что качественная картина формирования теплового потока зависит от:

- состояния ПР между матричным материалом и заполнителем;
- количества технологических трещин в матричном материале;
- локального изменения плотности матричного материала и заполнителей, связанного с остаточным напряженно-деформированным состоянием затвердевшей композиции;
- индивидуальных значений коэффициентов теплопроводности составляющих гетерогенный материал. Характерной особенностью КСМ является ситуация, когда адгезионные и когезионные прочностные на исследуемых моделях структурных ячеек выделяют участки с адгезией и без адгезии. Там, где есть адгезия между матричным материалом и заполнителем (при равной их теплопроводности), тепловой поток проходит через заполнитель, а где нет адгезии, тепловой поток огибает заполнитель. Формирование при твердении более плотных структур между матричным материалом и заполнителем создает более плотные и теплопроводные слои, имитация которых на структурных моделях осуществлялась с помощью алюминиевой фольги и металлических колец.

Приведенная методика исследования позволяет изучать качественную картину формирования теплового потока в зависимости от макрогетерогенности материалов на уровне структурной неоднородности типа матрица-заполнитель.

Анализ показал, что в грубодисперсных КСМ формирование теплового фронта можно представить в виде отдельных «ручейков» (рукавов), вид которых зависит от состояния внутренних ПР и остаточно-деформированного состояния, что необходимо учитывать при назначении составов КСМ.

Для определения влияния технологических факторов на структуру и теплозащитные свойства матричной составляющей КСМ использовали кварцевый песок, керамзитовый песок, перлитовый песок, а также смеси: кварцевый песок - керамзитовый песок, кварцевый песок - перлитовый песок в различных соотношениях. В качестве воздухововлекающей добавки использовали СНВ. Цементно-песчаные растворы на приведенных выше видах мелкого заполнителя изготавливали в соотношении 1:1; 1:2; 1:3,5 с поризацией и без поризации воздухововлекающей добавкой СНВ. Контролировали теплопроводность, скорость ультразвука, коэффициент поврежденности, степень гетерогенности, плотность, влажность и др. (см. рис. 3).



Рис.3. Технологическая поврежденность керамзитобетона на керамзитовом песке

Коэффициент поврежденности (степень гетерогенности) вычисляют по формуле

$$K_n = L/S,$$

где  $K_n$ - коэффициент поврежденности,  $\text{см}^{-1}$ ;  $L$ - общая (суммарная) длина трещин на поверхности образца,  $\text{см}$ ;  $S$ - площадь поверхности образца, на которой определяли суммарную длину трещин,  $\text{см}^2$ .

Методика определения степени гетерогенности заключается в следующем: образцы цементного раствора исследуемых составов помещали в растворы, содержащие дубильные вещества (растворы чая, коры дуба и др.), после чего высушивали. В результате проявлялись трещины на поверхности образцов растворов, и затем определялся  $K_n$ .

Степень гетерогенности зависит от применяемого материала. В силу того, что технологические трещины являются внутренними поверхностями раздела, они должны влиять на скорость ультразвука  $v$  и коэффициент теплопроводности  $\lambda$ .

Опыты показали, что в зависимости от количественного и качественного составов мелкого заполнителя при постоянной плотности изменяется скорость ультразвука и коэффициент теплопроводности. Определяющий степень гетерогенности  $K_n$  дает возможность назначать составы растворной части с требуемыми механическими характеристиками при минимальных значениях коэффициента теплопроводности. Особенно это проявляется при использовании мелких пористых заполнителей (керамзитовый или перлитовый песок). Так, для постоянной плотности раствора, в зависимости от вида песка,  $K_n$  увеличивается на  $0,7 \text{ см}^{-1}$  и ведет к снижению  $\lambda$  на 10% и  $v$  на 100 м/с.

Выявленная закономерность раскрывает технологические возможности управлять путем изменения качественного и количественного составов мелких заполнителей для гетерогенных материалов, к которым предъявляются требования по теплозащите.(см. рис.4.)

Следует отметить эффективность использования пористых песков с добавкой СНВ в растворах, что способствует снижению плотности раствора на  $200 \div 300 \text{ кг/м}^3$ , при этом степень гетерогенности возрастает на  $2,5 \div 2,8 \text{ см}^{-1}$ , коэффициент теплопроводности снижается на  $40 \div 50\%$ , а скорость ультразвука на  $1000 \div 1300 \text{ м/с}$ .

Проведенные исследования позволяют сделать выводы, что теплозащитные свойства гетерогенных материалов начинают формироваться при их структурообразовании путем развития дискретных структур в матричном материале, поверхностей раздела между матрицей и заполнителем при остаточном напряженно-деформированном состоянии. Наличие внутренних поверхностей раздела и локального изменения плотности материала определяют геометрию фронта теплового потока, что, по нашему мнению, необходимо учитывать при определении теплозащитных свойств гетерогенных материалов. Учет влияния дискретного строения КСМ и остаточных локального и общего напряженно-деформированного состояния в сочетании с известными методами снижения теплопроводности строительных материалов позволит более надежно прогнозировать теплозащитные свойства материалов, конструкций.

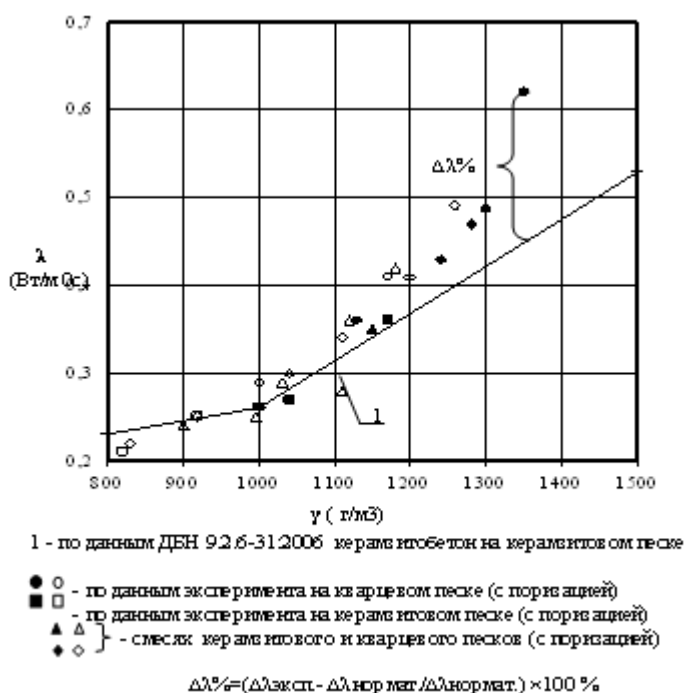


Рис.4. Зависимость коэффициента теплопроводности керамзитобетона от плотности в сухом состоянии

### Выводы

1. Теплозащитные свойства гетерогенных материалов начинают формироваться при их структурообразовании путем развития дискретных структур в матричном материале, поверхностей раздела между матрицей и заполнителем при остаточном напряженно-деформированном состоянии.

2. Наличие внутренних поверхностей раздела и локального изменения плотности материала определяют прохождение теплового потока не как сплошного фронта, а как ручейкового, по наиболее плотным и теплопроводным участкам и включениям, что по нашему мнению, необходимо учитывать при определении теплозащитных свойств гетерогенных материалов.

3. Учет влияния дискретного строения КСМ и остаточных локального и общего напряженно-деформированного состояния в сочетании с известными методами снижения

теплопроводности строительных материалов позволит более надежно прогнозировать теплозащитные свойства материалов, конструкций.

### *Литература*

1. ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель»
2. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. - К.: Будивэльник, 1991.-144с.
3. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. - Одесса: Місто майстрів, 1998.-165с.
4. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973.-287с.
5. Хуторной А.Н. Закономерности теплопереноса в неоднородных теплоэффективных стенах зданий. «Строительная физика в XXI веке. Материалы научно-технической конференции» М.:2006.-91-95с.
6. Комохов П.Г. , Грызлов В.С. Структурная механика и теплофизика легкого бетона. Вологодский научный центр. 1992.-318с.