

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ МНОГООЧАГОВОМ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ

¹Колесников А.В., к.т.н., доцент,
kolesnikovandrey2791@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8737-0933

¹Семенова С.В., к.т.н., доцент,
semenovablacksea@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5309-5854

¹Выровой В.Н., д.т.н., профессор,
vyrovoy@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8818-4112

¹Керш В.Я., к.т.н., профессор,
vkersh@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-6085-5260

¹Одесская государственная академия строительства и архитектуры
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029, Украина

Аннотация. Проанализирована возможность тепловизионной методики исследования процессов схватывания композиционных материалов в свете парадигмы многоочагового структурообразования. Поскольку тепловизионные наблюдения характеризуются высокой термической чувствительностью к градиентам температуры вплоть до сотых долей градуса, они позволяют различать температурные перепады, возникающие в соседствующих участках твердеющего вяжущего теста. Реализована методика получения тепловизионных изображений (термограмм) твердеющего композиционного вяжущего. Получена серия термограмм процессов схватывания. Для двух из них осуществлено количественное исследование, включающее температурную калибровку и построение нескольких видов графических отображений полученных закономерностей – нормированной частоты распределения участков площади исследуемого модельного образца вяжущего теста по температурам и двум видам денситограмм (радиальной и циркулярной), позволяющим визуализировать структуру термических очагов, возникающих в вяжущем тесте. Твердение вяжущих материалов рассматривается как многостадийный экзотермический процесс, при котором выделение тепла сопровождается процессами гидратации. Скорость гетерогенных процессов, связанных с гидратацией зависит, в свою очередь, от особенностей формирующейся структуры вяжущих материалов. Наблюдаемые термические процессы рассматриваются как косвенный отклик, «тень» процессов структурообразования. Информации, заключающейся в этом косвенном отклике, однако, достаточно для того, чтобы сделать ряд заключений о характере формирующейся структуры. В ходе исследования выявлена высокая вероятность формирования очагов вблизи макроскопических границ раздела (стенок и дна формы), несинхронность процессов структурообразования, возникновение разномасштабных очагов структурообразования, соответствующих температурным очагам. Дана интерпретация полученным данным – область высокой пластических деформаций вблизи границ соприкосновения очагов рассматривается как скопление микроскопических границ раздела, трещин и пор, дающих начало структуре разрушения затвердевшего материала. Возникновение таких областей связано, на наш взгляд, с несинхронным прохождением структурообразования в разных участках вяжущего теста.

Ключевые слова: тепловизор, температурные градиенты, вяжущее тесто, твердение, многоочаговое структурообразование, обработка изображений.

Введение. Важнейшим этапом жизненного цикла строительных композиционных материалов является стадия отвердевания. Отвердевание – сложное физико-химическое явление, у которого реализуются несколько проявлений – прямое, «целевое», связанное со структурообразованием и ряд косвенных, в том числе и экзотермический эффект соответствующих гетерогенных реакций. Термические эффекты, с наибольшей

интенсивностью развивающиеся с запаздыванием по сравнению со структурными откликами, такими, как возрастание прочностных характеристик, связаны с такими откликами лишь косвенно. Процессы гидратации происходят преимущественно на микроскопических уровнях, для процессов структурообразования более характерно прохождение на мезо- и макроскопических уровнях. Связь между этими уровнями осуществляется посредством граничных условий. Тем не менее, исследование термических характеристик твердеющего вяжущего позволяет получить полезную информацию о процессах твердения.

Одна из методик анализа термических процессов основывается на использовании тепловизора для исследования процессов твердения. Такая методика обладает существенным преимуществом в рассматриваемом аспекте – она позволяет исследовать незначительные температурные перепады на поверхности исследуемого композиционного вяжущего теста. Температура твердеющего образца быстро выравнивается за счет высокой теплопроводности компонентов композита, однако при использовании высокочувствительного прибора удается обнаружить незначительные перепады температуры, свидетельствующие о несинхронности процессов твердения, возникновение температурных очагов разного масштаба. Все эти явления представляются косвенным свидетельством несинхронности, очаговости структурообразования. Во многих случаях такая асинхронность процессов твердения может влиять на физико-механические характеристики исследуемых образцов и изделий.

Тепловизионный контроль процессов схватывания представляется также удобным экспресс-методом исследования как образцов композиционных вяжущих, так и соответствующих изделий. Наиболее существенным требованием в этом случае является относительно высокая интенсивность тепловыделения при твердении.

Анализ последних исследований. Системный анализ процессов твердения вяжущих разных видов [1] показал, что пространство событий, происходящих в процессе твердения, достаточно сложное. Наблюдаемые эффекты, такие как тепловыделение, внутренние деформации (эндодеформации) и соответствующие изменения объема предполагают многочисленные прямые, обратные и перекрестные связи. Высокая экзотермическая активность исследуемых вяжущих веществ усиливает выраженность обратных влияний температурных процессов как на скорость гидратации, так и на процессы структурообразования. Таким образом, наблюдаемый температурный эффект является результатом многократного отражения (и искажения) происходящих в твердеющем вяжущем событий. Рассматриваемое вяжущее является параметрически сложной дисперсной системой: блоки частиц (кластеры) и межкластерные поверхности раздела [2, 3] формируются при разных значениях таких параметров, как температура и концентрация (активность) соответствующих ионов, лиофильность поверхности частиц. На макроскопическом уровне также могут формироваться очаги структурообразования, вероятность возникновения которых растет за счет факторов, ускоряющих рост зародышей новой фазы – макроскопических поверхностей раздела, особенно в случае наличия кристаллографической однородной границы [4]. При использовании реальных вяжущих веществ всегда находятся зерна, покрытые продуктами гидратации, они и являются первичными центрами структурообразования [5]. Термические процессы, сопровождающие гидратацию [6, 7], характеризуются чувствительностью к возникающим структурным особенностям [5] и могут использоваться в качестве средства их косвенного отображения. Примером другого легко измеримого параметра, косвенно отражающего процессы структурообразования и позволяющего производить мониторинг процесса схватывания, является также скорость прохождения ультразвука [8].

Цели и задачи. Целью работы является исследование возможностей тепловизионной методики анализа процессов схватывания композиционных материалов в свете парадигмы многоочагового структурообразования. Соответствующими задачами является разработка и реализация методики тепловизионных исследований твердеющего вяжущего, дополнительная обработка результатов – оцифровка электронных тепловизионных

изображений, осуществление алгоритма оптической денситометрии для отображения малых температурных градиентов и интерпретация полученных результатов.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являются твердеющее гипсовое вяжущее тесто как модель композиционных составов, схватывание которых сопровождается экзотермическим эффектом. Кроме известковых и гипсовых вяжущих к этой категории относятся гипсоцементнопуццолановые и подобные им вяжущие. Твердение цементных композиций сопровождается существенно менее интенсивным выделением тепла, применение тепловизионных методов здесь возможно, но нуждается в значительной модификации применяемой методики.

Для исследования процессов твердения использовалось гипсовое вяжущее (гипс Г-5-Б-II (ДСТУ Б В. 2.7-82:2010) производства «Ивано-Франковскцемент»). Водо-гипсовое отношение принималось равным 0,6. Испытуемый образец представлял собой исходное вяжущее, приведенное в контакт с водной фазой, помещенное в округлую полимерную форму. Форма устанавливалась на теплоизолирующую горизонтальную поверхность (осуществлялся контроль с помощью уровня).

Тепловизор RX-680 закреплялся в лабораторном штативе и проецировался на исследуемый материал. Путем периодического нажатия курка производилась фиксация теплового изображения, изготовлена серия снимков с периодом 1 мин. (в течение 40 мин.), наиболее информативные снимки серии обрабатывались. Параллельно контролировалось время начала и конца схватывания. Компьютерная обработка снимков проводилась с помощью программы "ScionImage". Производилась температурная калибровка, строилась гистограмма распределения участков исследуемой поверхности по температуре и серия денситометрических исследований – радиальное распределение температур и распределение температур вблизи границы. Полученные гистограммы и денситограммы качественно интерпретировались.

Результаты исследования. Поскольку процесс тепловыделения по сравнению с изменением структурных характеристик имеет запаздывающий характер, температура контролировалась в период после завершения схватывания (конец схватывания 16 мин, контроль температуры 40 минут от момента затворения). Наибольший интерес представляют фазы термического процесса, пересекающиеся во времени с процессами структурообразования (его поздними стадиями). На основе этих соображений были отобраны два снимка, на которых проявились характерные особенности их ближайших «соседей» по временному ряду.

Первый снимок был сделан до начала схватывания (4 мин. после затворения). Теоретическая, структурно-ориентированная интерпретация изменений физических характеристик вяжущего теста, таких, как пластическая прочность, контракция, удельная электропроводность и тепловыделение показывает, что для этого периода характерны гидратационные процессы, а также коагуляция мелкодисперсных частиц с образованием первичного коагуляционного каркаса. Таким образом, этот период – начальная стадия всех основных процессов структурообразования. Характер распределения температур (температурных градиентов) на этой стадии качественно прослеживается на термограмме (рис. 1).

На рис. 1 видны температурные очаги, выделяющиеся на общем фоне, формирующиеся в основном в областях, близких к макроскопической границе. Этот эффект можно более точно оценить путем температурной калибровки изображения и построения гистограммы распределения участков исследуемой поверхности твердеющего вяжущего по температуре (рис. 2).

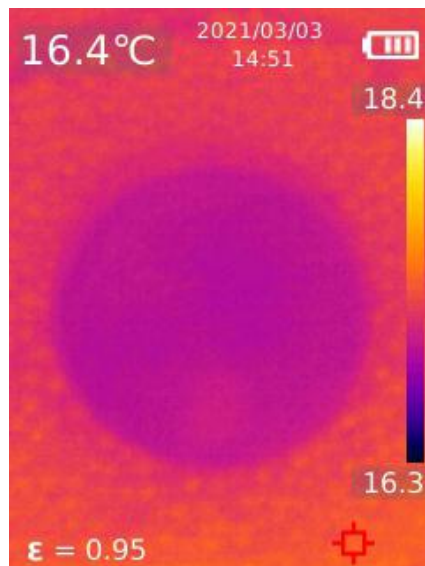


Рис. 1. Тепловизионная картина (термограмма) твердеющего вяжущего, 4 мин. после затворения

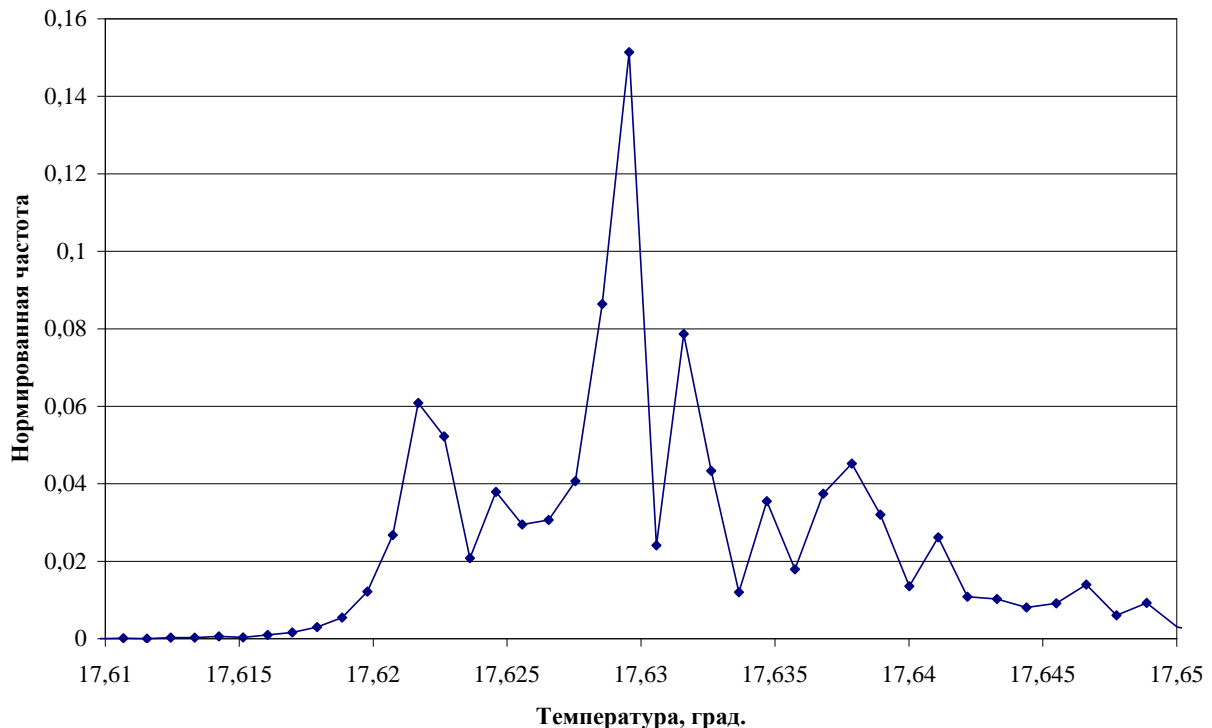


Рис. 2. Распределение участков поверхности твердеющего вяжущего по температуре для первого образца

Для небольшой доли участков поверхности наблюдается повышенная температура (17,63-17,65 °С), такие участки при визуальном анализе концентрируются на периферии изучаемой округлой области (т.е. вблизи стенок сосуда). Особенности геометрии температурных профилей отображает радиальная профильная денситограмма (рис. 3).

Радиальные денситограммы отражают пространственную структуру возникающих температурных очагов достаточно полно. Из рисунка 3, б и 3, в видно, что формируется тенденция к появлению температурных очагов на периферии, вблизи стенок формы.

Для углубленного анализа распределения температурных очагов в пристеночной области использовалось циркулярное отображение (рис. 4).

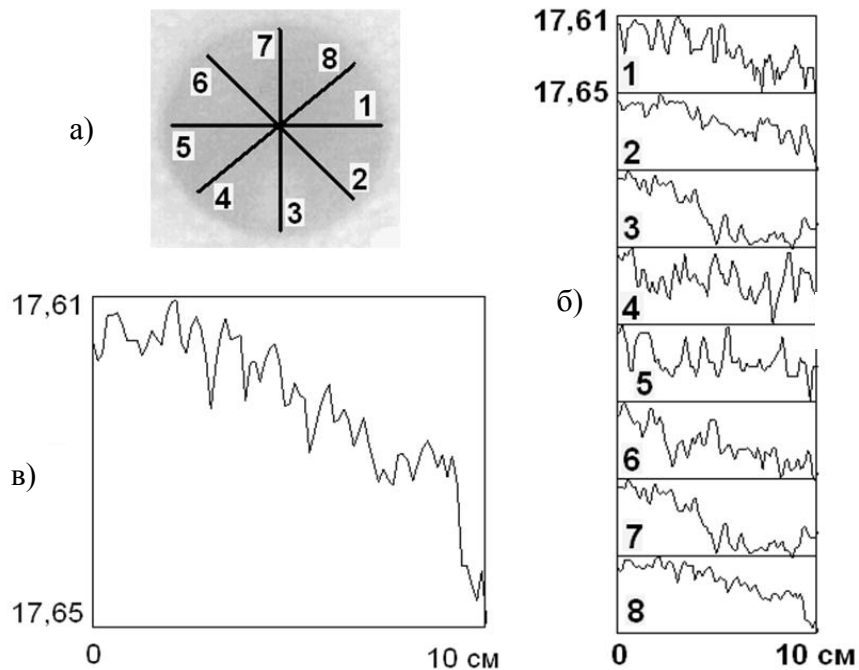


Рис. 3. Радиальные температурные денситограммы твердеющего вяжущего. Для 8 радиальных направлений (а) строились температурные денситограммы (б), а также радиальный усредненный профиль (в)

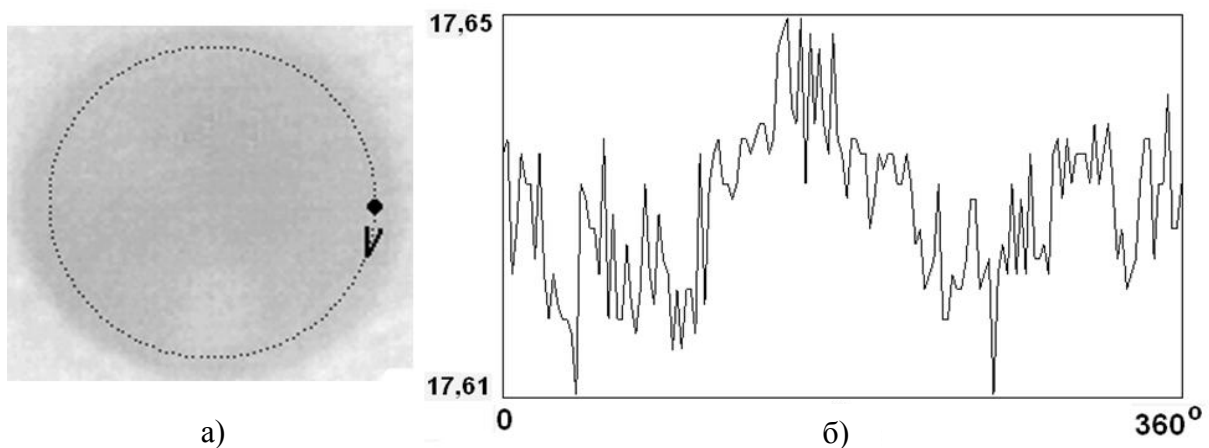


Рис. 4. Циркулярное отображение температурного профиля для первого образца. Производилось радиальное сканирование (а) периферической зоны твердеющего материала, в результате чего получалась циркулярная денситограмма (б)

На циркулярной денситограмме ясно видна область температурного очага наибольшей интенсивности. Следует подчеркнуть, что процесс твердения оказывается зависимым от набора неконтролируемых (случайных) технологических факторов, в значительной степени определяющих его характер. Действие случайных факторов и в рассматриваемом случае накладывается на тренд, тенденцию. Так, угловое распределение термических очагов (и угловое распределение фаз структурообразования) определяется неконтролируемыми в рассматриваемой методике факторами. Мелкомасштабная флуктуационная структура термических очагов также зависит от этих факторов (случайных в данном исследовании).

Второй снимок сделан после завершения схватывания, на 19 минуте (конец схватывания – 16 минут после затворения). На этом этапе интенсивно выделяется тепло, заканчивается формирование основного пространственного кристаллизационного каркаса. Данный процесс часто заканчивается некоторыми спадами модуля упругости в результате возникающих внутренних напряжений в кристаллизационной структуре. Для соответствующего периода

характерно сочетание одновременно происходящих процессов формирования и разрушения структуры материала (первичного кристаллизационного каркаса по Ребиндеру).

На макроскопическом масштабном уровне процессов твердения, косвенно отражающемся на распределении температуры происходят события, показанные на рис. 5.

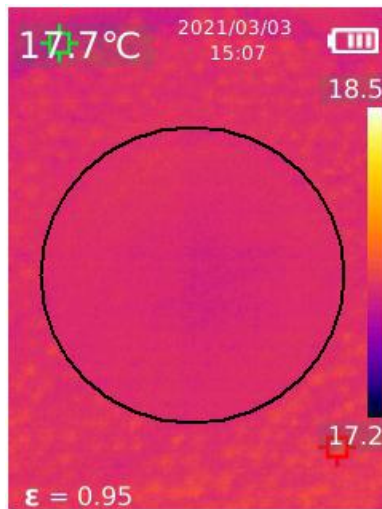


Рис. 5. Термограмма твердеющего вяжущего, 19 минут от затворения. Границы исследуемой области для наглядности выделены

Термограмма (рис. 5) характеризуется меньшими перепадами температур, вяжущее тесто разогревается в результате происходящих гидратационных процессов. Температурные градиенты визуально слабо различимы, необходима денситометрическая обработка снимка. Просматривается центральная область пониженной температуры. Сформировавшиеся на предыдущей фазе очаги твердения в периферических областях (и соответствующие температурные очаги) сливаются в одно целое, процесс твердения распространяется от периферии к центру исследуемого образца. Обработка снимка осуществлялась ранее использованными методами, ее результаты показаны на рис. 6.

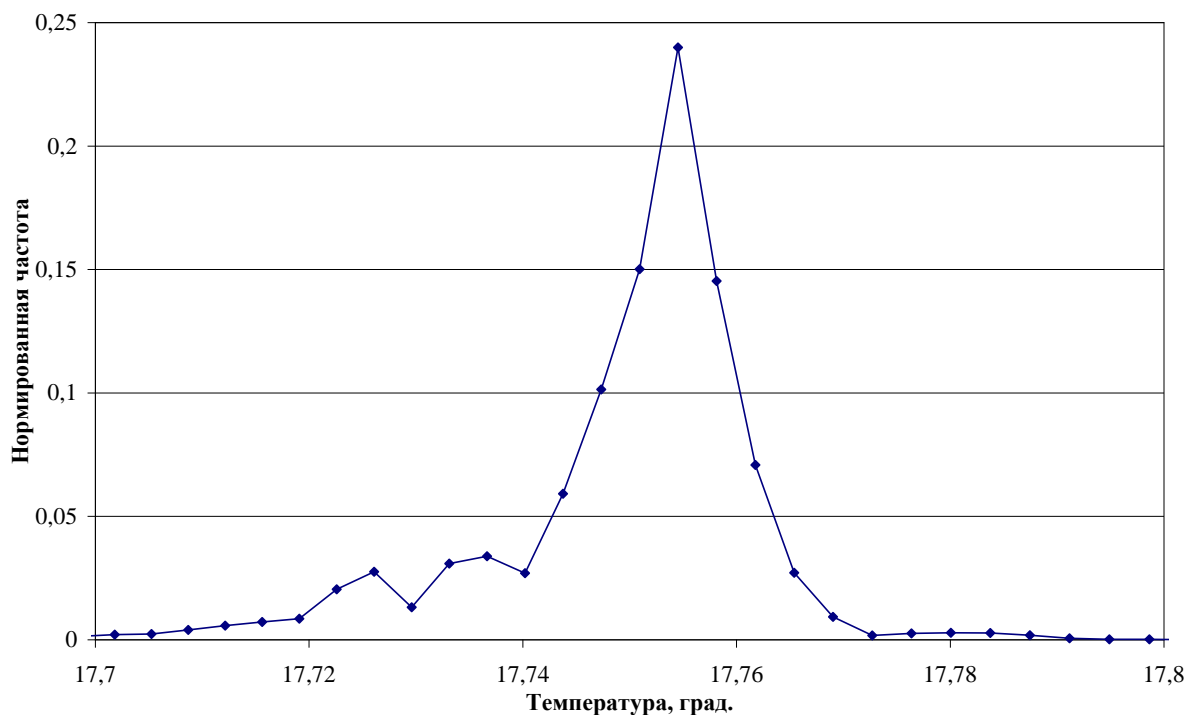


Рис. 6. Распределение участков поверхности твердеющего вяжущего по температуре для второго образца

В отображении распределения участков поверхности по температуре (рис. 6) заметны два интервала: первый – (17,72-17,74), соответствующий, в основном, центральной части исследуемого участка термограммы, и второй – (17,74-17,77), соответствующий периферической приграничной области, что подтверждается исследованием радиальных профилей денситограмм температуры (рис. 7).

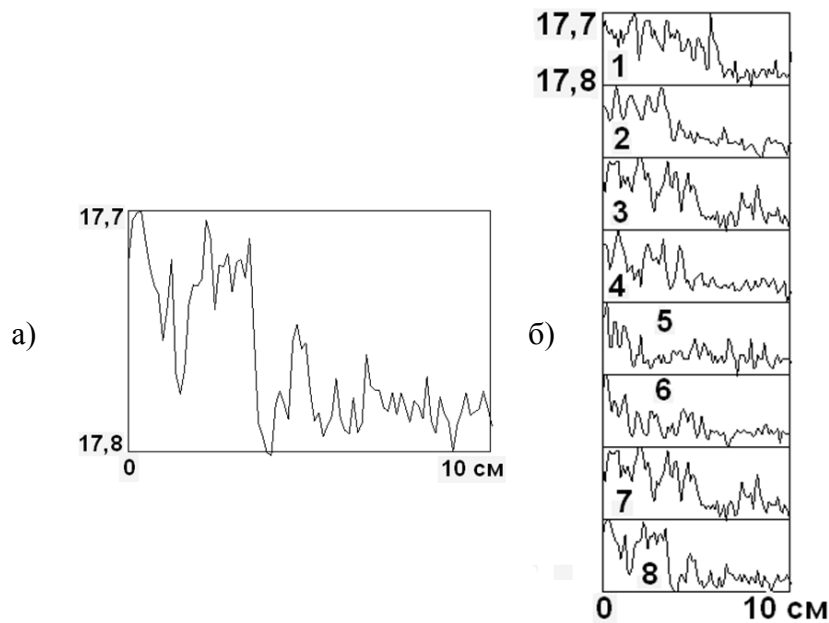


Рис. 7. Радиальные температурные денситограммы второго образца твердеющего вяжущего. Радиальный усредненный профиль (а) и денситограммы (б) по 8 направлениям, см. рис. 3

Радиальная температурная денситография свидетельствует об объединении периферических (приграничных) очагов в один и распространении процесса твердения снаружи внутрь (от стенок формы к центру) единым волновым фронтом. Термические характеристики приграничной области проявляются на циркулярной денситограмме (рис. 8).

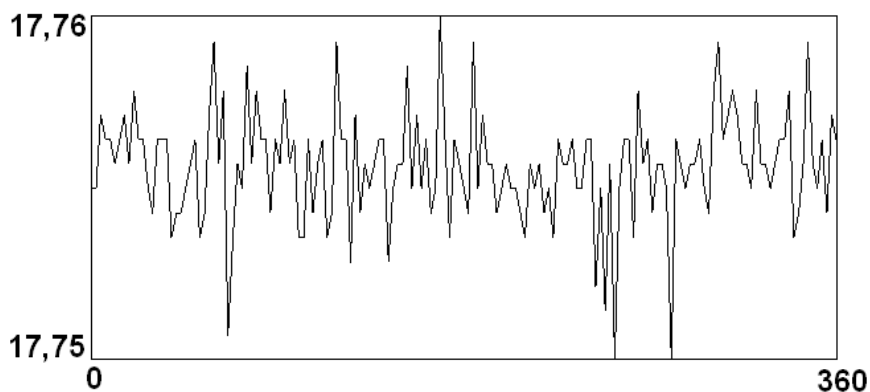


Рис. 8. Циркулярное отображение температурного профиля для второго образца

На циркулярном отображении для второго образца присутствуют несколько областей с более низкой температурой («острые» нисходящие пики). Можно предположить, что они соответствуют границам слияния первичных тепловых очагов твердения.

Интерпретацию наблюдаемой картины формирования макроскопических очагов можно интерпретировать с нескольких позиций. Наиболее наглядной представляется «тектоническая» теория, основывающаяся на слабой аналогии между протекающими в твердеющем вяжущем процессами и некоторыми тектоническими явлениями. Различные участки материала проходят свой жизненный цикл несинхронно (рис. 9).

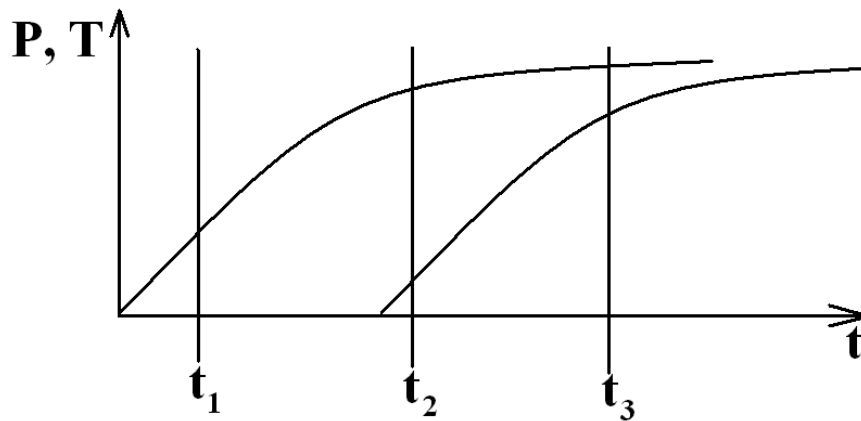


Рис. 9. Несинхронность реализации жизненного цикла материала. По оси ординат – структурно-механические и термические свойства твердеющей смеси. t_1 - t_3 – время реализаций элементарных событий жизненного цикла

Такая несинхронность проявляется как в отношении термических, так и структурно-механических свойств, причем, для термических процессов этот факт может быть легко наблюдаем. Ранняя реализация структурообразующих процессов для объемов вяжущего теста в пристенной области и вблизи прогидратировавших зерен и их конгломератов приводит к ранней их финализации. Эти области формируют очаги структурообразования, от которых процесс распространяется на соседние области и далее. Взаимодействие этих своеобразных аналогов «тектонических плит», их срастание, пластические процессы вблизи границ их пересечения формируют области концентрации внутренних границ раздела и микротрещин и пор. Таким образом, структура разрушения закладывается в начальные периоды формирования композиционного вяжущего теста (рис. 10).

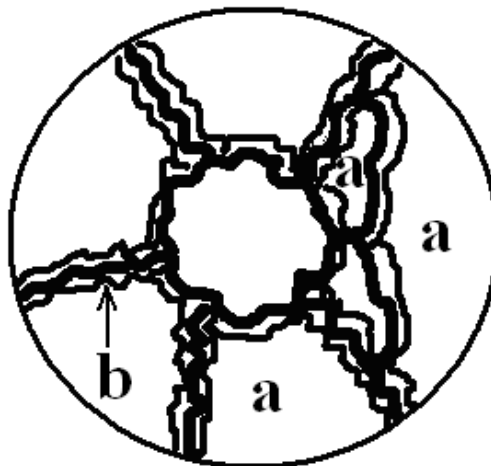


Рис. 10. Интерпретация следствий макроскопического многоочагового структурообразования; а – крупномасштабные очаги структурообразования, б – области срастания макроочагов структурообразования

Приводимые рассуждения позволяют рассмотреть определенное диалектическое развитие понятия границ раздела. Обычные границы раздела фаз по Гиббсу в соответствующей цепочке занимают первое место. Следующий элемент – прерывистая граница раздела, часто образующаяся при адгезионных процессах. Наконец, третий (не последний) элемент – области накопления микроскопических границ раздела, например, вблизи очагов пластической деформации наиболее поздно формирующихся структур композиционного материала. Эти области при прочих равных условиях в значительной степени определяют процесс разрушения образцов и изделий из материала.

Важным аспектом представляется тот факт, что вероятность возникновения крупномасштабных очагов структурообразования, обнаруживаемых по термическим очагам, зависит от характера макроскопической границы раздела – стенки формы. Зависимость такого рода наблюдается как от микроскопических свойств поверхности, так и от ее геометрии, поскольку такая поверхность, по-видимому, способна направлять рост волновых фронтов твердения и геометрические характеристики макроскопической границы могут служить еще одним фактором, управляющим процессами структурообразования. Влияние геометрических и микроструктурных характеристик ограничивающей поверхности на динамику многоочагового структурообразования является предметом будущих исследований.

Выводы. Разработана и реализована методика тепловизионного исследования процессов твердения композиционных вяжущих. Полученные результаты свидетельствуют о формировании множественных температурных очагов, что косвенно указывает на очаговый характер процессов структурообразования. Установлено, что первичные очаги формируются преимущественно вблизи макроскопических границ раздела – в пристенной области материала. На основании денситометрических методик показана высокая вероятность последующего объединения этих макроскопических очагов и распространение процессов схватывания от стенок формы внутрь твердеющего композита. На основании полученных экспериментальных данных предложена интерпретация роли несинхронности процессов структурообразования в формировании прочностных характеристик материала. Границы макроскопических очагов структурообразования с выраженными эффектами пластической деформации являются областями накопления микроскопических границ раздела (микротрещин и пор) и служат основой для формирования структуры разрушения композитов.

Таким образом, тепловизионное исследование процессов твердения композиционных материалов с высоким тепловыделением при гидратации представляется полезной методикой, позволяющей косвенными методами регистрировать очаговый характер процессов структурообразования и исследовать геометрические характеристики соответствующих очагов, их расположение и историю их возникновения. Это позволяет рекомендовать тепловизионную методику как основу экспресс-методов контроля процессов твердения образцов и изделий, изготовленных из материалов с повышенным гидратационным тепловыделением.

Литература

1. Vyrovoy V., Korobko O., Ielkin O. Technological events in structural evolution of building composites. *Web of Conferences, Open Access Journal «MATEC Web of Conferences»*. Vol. 116. 2017. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711601021>.
2. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Киев: Будівельник, 1991. 144 с.
3. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация. Одесса: ТЭС, 2010. 169 с.
4. Ратинов В.Б., Забежинский Л.Я., Розенберг Т.И. К вопросу о теории твердения минеральных вяжущих веществ. *Сб. трудов НИИЖБ*. Вып. 1. Москва: Промстройиздат, 1957. С. 3-34.
5. Колесников А.В., Семенова С.В., Казмірчук Н.В., Кириленко Г.А. Дослідження структуроутворення гіпсових композитів на основі рівнянь Колмогорова. *Вісник Одеської Державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 78. С.97-107.
6. Ушеров-Маршак А.В. Тепловыделение цемента. М.: ВНИИЭСМ, 1980. 68 с.
7. Теория цемента / Пащенко А.А. и др. Киев: Будівельник, 1991. 168 с.
8. Kersh V., Kolesnikov A., Xlytsov N., Foshch A. Ultrasonic Control of the Formation of Gypsum Binders. *Actual Problems of Engineering Mechanics 6th International Conference "Actual Problems of Engineering Mechanics" (APEM 2019)*. 2019. Vol. 968. P. 122-127. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.122>.

Reference

- [1] V. Vyrovoy, O. Korobko, O. Ielkin, "Technological events in structural evolution of building composites", *Web of Conferences, Open Access Journal «MATEC Web of Conferences»*, vol. 116, 2017. DOI: 10.1051/mateconf/201711601021.
- [2] V.I. Solomatov, V.N. Vyrovoy, V.S. Dorofeyev, A.V. Sirenko, *Kompozitsionnyye stroitel'nyye materialy i konstruksii ponizhennoy materialoyemkosti*. Kiyev: Budivél'nik, 1991.
- [3] V.N. Vyrovoy, V.S. Dorofeyev, V.G. Sukhanov, *Kompozitsionnyye stroitel'nyye materialy i konstruksii. Struktura, samoorganizatsiya*. Odessa: TES, 2010.
- [4] V.B. Ratinov, L.Ya. Zabezhinskiy, T.I. Rozenberg, "K voprosu o teorii tverdeniya mineral'nykh vyazhushchikh veshchestv", *Sb. Trudov NIIZHB*, vol. 1, pp. 3-34, 1957.
- [5] A.V. Kolesnikov, S.V. Semenova, N.V. Kazmírchuk, G.A. Kirilenko, "Doslídzhennya strukturoutvorennya gípsovikh kompozitiv na osnoví rívnyan' Kolmogorova", *Visnyk Odes'koy Derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury*, no. 78, pp. 97-107, 2020.
- [6] A.V. Usherov-Marshak, *Teplovydeleniye tsementa*. M.: VNIIESM, 1980.
- [7] Pashchenko A.A. i dr. *Teoriyatsementa*. Kiyev: Budivél'nik, 1991.
- [8] V. Kersh, A. Kolesnikov, N. Xlytsov, A. Foshch, "Ultrasonic Control of the Formation of Gypsum Binders", *Actual Problems of Engineering Mechanics 6th International Conference "Actual Problems of Engineering Mechanics" (APEM 2019)*, vol. 968, pp. 122-127, 2019. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.122>.

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ЕФЕКТІВ ПРИ БАГАТООСЕРЕДКОВОМУ СТРУКТУРОУТВОРЕННІ

¹**Колесников А.В.**, к.т.н., доцент,
kolesnikovandrey2791@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8737-0933

¹**Семенова С.В.**, к.т.н., доцент,
semenovablacksea@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5309-5854

¹**Вировой В.М.**, д.т.н., професор,
vyrovoy@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8818-4112

¹**Керш В.Я.**, к.т.н., професор,
vkersh@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-6085-5260

¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури*
вул. Дідріхсона, 4, м.Одеса, 65029, Україна

Анотація. Проаналізовано можливість тепловізійної методики дослідження процесів схоплювання композиційних матеріалів у світлі парадигми багатоосередкового структуроутворення. Оскільки термічні спостереження характеризуються високою термічною чутливістю до температурних градієнтів до сотих ступенів, вони дозволяють відрізнити температурну відмінність, що виникає у суміжних ділянках випробуваного в'язучого, що твердне. Впроваджено техніку для отримання термічних зображень (термограм) композитного в'язучого матеріалу, що твердне. Отримано серію термограм процесів твердіння, для двох з них було проведено кількісне дослідження, включаючи температурну калібрівку та побудову декількох типів графічних відображення отриманих результатів – нормалізованої частоти розподілу області за температурою. Просторовий розподіл температур відображався за допомогою двох типів денситограм – радіальної та кругової, що дозволяє візуалізувати структуру теплових осередків, що виникають у досліджуваному зразкові. Твердіння в'язучих матеріалів розглядається як багатоступеневий екзотермічний процес, в якому тепловиділення супроводжує процеси гідратації. Швидкість гетерогенних процесів, пов'язаних з гідратацією, залежить, у свою чергу, від характеристик структури матеріалів, що формується. Теплові процеси розглядаються як непряма реакція, "тінь" процесів формування структури. Однак інформація, що знаходиться в цієї непрямій відповіді, достатньо, щоб зробити ряд висновків

щодо характеру структури, що виникає. Дослідження виявило високу ймовірність утворення осередків поблизу макроскопічних меж розділу (стінок та дна форми), несинхронності структурних процесів, виникнення різноманітних осередків формування структури, що відповідають осередкам підвищеної температури. Інтерпретація отриманих даних проводиться з таких позицій. Поблизу меж контакту осередків структуроутворення формується область високих пластичних деформацій, де концентруються мікроскопічні межі розділу, тріщин та пори. Це призводить до подальшого руйнування матеріалу, що затвердів. Поява таких ділянок пов'язана з асинхронним проходженням структурування в різних частинах об'єму матеріалу.

Ключові слова: тепловізор, температурні градієнти, вязуче тісто, тверднення, багатоосередкове структуроутворення, обробка зображень.

ANALYSIS OF THERMAL EFFECTS WITH MULTI-FOCI STRUCTURING

¹**Kolesnikov A.V.**, Ph.D., Associate Professor,
kolesnikovandrey2791@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8737-0933

¹**Semenova S.V.**, Ph.D., Associate Professor,
semenovablacksea@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5309-5854

¹**Vyrovoy V.N.**, Dr. Science, Professor,
vyrovoy@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8818-4112

¹**Kersh V.Ya.**, Ph.D., Professor,
vkersh@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-6085-5260

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrikhson str., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. The possibility of a thermal imaging technique for studying the setting of composite materials in the light of the paradigm of multifocal structure formation is analyzed. Since thermal violated observations are characterized by a high thermal sensitivity to temperature gradients up to hundredths of degrees, they make it possible to distinguish the temperature differences arising in the adjacent sections of the hardening binding. A technique for obtaining thermal images (thermograms) of a hardening composite binder is implemented. A series of thermograms of setting processes was obtained, for two of them a quantitative study was carried out, including the temperature gauge and the construction of several types of graphic mappings of the obtained patterns – the normalized frequency of the distribution of the area of the binder for those temperatures and two types of densitograms – radial and circular, allowing to visualize the structure of thermal foci arising in a binder. The hardening of binding materials is considered as a multistage exothermic process, in which hydration processes is accompanied by heating. The speed of heterogeneous processes associated with hydration depends, in turn, on the characteristics of the forming structure of binding materials. The observed thermal processes are considered as an indirect response, "shadow" of structure formation processes. The information consisting in this indirect response, however, is enough to make a number of conclusions on the nature of the emerging structure. The study revealed a high probability of the formation of foci near the macroscopic boundaries of the section (walls and bottom of the form), inconsistency of the structural processes, the occurrence of diverse foci of structure formation corresponding to temperature foci. The interpretation of the data obtained is the conclusion about formation of the regions of high plastic deformations near the boundaries of the contact of the foci. This regions are considered as a cluster of microscopic boundaries of the section, cracks and pores, which give rise to the structure of the destruction of the hardened material. The emergence of such areas is associated with nonynchronous passage of structuring in different parts of the binder.

Keywords: thermal imager, temperature gradients, binding dough, hardening, multifoci structuring, image processing.

Стаття надійшла до редакції 6.12.2021