

УДК 666.972.16

Е. С. ЛОБОДА, Н. М. ЗАЙЧЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕТОНАХ ПРИ СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ С
АГЕНТОМ ВНУТРЕННЕГО УХОДА**

Аннотация. Новый метод тестирования на двух кольцах, согласно ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage, характерен для раннего поведения бетона, который расширяется и деформируется. В этом исследовании предлагается новая методология оценки потенциала растрескивания, который имеет последствия для смягчения (уменьшения, предотвращения) раннего растрескивания в бетонной смеси. Внутренний уход – это метод, когда абсорбирующий материал вводится в смесь, действуя как внутренний резервуар, который может уменьшить или устранить аутогенную и стесненную усадку в раннем возрасте, а также уменьшить потенциал раннего растрескивания вследствие пластической усадки или усадки при «самовысыхании».

Ключевые слова: аутогенная усадка, внутренний уход, легкий заполнитель, остаточное напряжение, ring test, высококачественный бетон, стесненная усадка.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Высококачественный бетон развивает растягивающие напряжения, когда он твердеет в стесненных, ограниченных условиях. Стандартные испытания могут использоваться для количественной оценки напряжений, возникающих в сжатых условиях. Стандартное стесненное кольцевое испытание является пассивным испытанием, в котором остаточные напряжения, которые развиваются из-за стеснения, могут являться количественно использованными деформациями, измеряемыми на внутреннем стальном кольце. Остаточное напряжение можно сравнить с прочностью бетона на растяжение, чтобы определить склонность смеси к растрескиванию. Предлагается новая методология оценки потенциала растрескивания, которая имеет последствия для смягчения (уменьшения, предотвращения) раннего растрескивания в бетонной смеси на установке «ring test», с внутренним уходом.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Раннее растрескивание высококачественного бетона является постоянной проблемой для изделий и конструкций. Трещины могут ускорять преждевременную коррозию арматуры и приводить к разрушению бетона, что увеличивает затраты на техническое обслуживание и сокращает срок службы [1, 2]. Несмотря на то что высококачественные бетоны с более низким водоцементным отношением (В/Ц) обеспечивают более высокую прочность и более низкую проницаемость, эти смеси могут быть особенно восприимчивы к раннему растрескиванию. Это растрескивание раннего возраста может развиваться в бетоне по целому ряду причин, при этом стеснение температурных (тепловых) и аутогенных изменений объема является значительным фактором. Стеснение этого объемного изменения окружающими элементами создает внутри бетона напряжение, что может привести к растрескиванию [3–5]. Смеси с низким водоцементным отношением испытывают большую аутогенную усадку, а также внешнюю сушку и термическую усадку [6]. Внутренний уход это метод, когда абсорбирующий материал вводится в смесь, действуя как внутренний резервуар, который выделяет воду по мере того, как требуется бетону. Внутренний уход может уменьшить или устранить аутогенную и стесненную

усадку в раннем возрасте, а также уменьшить потенциал раннего растрескивания вследствие пластической усадки или усадки при «самовысыхании» [7–9].

Цель продления срока службы бетонных конструкций такими технологиями, как внутренний уход, способствовали разработке тестов, которые могут быть использованы для множественных улучшений производительности в работе бетонных смесей. Одним из таких тестов является стесненный кольцевой тест – «ring test», как ASTM C1581-04. Устройство «ring test» обеспечивает сдержанность в отношении расширения и фиксирует сдержанное поведение расширяющихся бетонных образцов. Остаточное растягивающее напряжение развивается в образце, поскольку оно пытается сжиматься, но удерживается кольцом. Трещина возникает, если напряжение, которое возникает из-за стеснения (так называемого «остаточное напряжение»), превышает развивающуюся прочность на растяжение [8]. Стандарт предполагает, что относительный потенциал растрескивания смесей можно количественно оценить, сравнив количество времени, необходимое для растрескивания образцов. Соответственно изменения времени при быстром растрескивании указывают на относительно высокий потенциал растрескивания, тогда как более длительное время растрескивания указывает на более низкий потенциал растрескивания.

Этот метод позволяет определить время, когда высококачественный бетон может быть особенно чувствителен к растрескиванию. Кроме того, могут быть определены количественные характеристики воздействия постоянного напряжения на бетонный образец вплоть до появления сквозной трещины.

Целью данной работы является количественная оценка развития напряжений высококачественных бетонов в стесненных условиях с агентом внутреннего ухода.

Характеристика метода исследования. Для количественной оценки стесненной усадки бетона использована методика «ring test» (рис.), согласно ASTM C1581-04 *Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage*. Оборудование для проведения испытаний бетона в стесненных условиях представляет собой: кольцо внешнее диаметром 406 ± 3 мм и кольцо внутреннее диаметром 330 ± 3 мм, толщиной $12,5 \pm 1,0$ мм, высота всего оборудования составляет 150 ± 6 мм (рисунок). В полость между кольцами заливается бетонная смесь и во внутреннее кольцо устанавливаются тензометрические датчики. Как минимум используется два электрических тензодатчика для контроля напряжений (деформаций), развивающихся в стальном кольце. Система сбора данных должна быть совместима с измерительным прибором и автоматически записывать каждый тензодатчик независимо [10]. Регистрация деформаций осуществлялась модулем ввода-вывода «ОВЕН МВ-110-224.4ТД».

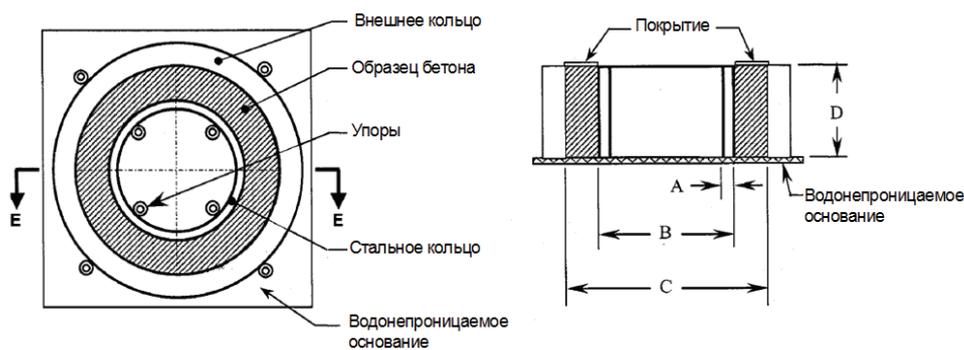


Рисунок – Метод исследования стесненной усадки бетон «ring test».

ЗНАЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Высококачественный бетон в области стесненного изменения неизбежно испытывает раннюю аутогенную усадку, сушку и тепловое изменение в раннем возрасте, которые могут вызвать растрескивание. Тест двойного кольца («ring test») может оценить напряжение, которое развивается, когда это изменение объема работает в сжатых стесненных условиях. Путем количественного определения деформаций, необходимых для образования трещин, можно определить напряжение, которое необходимо будет применять для того, чтобы вызвать растрескивание (называемое остаточной стрессовой способностью) смеси [8, 9]. Это важно при оценке технологий сокращения (уменьшение) усадки,

таких как внутренний уход, поскольку оно обеспечивает количественную оценку эффективности. Эта работа дает количественные данные о потенциальных преимуществах внутреннего ухода, которые могут сделать бетон более надежным с учетом снижения потенциала к растрескиванию в раннем возрасте.

Внутренний влажностный уход уменьшает или устраняет аутогенную усадку при самовысушивании путем подачи воды из пор мелкого водонасыщенного легкого заполнителя или частиц САП (супер абсорбирующий полимер). Уменьшая аутогенную усадку, растягивающие напряжения, которые возникают при стеснении бетона, также могут быть уменьшены или устранены. Поскольку смесь с содержанием САП содержит больше внутренней воды (для отверждения), которая также распределяется более равномерно, ожидается сокращение усадки и меньшее развитие остаточного напряжения, чем в обычной смеси.

Следует отметить, что добавление агента внутреннего ухода может снизить прочность на растяжение, прочность на сжатие и модуль упругости. Также использование САП уменьшает модуль упругости меньше, чем использование водонасыщенного легкого заполнителя в достаточно затвердевших системах. Это может быть объяснено тем фактом, что САП считается частью пасты и поддерживается в растворе, тогда как система предварительно водонасыщенного заполнителя частично заменяет легкий заполнитель. Можно заметить, что прочность на сжатие уменьшается за счет добавления САП. Подобное уменьшение обычно наблюдается при увеличении содержания воздуха, это может быть связано с прочностью в зависимости от размера или объема пустот, которые появляются в пастообразной фракции. На прочность при растяжении больше всего влияет объем легкого водонасыщенного заполнителя. Структура частиц данных заполнителей играет важную роль в общем разрушающем поведении раствора. Это указывает на тонкое, но важное различие между поведением агентов внутреннего ухода, которые заменяют часть заполнителей, и агентов внутреннего ухода, заменяют часть объемной доли пасты (САП) [11]. Это область, где необходимы дальнейшие исследования.

Использование «ring test» показывает поведение и устранение усадки в раннем возрасте, в том числе и смесей с агентом внутреннего ухода. Преимуществом уменьшения аутогенной усадки при агенте внутреннего ухода можно наблюдать, сравнивая остаточные напряжения различных смесей. Это указывает на то, что агент внутреннего ухода смеси обеспечивает существенное сокращение аутогенной усадки в раннем возрасте, что может быть весьма полезным для снижения риска растрескивания в высококачественном бетоне раннего возраста, когда бетон имеет относительно низкую прочность.

ВЫВОДЫ

Данное обзорное исследование позволяет оценить потенциал растрескивания, который имеет последствия для смягчения (уменьшения, предотвращения) раннего растрескивания в бетонной смеси. Внутренний уход это метод, когда абсорбирующий материал вводится в смесь, действуя как внутренний резервуар, который может уменьшить или устранить аутогенную и стесненную усадку в раннем возрасте, а также уменьшить потенциал раннего растрескивания вследствие пластической усадки или усадки при «самовысыхании». Данная проблематика изучена теоретически, поставлены цели и обоснованы, выявлены достоинства и недостатки методики оценки развития напряжений в высококачественных бетонах с внутренним уходом для устранения аутогенной и стесненной усадки. Данная методика требует дальнейшего планирования экспериментального исследования на образцах различного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, K. Permeability Study of Cracked Concrete [Текст] / K. Wang, S. P. Shah // Cement and Concrete Research. – 1997. – V. 27, No. 3. – P. 381–393.
2. Yang, W. Prediction of Concrete Cracking under Coupled Shrinkage and Creep Conditions [Текст] / W. Yang, K. Wang, S. P. Shah // Proceedings of the 4th Materials Engineering Conference. – 1996. – Nov. 10. – P. 564–573.
3. See, H. T. Potential for Restrained Shrinkage Cracking of Concrete and Mortar [Текст] / H. T. See, E. K. Attiogbe, M. A. Miltenberger // Cement, Concrete and Aggregates. – 2004. – V. 26, No. 2. – P. 12–30.
4. Lura, P. Cracking in Cement Paste Induced by Autogenous Shrinkage [Текст] / P. Lura, O. M. Jensen, J. Weiss // Materials and Structures. – 2009. – V. 42. – P. 1089–1099.
5. Weiss, J. Prediction of Early-Age Shrinkage Cracking in Concrete [Текст] : PhD dissert. / J. Weiss. – Northwestern University, Evanston, IL, 1999. – 358 p.
6. Lura, P. Autogenous Shrinkage in High-Performance Cement Paste: An Evaluation of Basic Mechanisms [Текст] / P. Lura, O. M. Jensen, K. Van Breugel // Cement and Concrete Research. – 2003. – V. 33. – P. 223–232.

7. Cusson, D. Internal Curing of High-Performance Concrete with Pre-Soaked Fine Lightweight Aggregate for Prevention of Autogenous Shrinkage Cracking [Текст] / D. Cusson, T. Hoogeveen // Cement and Concrete Research. – 2008. – V. 38. – P. 757–765.
8. Bentz, D. P. Internal Curing and Microstructure of High-Performance Mortars [Текст] / D. P. Bentz, P. E. Stutzman // Internal Curing of High-Performance Concretes: Laboratory and Field Experiences, SP-256, D. Bentz and B. Mohr, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008. – P. 81–90.
9. Henkensiefken, R. Plastic Shrinkage Cracking in Internally Cured Mixtures Made with PreWetted Lightweight Aggregate [Текст] / R. Henkensiefken, P. Briatka, D. Bentz, T. Nantung, J. Weiss // Concrete International. – 2010. – V. 32, No. 1. – P. 49–54.
10. ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage [Текст]. – 01-07-2004. – United States : International, West Conshohocken. – 6 p.
11. Weiss, J. Shrinkage Cracking in Restrained Concrete Slabs: Test Methods, Material Compositions, Shrinkage Reducing Admixtures, and Theoretical Modeling [Текст] : ms thesis / J. Weiss. – Northwestern University : Evanston, 1997. – 138 p.

Получено 09.04.2018

К. С. ЛОБОДА, М. М. ЗАЙЧЕНКО
КІЛЬКІСНА ОЦІНКА РОЗВИТКУ НАПРУЖЕНЬ У ВИСОКОЯКІСНИХ
БЕТОНАХ ПРИ ОБМЕЖЕНИХ УМОВАХ З АГЕНТОМ ВНУТРІШНЬОГО
ДОГЛЯДУ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Новий метод тестування на двох кільцях, згідно з ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage, характерний для ранньої поведінки бетону, який розширюється і деформується. У цьому дослідженні пропонується нова методологія оцінки потенціалу розтріскування, який має наслідки для пом'якшення (зменшення, запобігання) раннього розтріскування в бетоні. Внутрішній догляд – це метод, коли абсорбуючий матеріал вводиться в суміш, діючи як внутрішній резервуар, який може зменшити або усунути аутогенну і стиснену усадку в ранньому віці, а також зменшити потенціал раннього розтріскування внаслідок пластичної усадки або усадки при «самовисиханні».

Ключові слова: аутогенна усадка, внутрішній догляд, легкий заповнювач, залишкове напруження, високоякісний бетон, обмежена усадка.

LOBODA KATERYNA, ZAICHENKO MYKOLA
QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE DEVELOPMENT OF STRESS IN HIGH-
PERFORMANCE CONCRETE IN RESTRAINED CONDITIONS WITH AN
INTERNAL CURING AGENT
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. A new test method for two rings, according to ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage, is characterized for early behavior of concrete that expands and deforms. This study proposes a new methodology for assessing the potential for cracking, which has implications for mitigating (reducing, preventing) early cracking in concrete. Internal curing is a method in which an absorptive material is incorporated into a mixture that acts as an internal reservoir that can reduce or eliminate early-age autogenous and restrained shrinkage and also reduce the potential for early cracking due to plastic shrinkage or shrinkage during «self-desiccation».

Key words: autogenous shrinkage, internal curing, lightweight aggregate, residual stress, ring test, high-performance concrete, restrained shrinkage.

Лобода Екатерина Сергеевна – аспирант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: высококачественные бетоны с компенсированной усадкой.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Лобода Катерина Сергіївна – аспірант кафедри технології будівельних конструкцій, виробів та матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: високоякісні бетони з компенсованою усадкою.

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетони на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Loboda Kateryna – Post-graduate student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-performance concrete with restrained shrinkage.

Zaichenko Mykola – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength and high-performance concretes based on modified fillers.