



Белых И. М.



Сопов В. П.

Белых И. М., старший преподаватель кафедры графики, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры,

✉ irina10zima@gmail.com ☎ +38 (050) 133 37 99,

Сопов В.П., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физико-химической механики и технологии строительных материалов и изделий, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры,

✉ vpsopov@gmail.com ☎ +38 (093) 415 23 15

I. Belykh, Senior Lecturer, Department of Graphics, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture,

✉ irina10zima@gmail.com ☎ +38 (050) 133 37 99,

V. Sopov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Physical-Chemical Mechanics and Technology of Building Materials and Products, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture,

✉ vpsopov@gmail.com ☎ +38 (093) 415 23 15

РОЛЬ ТЕПЛОТЫ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА В ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА

РОЛЬ ТЕПЛОТИ ГІДРАТАЦІЇ ЦЕМЕНТУ У ФОРМУВАННІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ

THE ROLE OF HEAT OF CEMENT HYDRATION IN FORMING THE EXPLOITATION PROPERTIES OF CONCRETE

Аннотация. Показано, что одной из причин трещинообразования в твердеющих бетонах является формирование растягивающих напряжений, вызванных повышением температуры в результате тепловыделение при гидратации цемента совместно с усадочными деформациями. Установлена роль технологии бетона и производства бетонных работ в трещинообразовании. Показана необходимость согласования составов бетона и вида используемых цементов с сезонными колебаниями температуры для достижения необходимой ранней прочности бетона при относительно низком повышении температуры. Приведена характеристическая зависимость ранней прочности бетона от величины теплоты гидратации цемента в ранние сроки твердения. Приведенная зависимость дает возможность определить сроки распалубки без проведения дополнительных испытаний для рядовых составов бетона в условиях Украины.

Ключевые слова: трещинообразование, состав бетона, тепловыделение при гидратации, максимальная температура, прочность на сжатие, термические напряжения.

Анотація. Показано, що однією з причин утворення тріщин в тверднуть бетонах є формування напруг, що розтягують, викликаних підвищенням температури в результаті тепловиділення при гідратації цементу спільно з усадковими деформаціями. Встановлено роль технології бетону і виробництва бетонних робіт в утворення тріщин. Показана необхідність узгодження складів бетону і виду використовуваних цементів з сезонними коливаннями температури для досягнення необхідної ранньої міцності бетону при відносно низькому підвищенні температури. Наведено характеристична залежність ранньої міцності бетону від величини теплоти гідратації цементу в ранні терміни твердіння. Наведена залежність дає можливість визначити терміни розпалубки без проведення додаткових випробувань для рядових складів бетону в умовах України.

Ключові слова: утворення тріщин, склад бетону, тепловиділення при гідратації, максимальна температура, міцність на стиск, термічні напруги.

Abstract. It is shown that one of the causes of crack formation in hardening concretes is the formation of tensile stresses caused by temperature increase resulting in heat release during cement hydration together with shrinkage deformations. The role of concrete technology and the production of concrete works in fracturing is established. The need to harmonize concrete compositions and the type of cement used with seasonal temperature fluctuations is shown to achieve the required early strength of concrete with a relatively low temperature rise. The characteristic dependence of the early strength of concrete on the value of the heat of hydration of cement in the early periods of hardening is given. The above dependence makes it possible to determine the time for decking without additional tests for ordinary concrete compositions in the conditions of Ukraine.

Key words: crack formation, concrete composition, heat evolution of hydration, maximum temperature, compressive strength, thermal stresses.

Твердение бетона – сложный технологический процесс, в ходе которого происходит формирование основных эксплуатационных свойств возводимого сооружения. Управление этим процессом осуществляется за счет использования различного вида химических и минеральных добавок. Гидратация цемента в бетоне сопровождается экзотермическими эффектами, величина которых может вызывать существенные колебания температуры в бетонируемой конструкции, особенно в случае массивных сооружений [1-3].

Вследствие этого, необходимость температурного контроля твердеющего бетона является весьма распространенной инженерной задачей [4-5]. Формирование температурного поля твердеющей монолитной бетонной конструкции представляет собой очень сложный, постоянно изменяющийся во времени процесс [6-7]. Начиная с момента укладки первого слоя, он продолжается и в эксплуатационный период.

Значительные температурные градиенты в теле твердеющего бетона могут вызвать образование трещин и, как следствие, нарушение сплошности структуры конструк-

ции, снижение эксплуатационной надежности. Степень температурного разогрева зависит от состава бетона и ряда технологических факторов. При этом важным является не столько величина температуры, сколько ее равномерное распределение по объему твердеющего бетона [7]. Поскольку различные части бетонируемой конструкции могут находиться в различных температурно-влажностных условиях, то их разогрев будет осуществляться неравномерно, что вызывает необходимость дополнительных технологических мероприятий по обеспечению выравнивания температурного поля. Причем это важно не только на стадии интенсивного гидратационного твердения, но и в процессе остывания бетона на заключительной стадии производства бетонных работ. В случае массивных бетонных сооружений, когда не может быть осуществлена одновременная укладка всего объема бетонной смеси причиной образования температурных трещин является возникновение температурных деформаций в местах контакта нового и уже уложенного бетона.

В условиях непрерывного колебания температуры бетона происходит изменение его напряженно-

деформированного состояния. Трещинообразование в бетоне является наиболее опасным последствием температурных воздействий, которое может вызвать существенное снижение эксплуатационной надежности всего сооружения [8-9]. На сегодняшний день существуют некоторые рекомендации по выбору состава бетонов и режимам возведения массивных сооружений, однако в каждом конкретном случае необходим тщательный анализ возможного температурного разогрева бетона. Таким образом, исследование влияния технологических воздействий на характер изменения температурного поля твердеющего бетона является актуальной задачей.

Поскольку бетонные работы производятся круглогодично, то в зависимости от условий окружающей среды и массивности конструкции подбираются соответствующие составы бетонов. В случае ответственных конструкций необходимы дополнительные лабораторные калориметрические исследования процессов твердения различных составов бетона.

Важными факторами, влияющими на рост температуры в ходе тепловыделения при гидратации цемента, являются массивность конструкции, состав бетонной смеси, начальная температура свежеприготовленной бетонной смеси и условия рассеяния тепла. Массивность конструкции обусловлена в первую очередь ее толщиной. Влияние состава бетонной смеси обусловлено видом используемого цемента, его минеральным составом и водоцементным отношением. Существенное влияние на характер тепловыделения могут оказывать химические и минеральные добавки. Заполнитель влияет на подъем температуры в компоненте своими теплоемкостью и теплопроводностью, но в бетонах с обычным составом это влияние имеет второстепенное значение. Определяющими факторами для условий рассеяния тепла являются окружающая температура, вид опалубки, а также такие факторы, как скорость ветра, влажность и др. [10].

На строительной площадке температурный контроль направлен на оценку величины и скорости изменения температуры твердеющего бетона, которые вызваны процессами гидратации цемента. Повышение температуры обуславливает возникновение растягивающего напряжения, которое не должно превышать соответствующего предельного удлинения для обеспечения необходимой трещиностойкости (рис. 1) [11].

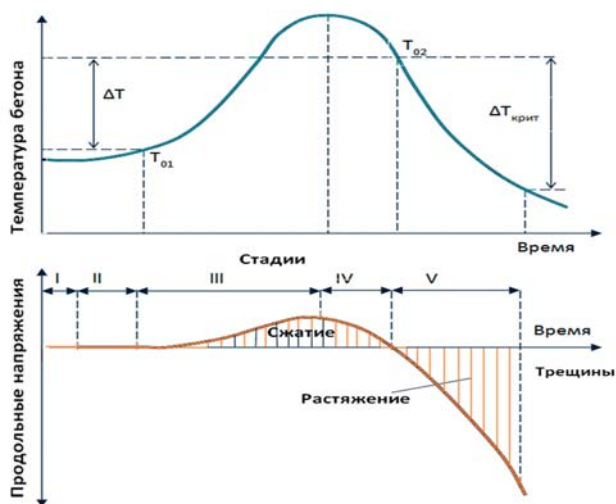


Рис. 1. Взаимосвязь температурных градиентов и растягивающих напряжений в твердеющем бетоне

Как видно из рис. 1, весьма важным является температурный мониторинг и соответствующий уход на стадии охлаждения бетона вследствие неравномерности протекающих процессов в различных частях конструкции.

Температура трещинообразования $T_{тр}$ зависит от максимальной температуры T_{max} и, как следствие, от характера изменения температуры во времени.

На рисунке 2 представлена зависимость температуры трещинообразования от максимальной температуры в бетоне. Как видно из рис. 2, риск трещинообразования в бетоне находится

в прямо пропорциональной зависимости от максимальной температуры. Несомненно, следует учитывать величину коэффициента теплового расширения компонентов бетона, снижение которого может существенно снизить риск образования трещин.

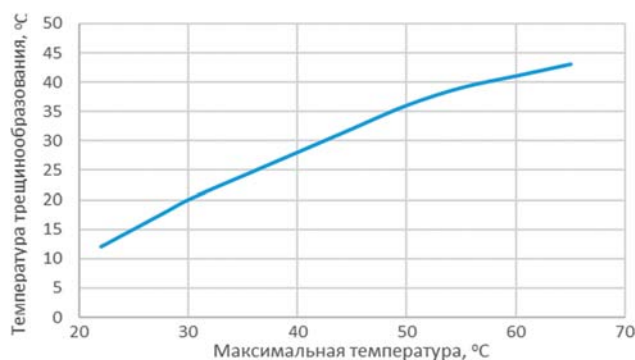


Рис. 2. Зависимость температуры трещинообразования от максимальной температуры твердеющего бетона

Влияние на коэффициент теплового расширения и предельное удлинение при тех заполнителях, которые применяются в Украине, и составах бетонной смеси, изменяемых в узких пределах, незначительное. Таким образом, можно утверждать, что основное влияние на возникновение напряжений в бетоне будут оказывать условия его твердения (вид опалубки, климатические условия и пр.), а не, собственно, технология бетона. Поэтому возможные способы технологического воздействия по предотвращению возможного растрескивания, связанного с теплотой гидратации, весьма ограничены. В первую очередь, они должны быть направлены на уменьшение максимальной температуры твердеющего бетона. Это предполагает определение зависимости между тепловыделением при гидратации и нарастанием прочности.

Для определения такой зависимости с помощью методов полуадиабатической калориметрии записываются кривые тепловыделения исследуемых составов при различных температурах окружающей среды. Если кривые тепловыделения соотносить с соответствующим возрастом бетона с учетом характера влияния температуры, то полученная зависимость теплоты гидратации цемента от времени представляет характеристическую кривую для конкретного бетона в чистом виде.

Оценка прочности на сжатие образцов бетона в ранние сроки твердения (до 3 сут) сопоставленная с полученной характеристической кривой позволяет получить искомую зависимость (рис. 3).

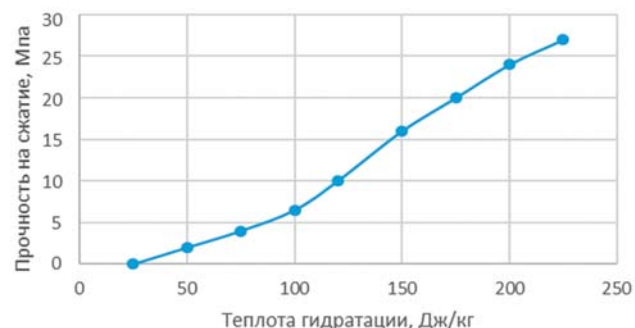


Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие бетона от теплоты гидратации цемента в ранние сроки твердения

Полученная зависимость прочности на сжатие бетона от теплоты гидратации цемента представляет объективный критерий для предварительной оценки прочности бетонов относительно величины тепловыделения, поскольку в условиях украинских производителей при варьировании свойств компонентов (заполнители, цементы, химические добавки) в узком диапазоне различие между составами рядовых бетонов будет незначительным.

Выводы

Показано, что одной из причин трещинообразования в твердеющих бетонах является формирование растягивающих напряжений, вызванных повышением температуры в результате тепловыделения при гидратации цемента совместно с усадочными деформациями. Трещинообразование может быть обусловлено не только внутренними напряженными состояниями, но также осевыми напряжениями при ограничении деформации бетонного фрагмента в условиях, когда укладка бетонной смеси осуществляется захватками («новый» – «старый» бетон). Появление трещин наблюдается также при остывании бетонного массива, когда превышает предельная деформация удлинения.

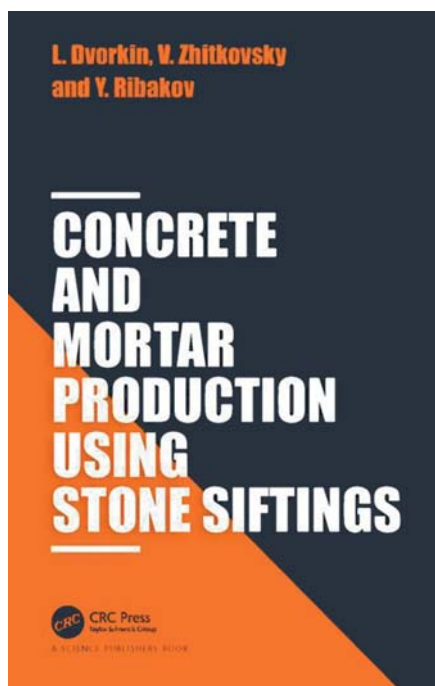
Установлена роль технологии бетона и производства бетонных работ в трещинообразовании. Показана необходимость согласования составов бетона и вида используемых цементов с сезонными колебаниями температуры для достижения необходимой ранней прочности бетона при относительно низком повышении температуры.

Приведена характеристическая зависимость ранней прочности бетона от величины теплоты гидратации цемента в ранние сроки твердения. Приведенная зависимость дает возможность определить сроки распалубки без проведения дополнительных испытаний для рядовых составов бетона в условиях Украины.

Литература:

1. Neville A., Cement and concrete: their interaction in practice, in Advances in Cement and Concrete, American Soc.Civil Engineers, New York, (1994), pp. 1 – 14.
2. Сопов В.П., Белых И.М., Глазнева А.П. Роль температурного фактора в технологии мо-нолитного бетона. / Науковий вісник будівництва. Харьков: ПФ «Михайлов», № 49. – 2008. -с. 208-212.
3. Несветаев Г.В. Бетоны: учебно-справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 381 с.
4. Журов Н.Н., Комиссаров С.В. Система температурно-прочностного контроля бетона в раннем возрасте. / Вестник МГСУ, 2010. - №4. – с. 296-300.
5. Riding K. A., Evaluation of Temperature Prediction Methods for Mass Concrete Members. / K. A. Riding, J. L. Poole, A. K. Schindler, M. C. G. Juenger, and K. J. Folliard. ACI Materials Journal, (2006). – 103(5). – pp. 357-365.
6. Сопов В.П., Поклонский Е.В., Белых И.М. Расчет температурных полей в бетоне. / Науковий вісник будівництва. Харьков: ПФ «Михайлов», № 54. – 2009. -с. 374-378.
7. Воробьева, Т.М. Исследование температурных полей в кон струкции основания фундаментной железобетонной плиты здания / Т.М. Воробьева, А.В. Головки // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: материалы Все российской научно-практической конференции, Хабаровск, 21-23 апр. 2010 г.: в 6 т. / ДВГУПС; ред. О.Л. Рудых. - Хабаровск, 2010. -Т. 2. -С. 226-230.
8. Thielen, G.; Grube, H.: Maßnahmen zur Vermeidung von Rissen im Beton. Betonund Stahlbetonbau 85 (1990) H. 6, S. 161–167.
9. Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete. Reported by ACI Committee 207, 2007. – 32p.
10. Моделирование влияния градиентов температур на распределение напряжений на стадии гидратации бетонов / Ю. А. Абзаев, А. И. Гныря, С. В. Коробков и др. // Вестник ТГАСУ. – Томск: ТГАСУ, 2016. – № 3 (56). – С.129 – 138.
11. Hintzen, W.; Grube, H.: Verminderung der Rißbildung in Tunnelinnenschalen aus Ortbeton. Betonbau in Forschung und Praxis, Verlag Bau + Technik 1999. – S.177–184.

НОВА КНИГА У ВИДАВНИЦТВІ «CRC PRESS»



У видавництві «CRC Press» (США) вийшла монографія «Concrete and Mortar Using Stone Siftings» підготовлена науковцями Національного університету водного господарства та природокористування (д.т.н., професор Леонід Дворкін, к.т.н., доцент Вадим Житковський) та Аріельського університету (Ізраїль) (професор Юрій Рибаків).

В монографії викладено результати експериментально-теоретичних досліджень використання відходів подрібнення вивержених гірських порід при виготовленні різних видів бетонів, розчинів та сухих будівельних сумішей, що проводились в науково-дослідній лабораторії кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства НУВГП.

CRC Press (США) – видавництво, яке спеціалізується на науковій та технічній літературі. Видає літературу у галузі інженерних наук, математики, а також бізнесу та інформаційних технологій. CRC Press є підрозділом міжнародного книжкового концерну Taylor & Francis Group, одного з найбільш рейтингових видавництв наукової літератури заснованого в 1852 році, яке щорічно видає близько 1800 нових книг та 1000 журналів.

Монографія «Concrete and Mortar Using Stone Siftings» є восьмою англійською книгою виданою професором Леонідом Дворкіним у країнах Європейського союзу та Сполучених Штатах Америки.

<https://www.crcpress.com/Concrete-and-Mortar-Production-using-Stone-Siftings/Dvorkin-Zhitkovsky-Ribakov/p/book/9781138565586>