

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Довгань И.В., Колесников А.В., Семенова С.В., Кириленко Г.А.
Одесская государственная академия строительства и архитектуры,

Одной из важнейших задач современного строительного материаловедения является изучение процессов структурообразования строительных материалов для создания изделий с требуемыми прочностными и физико-химическими свойствами. На наш взгляд, для исследования формирования структуры в вяжущих материалах полезным является рассмотрение этих процессов с точки зрения топологии.

Содержание топологии составляет изучение таких пространственных свойств, которые сохраняются при взаимнооднозначных непрерывных преобразованиях, наглядным примером которого может служить произвольная деформация объекта из абсолютно эластичной пленки, не допускающих ее разрывов и склеек [1,2]. Фигуры, полученные такими преобразованиями одинаковы с точки зрения топологии и называются гомеоморфными (рис.1).

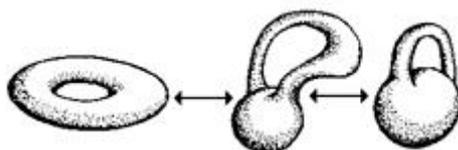
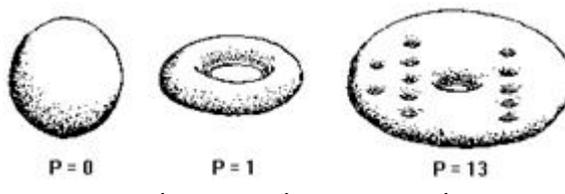


Рис.1. Непрерывные преобразования тора

Один из возможных взглядов на процесс схватывания вяжущих материалов состоит в следующем. В момент затворения вяжущий материал может быть рассмотрен как пространственный объект, состоящий из нескольких “кусков”, каждый из которых может быть рассмотрен как частица исходного вяжущего материала или растущий зародыш новой фазы. Их число S относится к величинам, не изменяющимся при непрерывных преобразованиях (т.е. топологический инвариант). Здесь приближенно можно применить понятия дисперсной фазы и дисперсионной среды соответственно. Каждый фрагмент дисперсной фазы может быть охарактеризован своим родом P . Если упростить, то род – число “дыр” (рис. 2). В топологии преобразование рода поверхностей осуществляют изменением числа “ручек”. Существует теорема Жордана о том, что произвольная ориентируемая (т.е. “двусторонняя”) поверхность без края сводима к одной из поверхностей с $P = 1, 2, 3, \dots$. С другой стороны, известно, что односторонние поверхности, например бутылка Клейна, в трехмерном пространстве без самопересечений не могут быть построены. В связи с этим мы ограничиваемся ориентируемыми поверхностями.



Процесс формирования пластично-вязкой массы и далее камневидного тела в случае любых вяжущих материалов происходит сразу во всем объеме и в неравновесных условиях. Поэтому следует оставить мысль о том, что при этом образуются только поверхности, гомеоморфные сфере в связи с принципом наименьшей поверхностной

энергии. В частности, могут происходить топологические трансформации с изменением связности среды (вот почему название “дисперсионная среда” здесь не совсем корректно). Это – образование полостей (Рис.3).



Рис. 3.Изменение связности “дисперсионной среды” – образование полостей
1- непрерывные преобразования, 2- топологическая трансформация

Еще один вид топологических преобразований – образование “зацеплений”. Мы будем рассматривать только зацепления, подобные тем, что на рис. 4 (из одного витка, индекс $Z=1$), так как остальные маловероятны. Число зацеплений – также топологический инвариант, характеризующий не сами тела, а трехмерное пространство (т. н. изотопический инвариант).

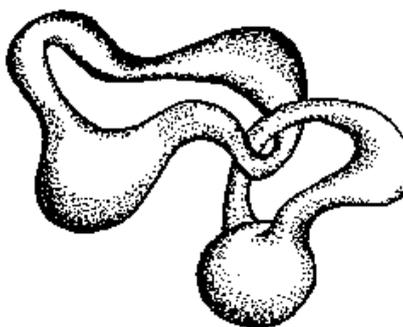


Рис.4.Зацепление геометрических объектов

Заметим, что мы рассмотрели несколько самых простых топологических инвариантов, достаточных для нашего рассмотрения, оставив без внимания некоторые другие, как, например, коэффициенты группы гомологий [2].

Один из способов описания топологических перестроек в материалах состоит в следующем. Рассматривается набор топологических и изотопических инвариантов для материала n_i^+ и среды n_i^- . Каждая топологическая перестройка при этом будет соответствовать изменению одного или нескольких таких инвариантов. Возможны как прямые, так и обратные изменения (1).

$$\left(\begin{matrix} n_1^M, n_2^M, \dots, n_l^M \\ n_1^C, n_2^C, \dots, n_l^C \end{matrix} \right) \xrightarrow[2]{1} \left(\begin{matrix} n_1'^M, n_2'^M, \dots, n_l'^M \\ n_1'^C, n_2'^C, \dots, n_l'^C \end{matrix} \right) \quad (1)$$

В рассматриваемом упрощенном случае учитываются только три таких инварианта – связность S (число “кусков”), род P (суммарное число “дыр”), зацепленность Z (число “зацепленных” участков). Таким образом схема (1) переходит в (2).

$$\left(\begin{matrix} [s^+, m^+, z^+] \\ [s^-, m^-, z^-] \end{matrix} \right) \xrightarrow[2]{1} \left(\begin{matrix} [s'^+, m'^+, z'^+] \\ [s'^-, m'^-, z'^-] \end{matrix} \right) \quad (2)$$

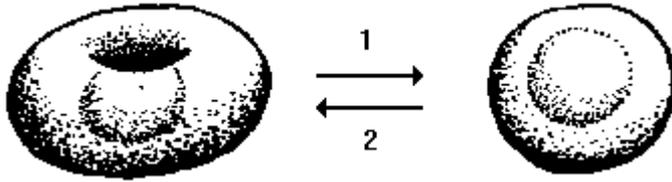


Рис. 6. 1) увеличение и 2) уменьшение числа связности среды на 1 – образование и разрушение замкнутых полостей

Переход В1 представляет собой образование и усложнение оболочек различной природы. Это, с одной стороны, элементы образующейся пористой структуры вяжущего материала и формы структурообразования в случае неоднородного состава вяжущего. С другой стороны, к этой категории можно отнести структуры гидратационного твердения цементной дисперсной фазы. Для первой фазы характерно образование гидросиликатных пленок в результате взаимодействия кремниевых изополикислот и их кальциевых солей [6]. Они обладают осмотическими свойствами и в течении второй стадии структурообразования происходит медленная диффузия воды сквозь оболочку внутрь. На этой стадии наблюдается минимум быстрой эластической деформации. На третьей стадии раздувшиеся оболочки вокруг зерен C_3S лопаются – наблюдается переход В2. Далее на их месте формируются новые гидросиликатные пленки, проницаемые для воды – В1. Кроме того, переходы В1 и В2 могут возникать в отвердевшем вяжущем в результате зарождения трещин из дислокаций (В1) и прорыва на свободную поверхность (В2).

С. Изменение рода поверхности материала и среды (Ф-ла 5, пример на рис.7).

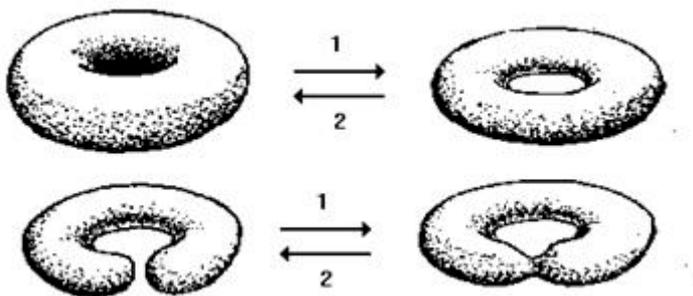
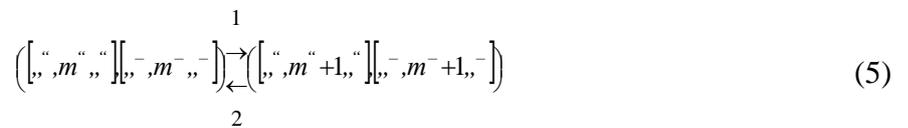


Рис.7. Увеличение (1) и уменьшение (2) рода Р материальной структуры (показаны два геометрически возможных варианта перестроек)

Обратим внимание, что этот вид перестроек часто игнорировался ввиду его меньшей суммарной вероятности. Ввиду сильно неравновесных условий стадии роста зародышей новой фазы [7] и образования точечных и фазовых контактов может происходить образование таких структур (С1). Другим возможным их источником являются процессы конкурентного роста – мелкие кристаллы находятся в кольце более крупных, растущих. Кроме того, С1 происходит в исходно структурированной среде, например железобетоне.

Образование сквозных пор и трещин также соответствует С1. Поверхностная энергия рассматриваемых несферических структур не соответствует минимуму, в связи с чем более вероятными являются обратные перестройки С2, связанные с образованием сплошного камневидного тела и зарастанием “дыр” в результате физико-химических процессов твердения. Это хорошо видно на первом варианте перестроек (рис 7.)

Д. Изменение рода материала и среды, сопровождающееся переменной зацепления
 . (Ф-ла 6, пример на рис 8)

$$\left(\begin{matrix} \left[\begin{matrix} \text{“} m \text{“} \\ \text{“} \end{matrix} \right] \left[\begin{matrix} - \\ \text{“} m^- \text{“} \\ - \end{matrix} \right] \end{matrix} \right) \xrightarrow[2]{1} \left(\begin{matrix} \left[\begin{matrix} \text{“} m^+ + 1 \text{“} \\ \text{“} + 1 \end{matrix} \right] \left[\begin{matrix} - \\ \text{“} m^- + 1 \text{“} \\ - \end{matrix} \right] \end{matrix} \right) \quad (6)$$

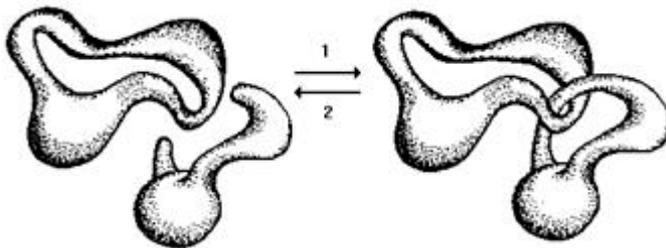


Рис.8. Изменение рода материала с формированием и разрушением зацепления

D1 следует отнести к маловероятным. Вероятность D1 возрастает, если в материале концентрация микроструктурных ансамблей с $P > 1$ повышена. Вблизи поверхности раздела тогда концентрация растворенного вяжущего в процессе роста уменьшается. Этот процесс может проходить так, что в середине тора благодаря удалению от поверхности раздела и потокам свежих порций раствора может образоваться зона повышенной концентрации вяжущего. Это может послужить причиной D1. Такая перестройка возможна и в процессе полимеризации. D2 соответствуют тогда разрушение этих сложных структур под действием механических напряжений.

Мы рассмотрели только самые простые топологические трансформации в материалах. Многие перестройки рассмотренных видов встречаются в теории биологического морфогенеза[8]. Для всех рассматриваемых изменений топологии будет справедливо предположение о их вероятностном характере. Фактически можно говорить о топологических состояниях и вероятностях перехода между ними. Мы предполагаем, что рассматриваемое топологическое описание процессов в вяжущих материалах будет полезно дополнить вероятностным, сделанным на основе теории марковских процессов, что составляет направление наших дальнейших исследований.

АННОТАЦИЯ. Строительные вяжущие материалы обладают рядом пространственных свойств, которые сохраняются при взаимнооднозначных непрерывных преобразованиях. Поэтому, при исследовании структурообразования и свойств вяжущих материалов перспективным, на наш взгляд, является применение топологического подхода.

АНОТАЦІЯ. Будівельні в'язучі матеріали мають деякі просторові властивості, які зберігаються при взаємоднозначних безперервних перетворюваннях. Тому, при дослідженні структуроутворення та властивостей в'язучих матеріалів перспективним, на наш погляд, є використання топологічного підходу.

SUMMARY

Building astringent materials have many spatial features, which remain by continuous transformations. That's why in our opinion using of topological approach may be promising by investigating structure building and features of astringent materials.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов В. В., Воробьев Е. М., Шаталов В. Е. "Теория графов", М., "Высшая школа", 1976, 392 с.
 2. Зейферт Г., Трельфаль В., "Топология", М., Изд. научно-технической литературы, 1938, 400 с.
 3. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. "Теория случайных процессов и их инженерные приложения", М., "Наука", 1991, 382 с.
 4. Екобори Т. "Научные основы прочности и разрушения материалов", Киев, "Наукова думка", 1978, 351 с.
 5. Лифшиц Е. И., Питатевский Л. Г. "Физическая кинетика", М., "Наука", 1979, 527 с.
 6. Круглицкий Н. Н. "Основы физико-химической механики", ч I, Киев, "Вища школа", 1976, 268 с.
 7. Колесников В. А. "Структурообразование в дисперсных системах" (Методич. указания), Одесса, ОИСИ, 1990, 45 с.
- Маресин В. М. "Пространственная организация эмбриогенеза", М., "Наука", 1990, 169 с.