

МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

М. Е. Гонов, Т. Н. Южина

Научно-исследовательский институт механики
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

Введение

Не сегодняшний день тематика изучения динамических свойств хрупких материалов, в частности бетона и его разновидностей, остается актуальной. Это связано с неоднородностью бетонов и его разновидностями. Поэтому динамические испытания не должны иметь ограниченный характер. Они должны проводиться с определенной периодичностью для разных видов бетона с целью получения наиболее полной картины их динамических свойств. Успешно созданной и результативно применяемой методикой изучения динамических свойств материалов является использование метода Кольского для исследования

процессов высокоскоростного деформирования материалов различной физической природы [1]. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Для данного метода необходимы образцы круглого сечения, диаметр которых зависит от диаметра мерных стержней, применяемых в испытательной установке. В случае с бетонными образцами возникает ряд сложностей при их изготовлении. Целью данной статьи является описание методики изготовления бетонных образцов, рассмотрение достоинств и недостатков разных методов, обзор необходимых инструментов и применяемого оборудования. По результатам испытаний пробной серии образцов проводится диаграмма деформирования.

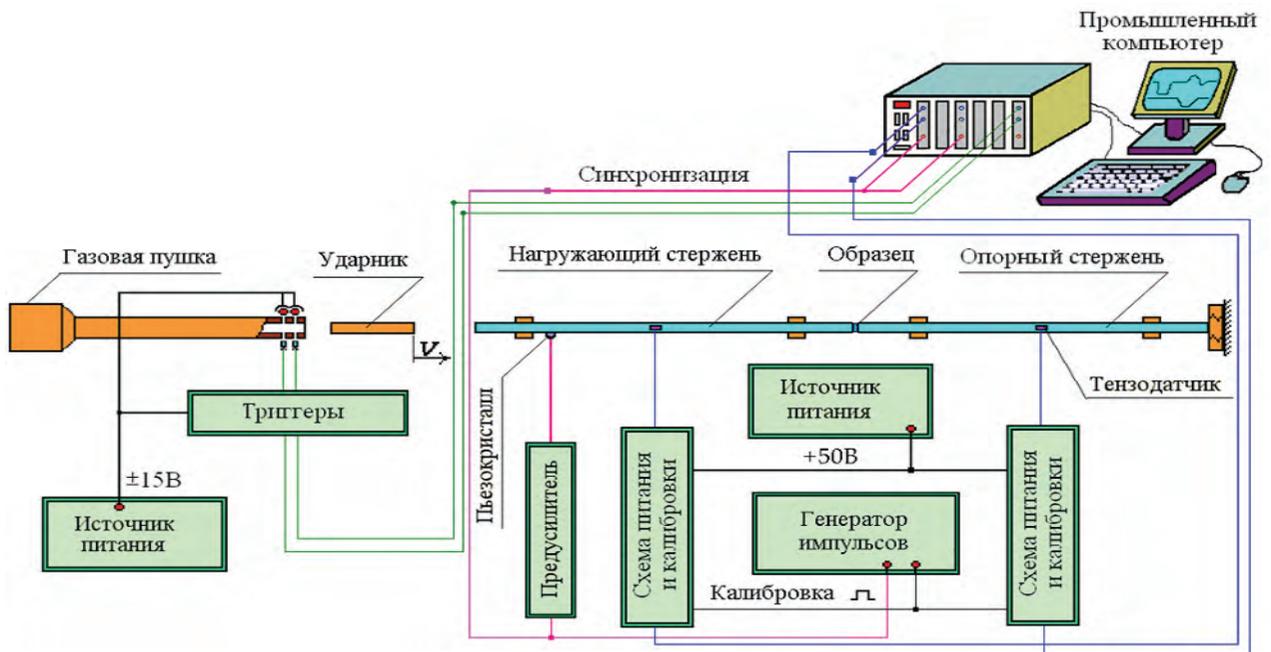


Рис. 1. Схема экспериментальной установки на сжатие по методу Кольского

Требования, предъявляемые к образцам

В методе Кольского испытываемый образец устанавливается между двух точно расположенных и соосных относительно друг друга мерных стержней (рис. 2). Для передачи ударного импульса от нагружающего стержня в образец и далее в опорный стержень необходимо обеспечить плотное прилегание испытуемого образца к торцам мерных стержней.

В связи с этим, метод Кольского предъявляет к образцам ряд высоких требований, таких как: однородность материала, точность и одинаковость диаметра и длины образца; параллельность двух граней образца и их гладкость (наличие плоскости). Обязательно должна присутствовать вертикальность образца, т. е. отсутствие эксцентриситета, вызывающего изгиб. В идеале образец должен представлять собой геометрически точный цилиндр с соотношением диаметра к длине от 1 до 2. Оптимальная длина образца должна быть в два раза меньше его диаметра для снижения эффекта инерции и трения. При испы-

тании на сжатие диаметр образца не должен превышать диаметр мерных стержней. Например, для мерных стержней диаметром 20 мм, диаметр образца должны быть не более 20 мм, а его длина должна быть в два раза меньше – 10 мм (рис. 3).

При испытаниях образца в обойме на одноосную деформацию диаметр образца должен совпадать с диаметром стержней или быть чуть больше. При испытаниях на растяжение, в случае использования резьбовых обойм, к которым клеится образец, его диаметр должен быть близким к диаметру стержней.

Хорошо известно, что бетон – неоднородный материал, при этом трудно обрабатываемый. Поэтому для снижения масштабного эффекта при использовании мерных стержней диаметром от 20 до 60 мм желательно испытывать мелкозернистый бетон с фракциями наполнителя от 1 до 5 мм. В бетонных образцах должно быть минимизировано, а лучше исключено наличие сколов и пустот. В целом можно сделать вывод, что к образцам предъявляются высокие требования, а, следовательно, и к методике их изготовления.

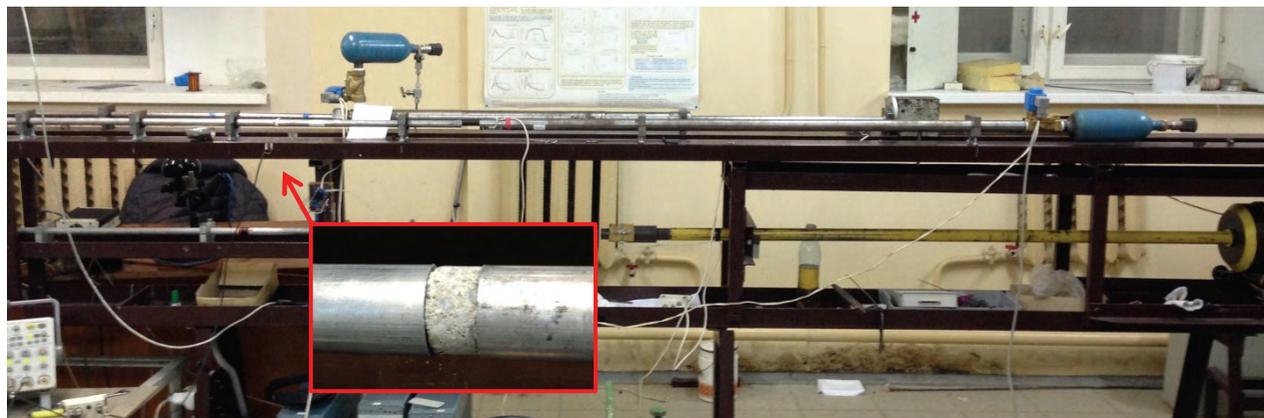


Рис. 2. Фото экспериментальной установки по методу Кольского



Рис. 3. Геометрические параметры образца

Обзор используемых инструментальных установок для изготовления образцов

Существует две технологии изготовления бетонных образцов для динамических испытаний: отливка бетонной смесью образцов в формообразующих емкостях и высверливание или бурение образцов из существующих бетонных изделий и конструкций. В первом случае технологии изготовления необходима формообразующая емкость, а так же установки и приспособления для уплотнения бетонной смеси.

Наиболее полезно рассмотреть технологические установки, примененные на практике, для второго метода изготовления бетонных образцов. Это установки для резки, бурения и сверления цельных бетонных материалов. Среди них буровая установка Hilti DD130 для алмазного бурения с электрическим приводом (рис. 4).



Рис. 4. Буровая установка Hilti DD130

Данная установка предназначена как для ручного использования, так и для работы с закреплением на станине. Следовательно, можно получить бетонные образцы как из существующих бетонных конструкций с целью их обследования, так и изготавливать образцы из небольших готовых бетонных изделий в лабораторных условиях. Достоинства данной установки: наличие высококачественных алмазных буровых коронок большой длины и разных диаметров; возможность получать образцы из существующих конструкций; удобство при изготовлении образцов больших диаметров (60 мм); бурение как в мокром, так и в сухом режимах. Недостатки: высокая стоимость установки и буровых коронок; сложности при изготовлении образцов малых диаметров (20 мм); необходимость создания специальной площадки для работы в лабораторных условиях.

Следующая установка – камнерезный станок Cedima CTS-57 G для резки кирпича, клинкера, натурального камня, бетона и других материалов (рис. 5).



Рис. 5. Камнерезный станок Cedima CTS-57 G

Данный станок позволяет нарезать бетонные изделия необходимых размеров. Для охлаждения вода подается прямо из ведра на режущий диск. Грязная вода остается в ванне, где загрязнения отделяются. Через переливную заглушку в ванне вода возвращается в ведро и используется повторно. К примеру, можно нарезать бетонные пластины, из которых затем высверлить образцы для динамических и статических испытаний. Также на данном станке можно напилить и получить образцы требуемой толщины из бетонных кернов большого диаметра (60 мм), полученных при бурении готовых бетонных конструкций и изделий.

Последняя из обозреваемых установок – настольно-сверлильный станок НС-12М для высверливания образцов алмазными коронками из бетонных пластин требуемой толщины (рис. 6).



Рис. 6. Настольно-сверлильный станок

Станок прост в использовании, возможно применение коронок разного диаметра, однако для получения хорошего результата необходимо закреплять бетонную пластину и следить за перпендикулярностью оси коронки и основания станка.

Также необходим мелкий вспомогательный инструмент (рис. 7):



Рис. 7. Вспомогательный инструмент

- Буровые алмазные коронки для керамогранита. В нашем случае это коронка диаметром 22 мм (Зубр) для получения образцов диаметром чуть менее 19 мм (под стержни 20 мм). А также коронка диаметром 25 мм для получения образцов диаметром чуть более 20 мм для испытаний в обойме.
- Измерительный инструмент: уголок 90 град. (для проверки перпендикулярности станка, исходных бетонных изделий); линейка и цифровой штангенциркуль (для точного измерения образцов и промежуточных замеров);
- Струбцины для закрепления бетонных изделий с небольшим весом.

Методы изготовления бетонных образцов

Рассмотрим более подробно две технологии изготовления бетонных образцов для динамических испытаний, их достоинства, недостатки и способы оптимизации.

Отливка бетонной смесью образцов в формообразующих емкостях

Бетонные образцы можно получить посредством заливки бетонной смеси в формообразующие пластиковые трубы. Процесс изготовления образцов состоит из нескольких этапов. Сначала необходимо подобрать состав бетонной смеси. Далее залить пластиковую трубу требуемого диаметра и тщательно уплотнить бетонную смесь, чтобы исключить наличие пустот. После этого необходимо выждать время набора марочной прочности бетоном. Когда прочность достигает нужного значения, можно приступать к нарезке пластиковой трубы с бетоном на образцы нужной длины, посредством камнерезного станка. Теперь главная задача аккуратно извлечь бетонный образец из пластикового кольца либо посредством выталкивания образца, либо за счет разрезки кольца в продольном направлении ножовкой. Именно на этом этапе возникают основные сложности, связанные с отколом крайних граней образца. Следовательно, для более простого извлечения об-

разца, перед заливкой бетонной смесью, необходимо смазать пластиковую трубу для уменьшения сцепления бетонной смеси со стенками трубы.

Достоинствами данного метода является возможность получения образцов различных диаметров за счет большого ассортимента пластиковых труб. Относительная простота при наличии опыта изготовления бетонной смеси и квалифицированной лаборатории строительных материалов для точного подбора состава. Удобство изготовления образцов большого диаметра (60 мм).

Недостатками являются в первую очередь наличие пустот в связи с практической сложностью качественно уплотнить бетонную смесь (рис. 8). Необходима достаточная квалификация в изготовлении бетонной смеси и наличии лабораторных условий для подбора требуемого состава. Сложность изъятия образцов из пластиковых труб, особенно при малых диаметрах, что вызывает сколы образца. Длительное время набора прочности бетоном. Небольшое отличие от бетонов в реальных конструкциях.



Рис. 8. Фото бетонного образца в пластиковой трубе и с дефектами

Для оптимизации данного метода лучше всего обратиться в строительные лаборатории, которые максимально качественно изготовят крупную партию образцов. Данный метод изготовления лучше применять для образцов большого диаметра (60 мм).

Изготовление образцов с помощью буровой установки Hilti DD 130

Как говорилось ранее, данная буровая установка может быть использована как для бурения кернов из готовых бетонных конструкций, так и для бурения в лабораторных условиях небольших бетонных изделий. Полученные керны впоследствии нарезаются на готовые образцы для динамических испытаний. Остановимся более подробно на работе с буровой установкой в лабораторных условиях. В нашем случае для изготовления образцов использовалась брусчатка из мелкозернистого бетона марки В22,5, предоставленная ООО «ЗКПД-70». Перед началом бурения с целью закрепления брусчатки и буровой установки необходимо создать специальную металлическую площадку. Площадка должна состоять из двух уровней, с разницей по высоте в 30–50 см (в зависимости от максимального размера бетонного изделия + 15 см).

На верхнем уровне выверяется и закрепляется буровая установка, а на нижнем крепятся тиски или зажимы для жесткой фиксации брусчатки. Бурение лучше осуществлять в мокром режиме либо с подачей воды автоматически (дополнительная установка Hilti), либо в ручном режиме. Для бурения использовалась коронка Hilti с внутренним диаметром чуть менее 20 мм (рис. 9).



Рис. 9. Закрепление буровой установки и брусчатки

Во избежание застревания образца, буровую коронку нужно тщательно смазать изнутри машинным маслом. После получения кернов их необходимо нарезать на готовые образцы нужной длины. Для этого керны закрепляются на камнерезном станке с помощью

струбцин. Именно на этом этапе возникают основные сложности. В данном методе были испробованы три способа закрепления. Первый – закрепление чистого керна струбцинами. Второй – установка керна в пластиковую трубу такого же диаметра с последующим закреплением струбцинами. И третий – установка керна в две пластиковые трубы с зазором для прохождения диска пилы, с закреплением труб струбцинами (рис. 10).

При всех трех способах закрепления во время распила возникает существенный дефект – откол части образца в последние секунды прохождения пилы. Пластиковые трубы в данном случае выполняют роль обоймы, снижающей величину скола. Однако, даже если пилу вести максимально медленно – откол небольшой величины практически неизбежен. Это связано с небольшим диаметром образца (19 мм) и с мелкой фракцией заполнителя, а также с большой толщиной диска. При распиле образца в пластиковой трубе часть трубы «затягивает» диском пилы, что создает напряжения в кромке бетонного образца и происходит небольшое разрушение. Когда образец находится между двух разделенных труб с зазором для прохождения пилы, скол становится минимальным. Следовательно, для окончательной оптимизации данного метода при распиле образцов малого диаметра необходимо применять диск небольшой толщины или оборудовать распил с помощью угловой шлифовальной машины (болгарки). Важно отметить, что при распиле каждого образца необходимо каждый раз сдвигать и заново закреплять kern или пластиковые трубы, что увеличивает время изготовления образцов.

Достоинствами данного метода является использование алмазных буровых коронок высокого качества и большой длины для получения прямолинейных цилиндрических кернов. Применение вышеописанной установки дает высокую скорость бурения, что особенно важно при получении образцов большого диаметра (60–100 мм). Так же немаловажным является возможность получать образцы из существующих конструкций с целью их обследования на динамические свойства.



Рис. 10. Закрепление кернов на камнерезном станке

К недостаткам можно отнести сложность работы с кернами малого диаметра (20 мм) и большое количество промежуточных операций.

Высверливание образцов из бетонных пластин алмазными коронками малой длины

Как показала практика, наиболее простым и мало затратным является метод высверливания образцов из заранее напильных бетонных пластин нужной толщины. На первом этапе брусчатка из мелкозернистого бетона марки В22,5, закрепленная струбциной на камнерезном станке, нарезается на пластины нужной толщины. Далее пластины крепятся на сверлильном станке и с помощью алмазной коронки на низких оборотах высверливается бетонный образец с подачей воды в ручном режиме (рис. 11, 12). В нашем случае вода подавалась с помощью медицинского шприца объемом 12 мл. Это необходимо для охлаждения коронки с целью продления срока ее службы.



Рис. 11. Заготовка бетонных пластин



Рис. 12. Высверливание образцов

В процессе сверления последние 1–2 мм толщины пластины являются самыми важными. На этом участке, во избежание сколов сила давления коронки должна быть минимальной. Однако, даже при аккуратном прохождении последних миллиметров, количество образцов, имеющих сколы, составляет приблизительно 25 %.

Для оптимизации данного метода были испытаны следующие модификации. Вместо нарезки на пластины, брусчатка по всей площади одной из сторон просверливается алмазной коронкой на требуемую глубину, равную толщине образца +2 мм. После этого с помощью струбцин брусчатка крепится на камнерезном станке, и образцы срезаются пилой. В этом случае возникает обратная проблема. Образцы откалываются раньше, чем пила доходит до их края, и вместо скола остается «зуб», который впоследствии можно сточить (рис. 13).



Рис. 13. Образец с дефектом «зуба»

Важно учесть, что при этой модификации увеличиваются трудозатраты каждого образца и при стачивании «зуба» необходимо точно попасть в плоскость поверхности образца.

Вторая оптимизация предполагает применение подложки, в виде заранее просверленной бетонной пластины той же алмазной коронкой (рис. 14).



Рис. 14. Подложка с просверленным отверстием

Отверстие в пластине центрируется относительно алмазной коронки, а сверху крепится заготовленная бетонная пластина. При сверлении в последние миллиметры образец продавливается в отверстие, так как диаметр отверстия больше диаметра образца. В этом случае у образца остается небольшая «корона» по радиусу верхней грани, толщиной примерно 1 мм. Данная «корона» может быть сточена или оставлена, так как она мало влияет на результаты эксперимента.

Достоинствами этого метода является более быстрое и простое изготовление образцов нужной толщины, невысокая стоимость алмазных коронок, а также возможность простой оптимизации. К недостаткам можно отнести наличие сколов на окончательном этапе сверления, невысокая скорость, ограниченная свойствами алмазной коронки.

В качестве дополнительной оптимизации, ускоряющей процесс изготовления образцов, на сверлильном станке можно закрепить не одну пластину, а несколько (3–4). При этом между пластинами можно расположить материалы, увеличивающие плотность их прилегания, что снизит эффект пробивания коронки на последних миллиметрах. После прохожде-

ния каждой пластины, образец необходимо удалить из коронки, так как она имеет небольшую длину.

Изготовление образцов для теста на скалывание

При испытаниях на скалывание испытываемый образец должен иметь длину значительно больше поперечного размера. Такие образцы можно изготовить посредством буровой установки, с использованием алмазных коронок большой длины. Однако гораздо проще изготовить образец с квадратным сечением, с помощью камнерезного станка. К примеру, брусок нарезается на пластины, после чего пластины нарезаются на готовые образцы.

Сечение бетонного образца на скалывание не должно выходить за сечение мерных стержней. Следовательно, размеры сечения должны соответствовать размерам квадрата, вписанного в размер окружности мерных стержней.

Результаты пробной серии динамических испытаний

Ниже представлена полученная диаграмма испытаний пробной серии бетонных образцов с использованием установки для динамических испытаний по методу Кольского. Перед началом испытаний образцы измеряются и пронумеровываются (рис. 15).



Рис. 15. Подготовка образцов к испытаниям

На рис. 16, 17 Представлена проверка основной предпосылки метода Кольского об однородности НДС в образце:

$$E_i + E_r = E_t, \quad (1)$$

где, E_i – падающий импульс, E_r – отраженный от образца, E_t – прошедший через образец импульс.

Таким образом из рисунка видно, что предположение о равенстве сил на торцах выполняется в данном случае.

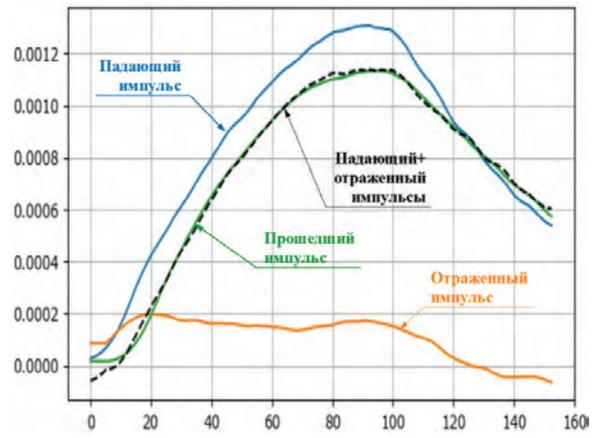


Рис. 16. Диаграмма импульсов при скорости деформации 146 с^{-1}

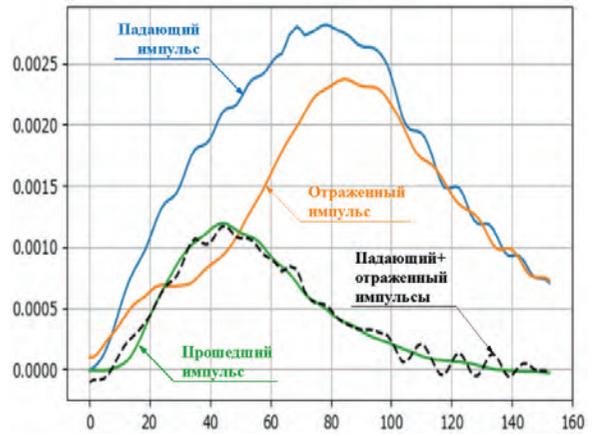


Рис. 17. Диаграмма импульсов при скорости деформации 505 с^{-1}

Из рис. 18 видно, что начальные участки полученных диаграмм имеют линейный характер. Спадающая ветвь диаграммы деформирования и осмотр образца свидетельствует о том, что образец в процессе эксперимента разрушился. В качестве прочности можно взять величину порядка 90 МПа при скоростях 505 с^{-1} и 85 МПа при скоростях 146 с^{-1} .

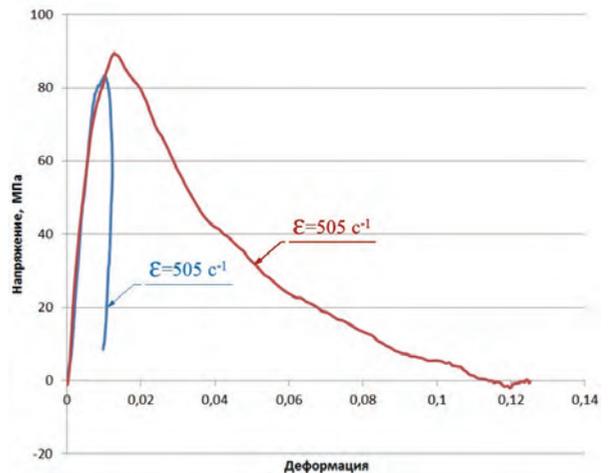


Рис. 18. Диаграмма деформирования при двух различных скоростях деформации

Заключение

В данной статье представлены разные методы изготовления бетонных образцов для динамических испытаний по методу Кольского. Рассмотрены требования, предъявляемые к образцам, а также используемые инструментальные установки. В заключении можно сделать следующие выводы:

1. К качеству бетонных образцов для динамических испытаний предъявляется ряд высоких требований: геометрическая точность, гладкость поверхностей, однородность. Образцы диаметром до 60 мм желательно изготавливать из мелкозернистого бетона, с фракцией заполнителя 1–5 мм с целью снижения масштабного эффекта.

2. Для подготовки образцов необходим ряд инструментальных установок, таких как камнерезный станок, буровая установка, сверлильный станок, алмазные коронки, струбины и измерительные инструменты.

3. Отливка бетонной смесью применима в основном для образцов большого диаметра (50–100 мм). Главным недостатком этого способа изготовления образцов является наличие пустот и некоторые отличия от реальных бетонных конструкций.

4. Изготовление образцов с помощью буровой установки оправдано при необходимости получения образцов из существующих бетонных конструкций, а также при изготовлении образцов большого диаметра (40–100 мм) за счет использования высококачественных алмазных коронок большой длины и различных диаметров.

5. Высверливание образцов из бетонных пластин алмазными коронками оптимально подходит при изготовлении образцов малого диаметра (20 мм) в связи с простотой и достаточно высокой скоростью данного метода.

6. Образцы для испытаний на скалывание проще изготавливать в виде длинных призм.

7. Результаты пробной серии экспериментов показывают, что полученные образцы пригодны для проведения динамических испытаний по методу Кольского.

Таким образом, выбор метода изготовления бетонных образцов зависит от предъявляемых требований, наличия необходимых инструментальных установок, диаметра мерных стержней и вида испытаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по Соглашению №14.578.21.0246 (уникальный идентификатор RFMEFI57817X0246).

Литература

1. Брагов А. М. Использование метода Кольского для исследования процессов высокоскоростного деформирования материалов различной физической природы: монография / А. М. Брагов, А. К. Ломунов. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2017.