

CONTROL OF THE MAGNETIZATION OF INDUSTRIAL PERMANENT MAGNETS FOR MAGNETIC-POWER MECHANICAL SYSTEMS

A.N. BOLOTOV, Dr. Sc., O.O. NOVIKOVA, Cand. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, Russian Federation, e-mail: alnikbltov@rambler.ru

A method for controlling the homogeneity of magnetization of magnets is proposed, based on the experimental determination of the magnetic field strength on the polar surface of a magnet of various shapes. If the experimental value of the magnetic field deviates from the calculated value determined by the characteristics specified in the corresponding GOST, the magnets are rejected by more than 10 %. To perform calculations of the magnetosilic properties of mechanisms, it is proposed to use an experimentally determined average value of magnetization. Theoretical formulas for determining the magnetic field of prismatic, cylindrical and annular magnets are obtained using the equivalent solenoid method.

Keywords: permanent magnets, high-coercivity magnetic, magnetization, magnetic force, magnetic mechanisms.

Поступила в редакцию/received: 04.04.2023; после рецензирования/revised: 20.04.2023;
принята/accepted: 27.04.2023

УДК 620.16

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КАРБОНАТНОГО БЕТОНА

В.В. БЕЛОВ, д-р техн. наук, Т.Р. БАРКАЯ, канд. техн. наук,
П.В. КУЛЯЕВ, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: vladim-bel@yandex.ru

© Белов В.В., Баркая Т.Р., Куляев П.В., 2023

В статье рассмотрена зависимость механического поведения карбонатного бетона от скорости деформации. Установлено, что в основе этой зависимости лежат два различных физических механизма: процесс разрушения, влияющий на скорость образования трещин, и вязкоупругие деформации неповрежденной (неразрушенной) цементной пасты. Показано, что при анализе различных аспектов механизма разрушения следует принимать во внимание трещинообразование для простых и карбонатных бетонов и учитывать влияние скорости деформации. Выявлено, что для формирования полной картины разрушения этих бетонов механизм образования трещин должен быть включен в анализ различных аспектов морфологии сечений образцов и проявления признаков роста трещин.

Ключевые слова: мелкозернистые карбонатные бетоны, деформативные свойства, трещиностойкость, влияние известнякового микронаполнителя, химические добавки.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-3-46-52

*Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 3 (19), 2023*

ВВЕДЕНИЕ

Получение эффективных мелкозернистых карбонатных бетонов (МЗКБ) с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами связано с необходимостью изучения механических свойств этих бетонов на разных уровнях воздействия [1, 2]. В МЗКБ присутствует так называемая матрица, состоящая из цементного раствора, различных добавок и жесткого скелета из заполнителя. Снижение уровня деформаций МЗКБ сводится к реализации процессов [3] выравнивания гидратации за счет более равномерного распределения частиц цемента в объеме МЗКБ; физического вытеснения воды из воздушных и капиллярных микропор и частичного перевода ее в гелевую область.

Правильные дозирование, степень дисперсности и технология введения добавок ведут к снижению деформаций МЗКБ, делая последние более прочными и стойкими к агрессивным средам [4].

В статьях [5–7] представлены современные исследования МЗКБ с минеральными добавками и рассмотрено влияние разнообразных факторов на его физико-механические свойства. Деформативность при ползучести является не менее важным параметром, определяющим эксплуатационные характеристики МЗКБ [8]. На эти характеристики влияют и такие факторы, как водотвердое отношение, размер заполнителя, тонкость помола вяжущего, влажность, возраст бетона к моменту приложения нагрузки и сама величина нагрузки [9–11].

Влияние таких параметров, как структура, состав бетона, процентное содержание пластифицирующих и минеральных добавок, освещено в работах, где, помимо прочего, отмечается влияние известнякового тонкодисперсного наполнителя на реологические и технологические свойства бетона [12–14].

Методика оценки долговечности бетонов на композиционном вяжущем рассмотрена в статье [15].

Таким образом, анализ опубликованных работ, как приведенных выше, так и других по данной теме, показывает, что при разработке технологии МЗКБ особое внимание уделяется повышению прочности, морозостойкости, стойкости к циклическим нагрузкам и истиранию (например, при получении дорожных конструкций), что не всегда возможно реализовать при существующих методах проектирования композиций МЗКБ и технологиях производства. Особенно это касается задачи повышения трещиностойкости данных бетонов. Таким образом, необходимо совершенствовать научные методы и способы повышения эксплуатационно-технологических свойств МЗКБ, прежде всего их трещиностойкости и долговечности.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе нагружения в бетонах при ударных и длительных нагрузках, как и при длительных статических, скорость деформации изменяется для различных стадий (возникновения трещин, их распространения и после разрушения). В целом это зависит от динамических свойств бетона, времени воздействия и ряда других факторов.

В табл. 1 приведены составы смеси для обычного мелкозернистого и карбонатных бетонов. Карбонатный наполнитель был измельчен до удельной поверхности $350 \text{ м}^2/\text{кг}$. В ходе испытаний на образцах-балках размером $10 \times 10 \times 40 \text{ см}$, выполненных из обычного и карбонатного бетонов, оценивали деформации для различной нагрузки.

Таблица 1. Составы и свойства обычного (производственного) и карбонатных бетонов

Компоненты бетона и свойства	Составы бетона, кг/м ³		
	Производственный состав мелкозернистого бетона	МЗКБ № 1	МЗКБ № 2
Цемент	650	336	472
Песок	1 460	–	–
Заполнитель из отсева дробления известняка	–	1 528	1 528
Вода	286	333	295
Молотый известняк	–	336	200
СП-1 (сухой)	–	2,52	5,04

Гидравлический пресс (рис. 1) применяли в качестве испытательной установки для оценки уровня мгновенных и устойчивых деформаций. Ступенчатая предварительная нагрузка составляла 500 Н. Электрические датчики измеряли начало трещины. Электроизмеритель был наклеен на участки контрольных деформаций (в нижней части испытательных балок).

В эксперименте под ударной нагрузкой применяли чуть более длинные образцы-балки из железобетона обычного и карбонатного составов. Арматура состояла из основных стержней класса А300, продольных стержней диаметром 12 мм и поперечных диаметром 8 мм.



Рис. 1. Испытательное устройство с образцом и электрическим измерителем для определения мгновенных и длительных напряжений

В ходе оценивания эффекта деформации при ударе использовали специальное устройство для сброса (рис. 2). Ударный испытательный стенд представлял собой наконечник-груз весом 100 Н со средней скоростью приложения удара 0,2 с. Для измерения мгновенных и устойчивых деформаций использовался измерительный мостик. Рычаг вместе с грузом-наконечником фиксировался защелкой с застежкой, которая при нажатии отпускала рычаг и справлялась с ударной нагрузкой. Высота подъема рычага соответствовала чувствительности электрических датчиков для фиксации момента трещины, дальнейшее развитие которой контролировалось с помощью фото- и видеофиксации. Электрические тензометры были подсоединены к тензоэлектрическому измерительному прибору с гальванометром постоянного тока по параллельной цепи.

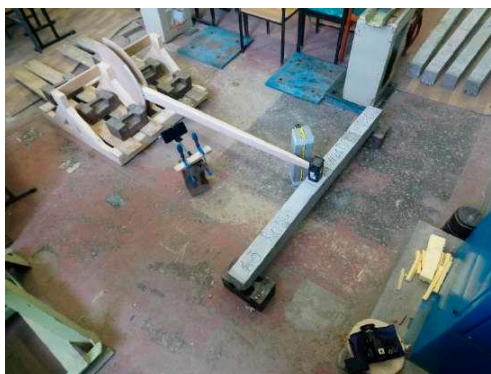


Рис. 2. Испытательное устройство для измерения ударных напряжений

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 2 приведены результаты определения трещинообразующих деформаций для обычного и карбонатного бетонов под нагрузкой.

Таблица 2. Влияние вида нагрузки и длительности нагружения на трещинообразующие деформации для обычного и карбонатного бетонов

Условия нагружения		Трещинообразующие деформации, 10^{-3}		
Вид нагрузки	Время	Обычный бетон	МЗКБ № 1	МЗКБ № 2
Ударная	20 мкс	2,1	2,6	2,4
Кратковременная	1 час	2,9	5,2	3,0
Длительная	7 суток	3,2	5,6	3,3

В табл. 2 показаны характеристики разрушения карбонатного бетона (в балках) в сравнении с обычным по периодам приложения нагрузки. Некоторые деформации ползучести включены в полную величину деформаций, образующих трещины в результате длительной нагрузки. Уровень трещинообразующих деформаций зависит от длительности приложения и интенсивности нагрузки. В целом для карбонатного бетона этот уровень несколько выше, чем для простого (см. табл. 2). Чем больше продолжительность действия нагрузки, тем медленнее для обычного бетона растут значения трещинообразующих деформаций, особенно в случае кратковременной нагрузки с одинаковым шагом. Для карбонатного бетона значения деформаций растрескивания при увеличении продолжительности нагрузки возрастают незначительно, при этом к ним добавляются пластические деформации ползучести. Карбонатный тонкоизмельченный наполнитель создает пластичные зоны, демпфирующие ход трещинообразующих деформаций; в верхней части канала трещины карбонатных бетонов создают площадь накопления упругой деформации, которая больше, чем в обычных бетонах, за счет того, что добавка с карбонатным наполнителем и суперпластификатором охватывает микро- и мезозоны канала трещины в бетоне.

Изменение величины трещинообразующей деформации влияет и на картину разрушения. У обычного бетона это раскол с большой основной трещиной, а у карбонатного – формирование кластера с микротрещинами.

На заключительном этапе образцы нагружались до появления разрушения с трещиной, развивающейся перпендикулярно продольной оси образца (оба конца балки опирались на шарниры) (рис. 3). На стадии развития трещин не было разрушений по наклонным участкам, в отличие от обычного бетона, который показал известную картину разрушения.



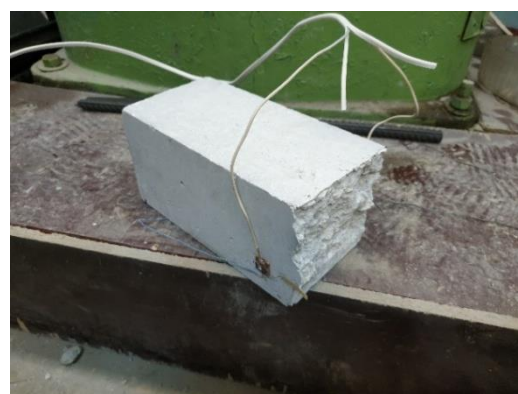
Рис. 3. Процесс разрушения образца карбонатного бетона

На рис. 4 показано разрушение образца карбонатного бетона состава № 2 (МЗКБ № 2). В отличие от обычного бетона, который разрушается хрупко с минимальными значениями трещинообразующих деформаций, образцы на карбонатном бетоне разрушаются постепенно, имея большую площадь пластичности в верхней части основной трещины, которая ограничивает изменения трещинообразующих деформаций. Для обычного бетона эти участки являются менее пластичными, что снижает значения трещинообразующих деформаций.

На половине образца после испытания (рис. 4б) проявляются узловые включения частиц наполнителя в мягкой матрице карбонатного микронаполнителя. Эта шероховатая развитая поверхность – результат вязкопластичных внутренних мезо- и микросмещений, сопровождающих процесс разрушения. Все они задерживают образование трещин в карбонатных бетонах. Поверхности разрушения в обычном бетоне более гладкие, что показывает меньшее сопротивление процессу развития трещин по сравнению с карбонатными бетонами.



(а)



(б)

Рис. 4. Процесс разрушения контрольного образца карбонатного бетона (а) и одна из его половин с шероховатой развитой поверхностью после разрушения (б)

ВЫВОДЫ

Карбонатный наполнитель пластифицирует цементную матрицу и окружающие агрегатные зоны и укрепляет контактные зоны между цементным камнем и заполнителем, способствует образованию микропластичных зон, поглощая удар и устойчивую энергию, тем самым увеличивая полные трещинообразующие деформации и делая карбонатный бетон более стойким к ударным нагрузкам.

Установлено, что замена 50 % цемента измельченным известняком в бетонной смеси способствует сокращению локальных факторов напряжения, которые влияют на поведение бетона при разрушении. Между наполнителем и связующим сформирована более однородная и прочная композитная структура. Это повышает трещиностойкость карбонатного бетона и его динамическую прочность, что приводит к повышению эффективности и улучшению физико-механических свойств карбонатного бетона. За счет изменяющейся объемной пластической деформации матрицы объемное деформационное сглаживание композитной микроструктуры улучшает механические характеристики карбонатного бетона, особенно в долгосрочной перспективе, без значительных потерь технологических свойств на начальном этапе.

Более высокая устойчивость карбонатного бетона к трещинообразованию во многом обусловлена лучшей упаковкой частиц внутри бетонной матрицы и уменьшением пористости. Данные факторы вызывают перенос микротрещин из воздушных и капиллярных областей в микрзоны и распад мезотрещин на внутренние микроструктурные ядра, лишение композитной структуры микропластических энергозатратных областей. В итоге карбонатный бетон становится менее хрупким, чем обычный.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов В.В., Смирнов М.А. Новые принципы определения состава высококачественного бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2008. Вып. 13. С. 341–346.

2. Низина Т.А., Пономарев А.Н., Балыков А.С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 68–72.

3. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Зырянова В.Н., Никоненко Н.И., Мельников А.В. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных микронаполнителей // *Стройпрофиль: строительные технологии и бетоны*. 2012. № 2. С. 26–30.

4. Применение карбонатных добавок в цементных составах для гидроизоляционных и реставрационных работ зданий и сооружений / А.А. Плугин [и др.] // *Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ*. 2011. С. 224–227.

5. Schutter G.De. Effect of limestone filler as mineral addition in self-compacting concrete // *36th conference on our world in concrete & structures: recent advances in the technology of fresh concrete, proceedings*. Ghent: Ghent University. 2011. P. 49–54.

6. Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Определяющие соотношения показателей сопротивления разрушению цементных бетонов и параметров их структуры // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 5. С. 167–174.

7. Максимова И.Н., Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Полубарова Ю.В. Комплексная оценка параметров качества структуры и механики разрушения цементного камня // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2015. № 3 (675). С. 14–22.

8. Белов В.В., Субботин С.Л., Куляев П.В. Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микронаполнителями // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 25–29.

9. Балыков А.С., Низина Т.А., Макарова Л.В. Разработка составов высокопрочных мелкозернистых бетонов на природном и техногенном заполнителях и критериев оценки их эффективности // *Высокопрочные цементные бетоны*:

технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016): Сборник тезисов конференции. Казань: КазГАСУ. 2016. С. 19.

10. Chaid R., Jauberthie1 R., Boukhaled A. Effet de l'ajout calcairesur la durabilite des betons // *Lebanese Science Journal*. 2010. V. 11. № 1. P. 91–103.

11. Desnerck P., Schutter G. De., Taerwe L. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers // *Structural concrete*. 2012. V. 13. № 2. P. 95–101.

12. Хозин В.Г., Сибгатуллин И.Р., Хохряков О.В., Красникова Н.М. Производство ЦНВ из техногенных отходов – эффективный путь решения экологических и сырьевых проблем // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 190–192.

13. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов. Омск: СибАДИ. 2011. 461 с.

14. Использование композиционных вяжущих для повышения долговечности бетонной брусчатки / В.С. Лесовик [и др.] // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. № 4. С. 52–54.

15. Методика прогноза механических параметров бетонов методом численного моделирования / В.Т. Ерофеев [и др.] // *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: Материалы XXI Международного симпозиума имени А.Г. Горшкова*. Москва: ООО «ТПП». 2015. Т. 2. С. 29–31.

Для цитирования: Белов В.В., Баркая Т.Р., Куляев П.В. Повышение трещиностойкости карбонатного бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 3 (19). С. 46–52.

INCREASING THE CRACK RESISTANCE OF CARBONATE CONCRETE

V.V. BELOV, Dr. Sc., T.R. BARKAYA, Cand. Sc., P.V. KULYAEV, Cand. Sc.

Tver State Technical University

22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, Russian Federation, e-mail: vladim-bel@yandex.ru

The dependence of mechanical behavior of carbonate concrete on strain rate is considered in the article. It has been established that this dependence is based on two different physical mechanisms: the fracture process, which affects the rate of crack formation, and the viscoelastic deformation of the undamaged (undamaged) cement paste. It is shown that cracking for plain and carbonate concretes should be taken into account when analyzing different aspects of the fracture mechanism and the influence of the deformation rate should be taken into account. It has been revealed that in order to form a complete picture of fracture of these concretes the mechanism of crack formation should be included in the analysis of various aspects of morphology of sample cross-sections and manifestation of crack growth signs.

Keywords: fine-grained carbonate concretes, deformative properties, crack resistance, influence of limestone microfillers, chemical additives.

Поступила в редакцию/received: 20.04.2023; после рецензирования/revised: 04.05.2023;
принята/accepted: 11.05.2023