

Р. А. Бурханова, Т. К. Акчурин, И. В. Стефаненко, О. В. Бурлаченко

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕРМОСТОЙКОСТИ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: burkhanov@inbox.ru

В статье авторами предложен неразрушающий резонансный метод для оценки стойкости бетонов и деструктивных процессов при их циклическом нагреве и охлаждении. Представлены результаты экспериментальных исследований изменения резонансной частоты, предела прочности при изгибе, модуля упругости жаростойкого бетона при циклическом нагреве.

Ключевые слова: жаростойкий бетон, циклический нагрев, резонансная частота, изгиб, модуль упругости

R. A. Burkhanova, T. K. Akchurin, I. V. Stefanenko, O. V. Burlachenko

**DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL METHOD FOR DETERMINING
THE HEAT RESISTANCE OF HEAT-RESISTANT CONCRETE**

Volgograd State Technical University

In the article, the authors propose a non-destructive resonance method for assessing the resistance of concrete and destructive processes during their cyclic heating and cooling. The results of experimental studies of changes in the resonant frequency, the limit bending strength, elastic modulus of heat-resistant concrete at cyclic heating.

Keywords: heat-resistant concrete, cyclic heating, resonant frequency, bending, elastic modulus

Введение

В настоящее время для оценки термостойкости строительных материалов применяют различные критерии, которые, как правило, учитывают изменение их физико-механических или теплофизических свойств, но не включают в себя параметра, учитывающего изменение структуры материала [1]. Согласно СНиП 3.09.01–85 «Производство сборных железобетонных конструкций и изделий» термостойкость жаростойких бетонов определяется по потере в весе кубов $7 \times 7 \times 7$ см после их нагрева при температуре 800°C и последующего охлаждения в воде. Осмотр образцов производится визуально. Основным недостатком этой методики является большая трудоемкость при проведении испытаний, а также качественная субъективная оценка получаемых данных. Кроме того, при такой методике нет контроля за изменяющимися в результате циклов нагрева и охлаждения структурой и прочностью бетонов.

Деструктивный метод определения термостойкости жаростойких бетонов по потере прочности [2; 3] также трудоемок, так как предусматривает разрушение образцов при определении их прочности. В связи с тем, что цик-

лические «нагрев-охлаждение» приводят к неравномерному нарушению неоднородной структуры жаростойких бетонов и появлению в образцах поверхностных трещин, это вызывает значительный разброс данных, получаемых при определении прочности бетона, и поэтому требует испытания большого количества образцов.

Методика проведения исследований

Для оценки термостойкости жаростойких бетонов и деструктивных процессов при их циклическом нагреве и охлаждении авторами предложено использовать неразрушающий резонансный метод [4]. В зависимости от крупности заполнителя изготавливают образцы – балки размером $50 \times 50 \times 320$ мм или $100 \times 100 \times 640$ мм и определяют модуль упругости бетона до нагревания и после каждого цикла «нагрев-охлаждение».

Методика определения динамического модуля упругости бетона E основана на возбуждении в испытуемых образцах изгибных волн (рис. 1). Испытуемые образцы устанавливают на опоры, расстояние между которыми составляет 0,55 от длины образца и соответствует нулевой амплитуде. Изменяя частоту колебаний

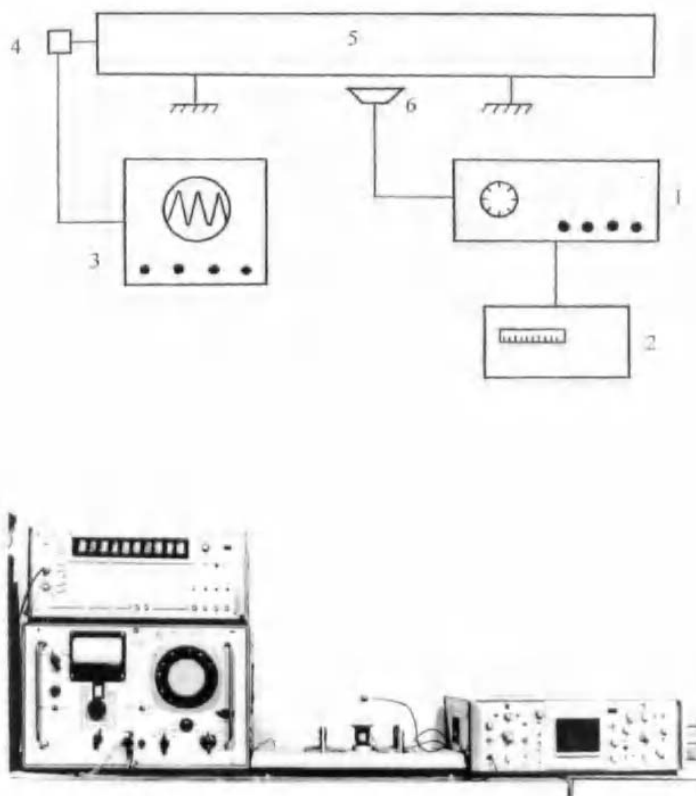


Рис. 1. Схема установки для определения резонансной частоты и динамического модуля упругости бетона:

1 – генератор; 2 – частотомер; 3 – осциллограф; 4 – датчик-приемник; 5 – образец; 6 – возбуждатель

возбуждения нетрудно получить, чтобы частота возмущающих колебаний совпадала с частотой собственных колебаний образца и возникало явление резонанса. Значение резонансной частоты Z определяют после каждого цикла «нагрев-охлаждение» на одних и тех же образцах. Динамический модуль упругости определяется по формуле:

$$E = \frac{Z^2 M l_o^2 T}{C^2 J^2},$$

где Z – резонансная частота; M – масса бетона; l_o – длина образца; T – поправочный коэффициент в зависимости от размеров образца и коэффициента Пуассона; C – коэффициент, зависящий от порядка гармоник колебаний; J – момент инерции в зависимости от геометрической формы сечения образца.

Значения пределов прочности бетонов при изгибе R_{bf} определяли из полных диаграмм изгиба и из данных испытаний при одноосном растяжении R_{bt} [5]. Согласно схеме рис. 2, за счет переменной жесткости резиновых прокладок, наибольшее обжатие образца происходит на его концах, а в срединной части, где проис-

ходит разрушение, концентрация напряжений практически отсутствует. Методика предусматривала из испытаний на одном и том же образце определение динамического модуля упругости, предела прочности при изгибе, одноосном растяжении, сжатии, пористости, работы на разрушение образца, что способствовало повышению точности получаемых результатов, принимая во внимание неоднородную структуру жаростойких бетонов.

Параллельно после циклов нагрева-охлаждения на образцах производится определение предела прочности жаростойких бетонов на растяжение R_{bf} при четырехточечном изгибе. Принятая схема испытаний обеспечивает разрушение образцов в зоне постоянных напряжений по сечению, наиболее ослабленному трещинами. По результатам испытаний строится график в координатах $R_{bf} - Z^2$ в зависимости от количества циклов «нагрев-охлаждение». Циклический нагрев оказывает значительное влияние на изменение резонансной частоты, динамического модуля упругости и предела прочности жаростойкого бетона при изгибе (рис. 4).

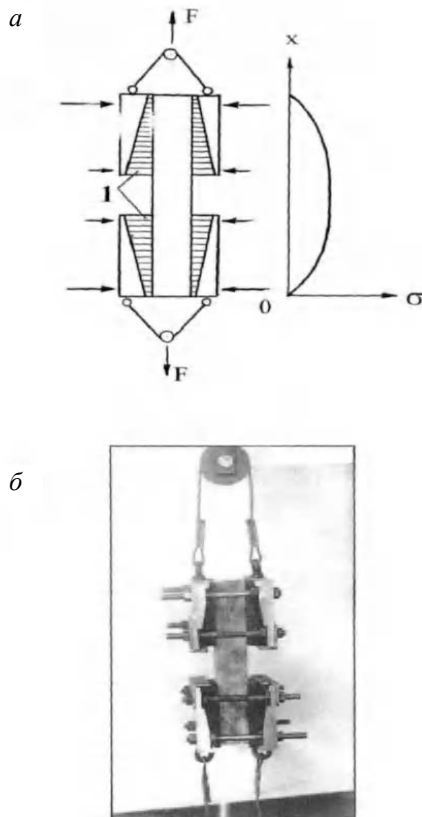


Рис. 2. Схема (а) и общий вид испытаний (б) для определения предела прочности бетона при одноосном растяжении. F – сила,

σ – нормальные напряжения, 1 – резиновые прокладки

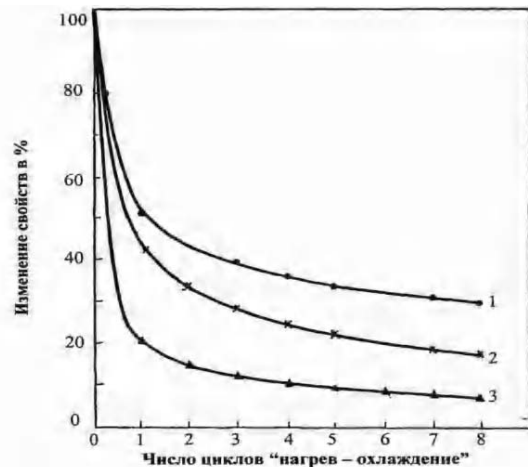


Рис. 3. Относительное изменение характеристик бетона при циклическом нагреве:

1 – резонансная частота; 2 – предел прочности при изгибе; 3 – модуль упругости

Уже первый цикл нагрева приводит к снижению резонансной частоты, а затем наиболее существенное изменение структуры бетона происходит к 6–8 циклам «нагрев-охлаждение», после чего процесс стабилизируется. Об изменении структуры также свидетельствует резкое уменьшение удельной поверхности бетона, которая после восьми циклов нагрева составляла 52,3 % начальной величины. Данные изменения резонансной частоты являются средними для

испытанных пяти образцов (среднее стандартное отклонение не превышает 4,0 %).

Результаты исследований

Результаты испытаний при четырехточечном изгибе получены по данным пяти образцов. Среднее стандартное отклонение характеристик исходных образцов составляло 7,0 %, а после циклов нагрева – 13,0 %. Резонансная частота, пропорциональная модулю упругости, уменьшается по мере нарушения структуры и уменьшения прочности жаростойких бетонов. Это позволило установить корреляцию между пределом прочности на растяжение при изгибе и изменением резонансной частоты (рис. 4). Таким образом, имеется возможность при минимальном количестве испытаний на одних и тех же образцах прогнозировать изменение прочности и долговечности бетона.

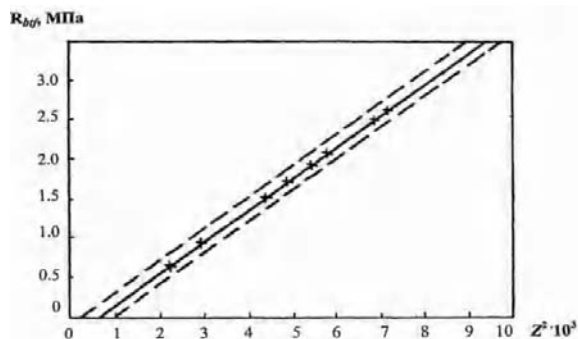


Рис. 4. Взаимосвязь квадрата резонансной частоты Z^2 и предела прочности при изгибе R_{bf} жаростойкого бетона на портландцементе с шамотным заполнителем в условиях циклического нагрева

Выводы

1. Установлена взаимосвязь между модулем упругости и пределом прочности при растяжении в зависимости от температуры нагрева жаростойких бетонов. Применение резонансного метода позволило разработать экспериментальный неразрушающий метод, позволяющий при минимальном количестве образцов определять термостойкость бетонов, прогнозировать их прочность и долговечность.

2. Применение неразрушающего резонансного метода наиболее перспективно для контроля модуля упругости, прочности и трещиностойкости жаростойких бетонов, а также нормирования их термостойкости и долговечности в зависимости от условий применения бетона при массовом производстве в условиях заводской технологии жаростойких бетонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тринкер А. Б. Управление структурой и свойствами бетона // Технологии бетонов. – 2012. – Вып. 11–12. – С. 34–38.
2. Дворкин, Л. И. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов / Л. И. Дворкин, В. И. Год, О. Л. Дворкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 432 с.
3. Соловьева, В. Я. Проектирование высокопрочного бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками / В. Я. Соловьева // Бетон и железобетон. – 2007. – Вып. 3. – С. 16–18.
4. Джонс, Р. Неразрушающие методы испытаний бетона / Р. Джонс, И. Фэкоару. – М.: Стройиздат, 1974. – 296 с.
5. Бурханова, Р. А. Влияние нагрева на изменение трещиностойкости жаростойких бетонов / Р. А. Бурханова, Т. К. Акчурин, И. В. Стефаненко // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 10 (281) / ВолгГТУ. – 2023. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 39–45.