

УДК 666: 519.8

МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ БЕТОНА

МАЛОЦИКЛОВА ВТОМА БЕТОНУ

LOW CYCLE FATIGUE OF CONCRETE

Коробко О.А., к.т.н., доц., **Выровой В.Н.**, д.т.н., проф., **Закорчемный Ю.О.**, к.т.н., доц., **Кушнир А.М.**, к.т.н., доц. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Коробко О.О., к.т.н., доц., **Вировой В.М.**, д.т.н., проф., **Закорчемний Ю.О.**, к.т.н., доц., **Кушнір О.М.**, к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Korobko O. O., candidate of technical sciences, docent, **Vyrovoy V.M.**, doctor of technical sciences, professor, **Zakorchemny Yu. O.**, candidate of technical sciences, docent, **Kushnir O. M.**, candidate of technical sciences, docent (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture, Odessa)

Направленно организовывать структуру бетона можно путем изменения адгезионно-когезионных сил связи на границе раздела между матричной составляющей и заполнителями. Это способствует получению структур с наборами элементов, обеспечивающих стойкость материалов в условиях замораживания-оттаивания и увлажнения-высушивания.

Направлено організувати структуру бетону можна шляхом зміни адгезійно-когезійних сил зв'язку на границі розділу між матричною складовою та заповнювачами. Це сприяє одержанню структур з наборами елементів, що забезпечують стійкість матеріалів в умовах заморожування-відтавання та зволоження-висушування.

The purpose of the work is to increase resistance of concrete in the operation of building products in conditions of repeated freezing-thawing and wetting-drying. Temperature and humidity influences provoke the development of irreversible structural changes of concrete. These changes may be the cause of a decrease in the level of concrete properties and the safety of the functioning of the product. An important property of concrete is its ability to adapt to the periodical effect of external factors by self-organization of the structure. It assumes the presence at the material of active elements capable of changing their parameters adequately to impacts. Such elements are cracks and inner surfaces of partition as integral elements of the structure of any material. The

sets of active elements provide timely structural changes and determine the dynamics of changes of the damage of concrete at the operation of the product. It is possible to receive these sets by directing the structural organization of concrete. The operating factor of structure formation can be a change in the ratio of adhesion and cohesive binding forces at the interface between the matrix material and the surface of the fillers. Concrete whose structure was initiated by selective adhesion of a matrix to the surface of fillers differed in the higher values of properties. The variety of the initial conditions of interfacial interactions has provided increase in concrete strength to 26%, expanded clay lightweight concrete strength to 10% and modulus of elasticity to 12-21% at reduction of total porosity by 18% and water absorptions by 8-14%. Structural potential has defined firmness of concrete at freezing thawing and wetting-drying. Sets of active elements of concrete structure are the factors of safe functioning of building products in conditions of influence of the operating environment.

Ключевые слова: бетон, керамзитобетон, структура, трещины, внутренние поверхности раздела, поврежденность, стойкость.

Бетон, керамзитобетон, структура, тріщини, внутрішні поверхні розділу, пошкодженість, стійкість.

Concrete, expanded clay lightweight concrete, structure, cracks, inner surfaces of partition, damage, resistance.

Введение

Строительные изделия в период эксплуатации находятся под влиянием климатических факторов, которые могут вызывать изменение уровня их свойств. Температурно-влажностные воздействия воспринимает бетон как материал изделий, что вынуждает его приспособляться к новым внешним условиям. Сохранение начального уровня свойств изделия обеспечивается структурной адаптацией бетона [1, 2]. Это в значительной мере определяется изменениями параметров трещин и внутренних поверхностей раздела как активных элементов структуры, которые способны адекватно реагировать на внешние воздействия. Полиструктурность строения бетонов [3] предполагает взаимозависимость и взаимовлияние структурных уровней на всех этапах жизненного цикла. Поэтому фактором управления процессами образования микроструктуры и, следовательно, зарождения трещин, возникающих в период получения материала, можно выделить параметры макроструктуры. Направленное изменение соотношения адгезионно-когезионных сил связи на границе раздела между матричной составляющей и поверхностью зерен заполнителей ведет к получению заданных наборов активных элементов. Эти элементы определяют динамику изменения поврежденности материала при замораживании-оттаивании и увлажнении-высушивании, что отражается на безопасности функционирования изделия.

Анализ последних исследований

В строительном материаловедении все большее значение приобретает структурный подход, который базируется на определяющей роли структуры в обеспечении свойств изделий как систем определенного вида [1]. Это согласуется с полиструктурным подходом [3] к строительным композитам, при котором учитывают взаимозависимость разномасштабных структурных уровней. Появляются новые возможности направленной организации структуры бетона как сложной динамической открытой системы путем изменения начальных условий структурообразования отдельных подсистем – уровней структурных неоднородностей [1, 4]. В работах [1, 5] показано, что трещины и внутренние поверхности раздела как неотъемлемые элементы структуры определяют структурные изменения в периоды получения и функционирования материалов. Адаптация композитов как открытых систем к внешним воздействиям преимущественно зависит от их поврежденности технологическими и эксплуатационными дефектами [6]. Это не исключает соответствующего влияния консервативных и метастабильных элементов структуры (реликтовых зон частиц вяжущего, пор, капилляров и других) на поведение материалов. Направленно получать наборы трещин и внутренних поверхностей раздела можно на различных структурных уровнях с учетом их характерных элементов. На уровне макроструктуры изменение условий взаимодействия матричной составляющей с заполнителями позволит обеспечить поврежденность бетона, при которой будут протекать эффекты адаптации, благоприятные для стойкости материала. Это, в свою очередь, будет способствовать поддержке безопасного функционирования изделий при температурно-влажностных воздействиях.

Постановка цели и задач исследований

Исходя из вышеизложенного, была определена цель исследований – повысить стойкость бетонов при попеременном замораживании-оттаивании и увлажнении-высушивании за счет направленной организации их структуры путем изменения соотношения адгезионно-когезионных сил связи на границе раздела между матричным материалом и заполнителями. Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи: - проанализировать динамику изменения поврежденности как характеристики структуры при малоциклового усталости бетонов; - определить коэффициенты стойкости бетона и керамзитобетона в условиях повторяющихся внешних воздействий.

Методика исследований

Исследования проводили на образцах-кубах размером 100×100×100 мм, изготовленных из бетона и керамзитобетона. Поверхность зерен части гранитного щебня и керамзитового гравия аппретировали гидрофобизатором ГКЖ-11. Это обеспечило различные соотношения адгезионно-когезионных сил связи на границе раздела между цементной матрицей и поверхностью заполнителей: $R_A > R_K$; $R_A < R_K$; $R_A = R_K$, где R_A – величина адгезии матрицы к

поверхности частиц заполнителя, R_K – величина когезийной прочности матричного материала.

Контролировали свойства бетонов: технологическую и эксплуатационную поврежденность ($K_{п}$), среднюю плотность (ρ_{ω}), объем открытых капиллярных пор (Π_0), водопоглощение (W), модуль упругости (E), прочность при сжатии ($f_{ck.cube}$), стойкость ($K_{ст}$) при периодическом замораживании-оттаивании и увлажнении-высушивании.

Поврежденность бетонов оценивали через коэффициент поврежденности [6] как соотношение:

- $K_{п} = \sum L_i / S$, см/см², где: $\sum L_i$, см – суммарная протяженность берегов трещин и внутренних поверхностей раздела на поверхности образца; S , см² – фиксированная площадь поверхности образца;

- $K_{п} = \sum L_i / L_i$, где: $\sum L_i$, см – суммарная протяженность берегов отдельных трещин и внутренних поверхностей раздела (фактическая трещина); L_i , см – геодезическая линия (кратчайшее расстояние между точками выхода фактической трещины на торцы образца).

Стойкость бетонов определяли с помощью коэффициента стойкости $K_{ст} = f_{ck.cube}^{N_{циклов}} / f_{ck.cube}^{28}$, где: $f_{ck.cube}^{N_{циклов}}$ – прочность образцов после определенного количества циклов воздействий, $f_{ck.cube}^{28}$ – прочность образцов после 28 суток нормального твердения.

Результаты исследований

В зависимости от условий взаимодействия цементной составляющей с поверхностью заполнителей выполнялась корректировка составов по В/Ц. Были получены бетоны разных классов с соответствующими показателями свойств, табл. 1.

Таблица 1

Значения свойств бетона и керамзитобетона

Класс бетона	Соотношение R_A и R_K	$K_{п}$, см/см ²	ρ_{ω} , кг/см ³	Π_0 , %	W , %	E , МПа·10 ³	$f_{ck.cube}$, МПа, 28 сут.	$f_{ck.cube}$, МПа, 720 сут.
Бетон								
C30/35	$R_A > R_K$	0,61	2293	9	3,9	25,3	35,9	37,2
C25/30	$R_A < R_K$	0,68	2485	10	4,2	26,7	29,6	33,5
C32/40	$R_A = R_K$	0,86	2524	8	3,6	28,7	40,2	44,2
Керамзитобетон								
LC12/13	$R_A > R_K$	0,76	1206	10	9,8	11,7	17,5	19,3
LC16/18	$R_A < R_K$	0,57	1233	11	9,9	10,4	18,0	20,8
LC16/18	$R_A = R_K$	0,46	1293	9	8,9	13,2	19,2	22,0

В условиях эксперимента лучшими показателями свойств отличались бетоны, структура которых инициирована избирательной адгезией матрицы к

поверхности заполнителей. Анализ показал, что при $R_A=R_K$ происходит образование структуры, которая способствует уменьшению водопоглощения и пористости бетона и керамзитобетона при увеличении значений их средней плотности, технологической поврежденности, прочностных характеристик и модуля упругости. Изменение соотношения адгезионно-когезионных сил связи на границе раздела между матричным материалом и заполнителями позволяет повысить прочность бетона до 26% и керамзитобетона до 10% после 28 суток нормального твердения, в возрасте 720 суток – до 24% и 12%, соответственно. Модуль упругости увеличился на 12-21%, уменьшение водопоглощения составило 8-14%.

При организации структуры бетонов в условиях избирательной адгезии матрицы к заполнителю уменьшился объем открытых капиллярных пор до 18%. Скорость прохождения ультразвуковых волн через бетон снизилась с $U=3,4$ м/с до $U=3,2$ м/с, через керамзитобетон – с $U=3,2$ м/с до $U=2,9$ м/с. Это указывает на повышение плотности материалов, что должно положительно сказаться на их стойкости под действием внешних факторов.

Полученные результаты показали, что изменение соотношения значений R_A и R_K определяет технологическую поврежденность бетонов, показатели K_p которых, в условиях эксперимента, отличались на 11-15%. При первом же воздействии внешней среды технологические трещины переходят в ранг эксплуатационных трещин [1]. Технологическая поврежденность определяет динамику изменения эксплуатационной поврежденности материалов при многократно повторяющихся циклах внешних воздействий (рис.1).

Существование трещин обуславливает возможность самоорганизации материала, что препятствует разрушению изделия [5]. Проявление эффектов адаптации, связанных с саморазвитием трещин, может реализовываться как трансформация трещин во внутренние поверхности раздела, что прекращает их рост, увеличивает дискретность композитов и создает предпосылки для локализации деформаций и напряжений в отдельных блоках материала. Это способствует диссипации избыточной энергии на берегах различных трещин и внутренних поверхностей раздела. Способность трещин перераспределять деформации между блоками препятствует их локальному накоплению, что снижает общее напряженно-деформативное состояние материала.

В результате периодических внешних воздействий поврежденность бетона возросла на 26-48%, керамзитобетона до 24-37%. Увеличение K_p бетонов со структурой, образованной при избирательной адгезии матрицы к поверхности заполнителей, было на 20-25% меньшим, чем увеличение поврежденности бетонов при других соотношениях R_A и R_K . Это можно объяснить тем, что трещины, оказались замкнутыми в структурных блоках цементной матрицы, что не позволило им вырасти до размеров, опасных для данного уровня.

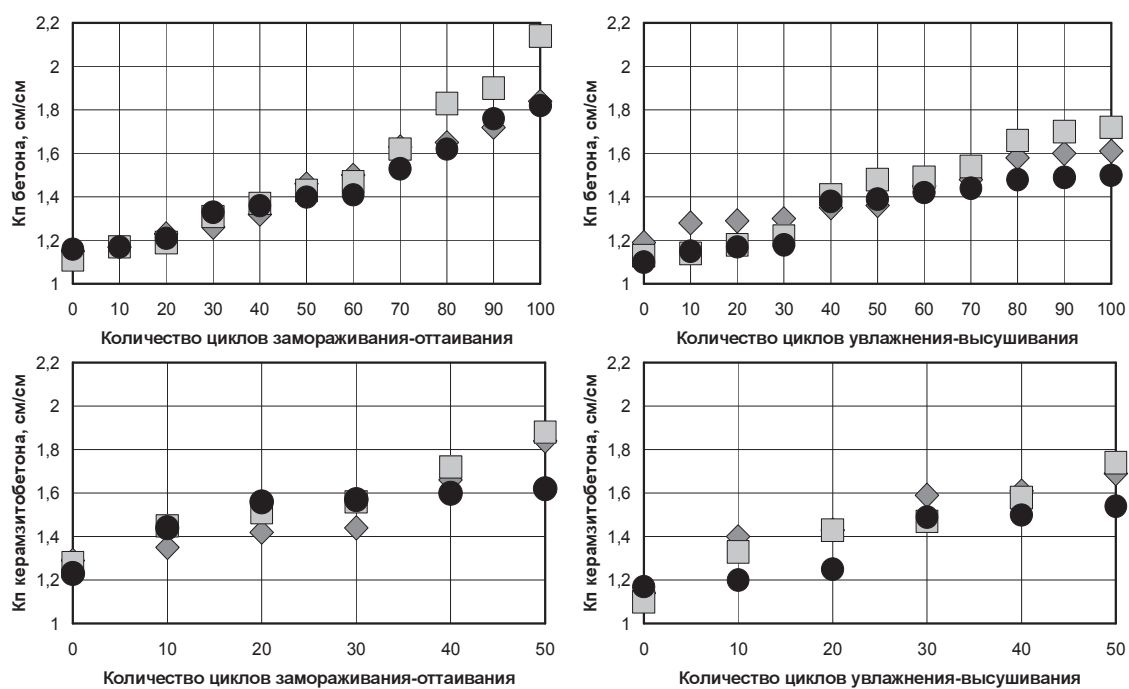


Рис.1. Изменение поврежденности, Кп, см/см,

бетона и керамзитобетона при малоцикловой усталости:

Структурный потенциал определил стойкость ($K_{ст}$) бетонов в условиях замораживания-оттаивания (З-О) и увлажнения-высушивания (У-В), табл. 2.

Таблица 2

Стойкость бетонов при попеременных внешних воздействиях

Свой- ство	Соотно- шение R_A и R_K	Бетон				Керамзитобетон			
		Циклы З-О		Циклы У-В		Циклы З-О		Циклы У-В	
		50	100	50	100	50	100	50	100
$K_{ст}$	$R_A > R_K$	0,97	0,89	1,00	0,93	0,98	0,85	1,00	0,91
	$R_A < R_K$	0,98	0,88	1,00	0,95	0,97	0,86	1,00	0,88
	$R_A = R_K$	1,00	0,91	1,00	0,97	0,99	0,88	1,00	0,93

К многократным перепадам температуры лучше были приспособлены бетоны со структурой, организованной при $R_A = R_K$. При попеременном увлажнении-высушивании адаптация бетона определялась структурой в зависимости от природы заполнителей и соотношения адгезионно-когезионных сил связи на границе раздела между матрицей и заполнителями. Структура, обеспеченная многовариантными соотношениями R_A и R_K , способствовала увеличению стойкости бетонов и поддержке механических и деформативных характеристик на заданном уровне при периодически повторяющихся циклах температурных и влажностных воздействий.

Выводы

Проведенные исследования и анализ результатов позволяют заключить, что повышение стойкости бетонов при попеременных внешних воздействиях обеспечивается направленной организацией их разноуровневой структуры. Задавать начальные условия структурообразования можно за счет изменения соотношения адгезионно-когезионных сил связи на границе раздела между матричной составляющей и поверхностью заполнителей. Переорганизация структуры бетона определяет стойкость бетона при малоциклового усталости и сохранение уровня свойств изделия. Динамика изменения поврежденности как проявление эффектов адаптации бетонов в период эксплуатации изделия зависит от структурного потенциала в виде наборов технологических трещин и внутренних поверхностей раздела. Бетоны со структурой, образованной при избирательной адгезии цементной матрицы к заполнителям, отличались повышенными показателями качества и оказались лучше приспособленными к малоциклового усталостным нагрузкам. Активные элементы структуры выступают фактором безопасного функционирования строительных изделий.

1. Суханов В.Г. Структура материала в структуре конструкции / В.Г. Суханов, В.Н. Выровой, О.А. Коробко. – Одесса: «ПОЛИГРАФ», 2016. – 244 с.

2. Чернявский В.Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон / В.Л. Чернявский. – Д.: ДНУЖДТ, 2008. – 412 с.

3. Соломатов В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов / [В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, А.Н. Бобрышев и др.]. – Ташкент: ФАН, 1991. – 345 с.

4. Коробко О.А. Свойства бетона как функция структурного разнообразия / О.А. Коробко, В.Ю. Тофанило. – Вісник ОДАБА. – 2015. – Вип. 58. – С. 198-205.

5. Выровой В.Н. Трещины в бетоне: свойства, функции, идентификация / В.Н. Выровой, А.Н. Герега, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов / Современные бетоны. Перспективы развития. – Киев. – 2010. – С. 15-17.

6. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 168 с.

1. Suhanov V.G. Struktura materiala v strukture konstrukcii / V.G. Suhanov, V.N. Vyrovoy, O.A. Korobko. – Odessa: «POLIGRAF», 2016. – 244 s.

2. CHernyavskij V.L. Adaptaciya abioticheskikh sistem: beton i zhelezobeton / V.L. CHernyavskij. – D.: DNUZHDT, 2008. – 412 s.

3. Solomatov V.I. Polistrukturumaya teoriya kompozicionnyh stroitel'nyh materialov / [V.I. Solomatov, V.N. Vyrovoy, A.N. Bobryshev i dr.]. – Tashkent: FAN, 1991. – 345 s.

4. Korobko O.A. Svoystva betona kak funkciya strukturnogo raznoobraziya / O.A. Korobko, V.Y. Tofanilo. – Visnik ODABA. – 2015. – Vip.58. – S. 198-205.

5. Vyrovoy V.N. Treshchiny v betone: svoystva, funkcii, identifikaciya / V.N. Vyrovoy, A.N. Gerega, V.S. Dorofeev, V.G. Suhanov / Sovremennyye betony. Perspektivy razvitiya. – Kiev. – 2010. – S. 15-17.

6. Dorofeev V.S. Tekhnologicheskaya povrezhdennost' stroitel'nyh materialov i konstrukcij / V.S. Dorofeev, V.N. Vyrovoy. – Odessa: Gorod masterov, 1998. – 168 s.