

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЗВУЧИВАНИЯ И СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДИНАСОВЫХ КИРПИЧЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ

©2021 г. Иржи Брозовский^{1,*}, Ленка БоднарOVA¹

¹Технический университет Брно, Строительный факультет, 60200 Брно, Чешская республика, Veveri 331/95
*e-mail: brozovsky.j@fce.vutbr.cz

Поступила в редакцию 09.10.2020; после исправления 27.11.2020

Принять к публикации 27.11.2020

Приводятся сведения о влиянии направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей на результаты измерений ультразвуковым методом на кирпичах из динаса. Порядок измерения ультразвуковым импульсным методом, указанный в стандартах для других строительных материалов, не совсем применим при испытании динасового кирпича. Весьма проблематичным является использование для измерений преобразователей с собственной частотой 500 кГц. Не подтвердилось предположение о том, что скорость распространения ультразвука увеличивается с уменьшением длины базы прозвучивания. Самые низкие скорости распространения ультразвука были установлены при прозвучивании по высоте образца. Эту аномалию можно объяснить ориентировкой открытых пор во внутренней структуре кирпича, а также процессом формирования. Приведенные сведения о влиянии направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей создают условия для обеспечения воспроизводимости результатов измерений динасовых кирпичей.

Ключевые слова: огнеупорные материалы, динас, динасовый кирпич, ультразвук, ультразвуковой импульсный метод, собственная частота преобразователя, направление прозвучивания, скорость.

DOI: 10.31857/S0130308221020020

ВВЕДЕНИЕ

Огнеупорные материалы имеют большое значение во многих технических отраслях промышленности, где происходит контакт материала с высокими температурами. Одним из наиболее широко используемых материалов является динас, который представляет собой кремниевый огнеупорный материал, содержащий не менее 93 % SiO_2 . Динасовые кирпичи изготавливаются из кварцевого порошка, извести и добавок. Из приготовленной сырьевой смеси прессуют кирпичи, которые потом сушат и обжигают. Внутренняя структура динасового кирпича имеет относительно большое количество открытых пор, около 20 % по объему.

Огнеупорные материалы характеризуются хорошими механическими свойствами и низкой ползучестью под нагрузкой. Одним из преимуществ огнеупорных материалов является хорошее сопротивление механическому истиранию. Сопротивление истиранию — один из основных параметров огнеупорных материалов при использовании в промышленных установках, например, в промышленных печах и технологическом оборудовании нефтехимической промышленности, в мусоросжигательных заводах и на тепловых угольных электростанциях. Высокое сопротивление истиранию позволяет использовать их в качестве облицовочного материала, например, в промышленных установках с движущимися газами и жидкостями совместно с твердыми частицами. Огнеупорные материалы — один из способов повышения стойкости других материалов к воздействию движущихся жидкостей. Базальтовые футеровки также используются для повышения износостойкости бетона к движущимся жидкостям в бетонных трубах, по днищам колодцев [24].

Одним из критериев для оценки качества динасовых кирпичей является скорость распространения ультразвука.

Ультразвуковой метод используется в основном для определения параметров бетона. Порядок выполнения измерений приводится в технических стандартах европейских и других зарубежных (ČSN EN 12504-4 [13], ISO 1920-7 [18], ASTM C 597 [1], ГОСТ 17624 [15]), а также в чешских ČSN 73 1371 [11], ČSN 73 1380 [12], а сведения о его использовании для бетона приводятся, например в [19, 20, 22, 23]. Использование ультразвукового метода для других строительных материалов указано в зарубежных стандартах ASTM C 1419-14 [2] (огнеупорные материалы), ГОСТ 24830—81 [16] (огнеупорные бетоны), ГОСТ 24332—88 [17] (кирпич и камни силикатные). Приведенные стандарты описывают использование ультразвукового метода для оценки качества этих изделий. Для испытания огнеупорных изделий ультразвуковым методом не существует чешский технический стандарт.

Собственная частота преобразователей влияет на время распространения ультразвука в исследуемых изделиях. Рекомендуемая собственная частота преобразователей для бетона от 20 до

150 кГц (ČSN EN 12504-4[13]). Американский стандарт ASTM C 1419-14 [2] рекомендует собственную частоту преобразователей от 0,5 до 2,5 МГц, а российский ГОСТ 24830—81 [16] для испытаний огнеупорного бетона предлагает собственную частоту преобразователей от 25 до 60 кГц. Из анализа приведенных стандартов очевидны существенные различия в требованиях к собственной частоте преобразователей для испытания огнеупорных материалов. Для бетонов это влияние также приводится в [19, 20], а для силикатного кирпича сведения о влиянии собственной частоты преобразователей — в [8].

В ГОСТ 24830—81 [16] (огнеупорные бетоны) и ГОСТ 24332—88 [17] (кирпич и камни силикатные) четко определены места расположения преобразователей при измерении ультразвуковым методом. Согласно ASTM C 1419-14 [2] можно проводить прозвучивание по длине, ширине и высоте изделия; не указаны предпочтительные направления прозвучивания. Тургут и Куцук исследовали влияние направления прозвучивания на бетонных образцах, результаты показаны в работе [21]. Брозовский и сотрудники исследовали влияние направления прозвучивания на глиняном и силикатном кирпичах, результаты исследования влияния приведены в литературе [3—6].

В статье представлены результаты исследования влияния направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей на результаты измерений ультразвуковым методом при оценке качества динасового кирпича.

ЦЕЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В работе рассматривается влияние выбранных факторов, а именно направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей, на результаты измерений ультразвуковым методом при оценке качества динасового кирпича.

Ультразвуковой метод используется в основном при испытании бетона для определения динамического модуля упругости, прочности на сжатие бетона или для оценки изменений внутренней структуры бетона и других строительных материалов, чаще всего при испытании на морозостойкость. ČSN EN 13791 [14] предпочитает ультразвуковой метод для определения прочности на сжатие бетона в конструкции.

Только в стандартах по испытанию силикатного кирпича и огнеупорных бетонов приведены требования к направлению прозвучивания. Требования стандартов на собственную частоту преобразователей разные, например, для бетона собственная частота преобразователя зависит от наименьшего размера испытываемого образца в направлении ультразвука и от скорости распространения ультразвука, согласно ASTM C 1419-14 [2] требуемая собственная частота преобразователей для огнеупорных изделий 500 кГц.

При подборе собственной частоты преобразователей необходимо учитывать длину базы прозвучивания. Как правило, преобразователи с высокой собственной частотой используются для коротких баз прозвучивания, так как на более длинных базах прозвучивания происходит значительное затухание ультразвуковых импульсов, что значительно проявляется на материалах с большим содержанием пор или дефектов внутренней структуры.

При исследовании влияния направления прозвучивания определялась как разница в скорости распространения ультразвука с точки зрения длины базы прозвучивания, так и с точки зрения направления прессования кирпича. Для оценки влияния собственной частоты преобразователей определялась разница в скорости распространения ультразвука как в зависимости от используемой частоты, так и в зависимости от направления прозвучивания.

Анализ результатов измерений, проводимых на динасовых кирпичах, позволил дать оценку рассматриваемым влияниям на результаты измерений ультразвуковым методом и дать рекомендации по использованию ультразвукового метода для оценки их качества.

МЕТОДЫ, МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Для испытания динасовых кирпичей ультразвуковым методом не существует собственного стандарта. Американский стандарт ASTM C 1419-14 [2] для испытаний огнеупорных материалов в некоторых пунктах носит слишком общий характер (направление прозвучивания определено неоднозначно), положения, касающиеся собственной частоты преобразователей, являются проблематичными в связи со внутренней структурой динаса. При прозвучивании динасовых кирпичей по длине, ширине и высоте можно предполагать различные скорости распространения ультразвука. Теоретически скорость распространения ультразвука должна быть наибольшей при измерении на самой короткой базе прозвучивания и увеличиваться с ее длиной.

Методология измерений для определения влияния направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей была основана на ASTM C 1419-14 [2] и ČSN EN 12504-4 [13].

Образцы для испытаний

Исследования проводили на динасовых кирпичах заводского изготовления, базового размера 230×114×76 мм, а также на специально изготовленных кирпичах той же длины и ширины, но высотой 100 и 150 мм.

Образцы перед измерениями высушивали при температуре 110 °С, измерения проводили в течение 5 ч после охлаждения до комнатной температуры.

Ультразвуковой импульсный метод

Аппаратура — ультразвуковой импульсный прибор с точностью до 0,1 с; основная собственная частота преобразователей 54 кГц; исследование влияния собственной частоты на результаты измерений — преобразователи с собственной частотой 500 кГц (согласно ASTM C 1419-14 [2]), 54 кГц (согласно ГОСТ 24830—81 [16] / ČSN EN 12504-4 [13]) и 150 кГц (согласно ČSN EN 12504-4 [13]).

Подбор собственной частоты преобразователей 54 кГц исходил из практических соображений. Преобразователи с собственной частотой 54 кГц обычно поставляются к ультразвуковому прибору для испытания бетона и являются одними из наиболее широко используемыми на практике. Дополнительно для исследования влияния собственной частоты преобразователей на результаты ультразвуковым измерений была выбрана собственная частота 150 кГц.

Материал для акустического контакта — технический вазелин согласно ГОСТ 24830—81 [16] / ASTM C 1419-14 [2].

Проведение измерения — измерения на динасовых кирпичах проводили сквозным прозвучиванием по длине, ширине и высоте кирпича. В каждой точке установки преобразователя перед измерением определяли длину базы прозвучивания, а затем измеряли время распространения ультразвука. Измерение по длине образца проводили в 3 измерительных точках; по ширине и высоте — в 5 измерительных точках. Результат измерения — время распространения ультразвука.

Обработка результатов — скорость распространения ультразвука (ČSN EN 12504-4 [13] / ГОСТ 24830—81 [16]) вычислялась по формуле:

$$V = \frac{L}{T}, \quad (1)$$

где V — скорость распространения ультразвука, км/с; L — длина базы прозвучивания, мм; T — время распространения ультразвука, мкс.

Результаты измерений

Исследование влияния направления прозвучивания — результаты измерения скорости распространения ультразвука приведены в табл. 1 и изображены на рис. 1.

Таблица 1

Среднее, минимальное и максимальное значения скорости распространения ультразвука в динасовых кирпичах — набор данных для исследования влияния направления прозвучивания

Направление прозвучивания	По длине образца			По ширине образца			По высоте образца		
Размер кирпича	V_L	$V_{L_{\min}}$	$V_{L_{\max}}$	V_W	$V_{W_{\min}}$	$V_{W_{\max}}$	V_T	$V_{T_{\min}}$	$V_{T_{\max}}$
мм	км/с								
230×114×76	2,099	2,054	2,138	2,132	2,095	2,161	2,008	1,970	2,032
230×114×100	2,097	2,052	2,133	2,135	2,091	2,184	2,002	1,966	2,035
230×114×150	2,060	1,992	2,100	2,112	2,050	2,196	1,957	1,906	2,028
Среднее значение — все образцы	2,085	1,992	2,138	2,127	2,050	2,196	1,989	1,906	2,035

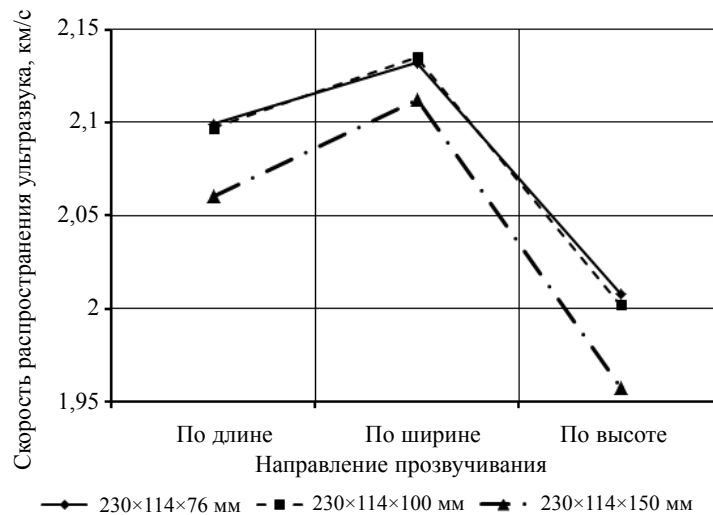


Рис. 1. Скорость распространения ультразвука в зависимости от направления прозвучивания динасовых кирпичей.

Таблица 2

Среднее, минимальное и максимальное значения скорости распространения ультразвука в динасовых кирпичях — набор данных для исследования влияния собственной частоты преобразователей

Направление прозвучивания	По длине образца								
Собственная частота преобразователей	54 кГц			150 кГц			500 кГц		
Размер кирпича	V_L	V_{Lmin}	V_{Lmax}	V_L	V_{Lmin}	V_{Lmax}	V_L	V_{Lmin}	V_{Lmax}
мм	км/с								
230×114×76	2,102	2,057	2,138	2,098	2,048	2,167	2,092	1,983	2,206
230×114×100	2,098	2,053	2,133	2,103	2,032	2,122	2,055	2,019	2,122
230×114×150	2,054	1,992	2,129	2,061	1,980	2,151	1,999	1,942	2,072
Направление прозвучивания	По ширине образца								
Размер кирпича	V_W	V_{Wmin}	V_{Wmax}	V_W	V_{Wmin}	V_{Wmax}	V_W	V_{Wmin}	V_{Wmax}
мм	км/с								
230×114×76	2,134	2,095	2,161	2,124	2,072	2,189	2,211	2,165	2,237
230×114×100	2,133	2,099	2,180	2,127	2,099	2,180	2,210	2,175	2,266
230×114×150	2,105	2,050	2,196	2,097	2,033	2,214	2,179	2,135	2,214
Направление прозвучивания	По высоте образца								
Размер кирпича	V_T	V_{Tmin}	V_{Tmax}	V_T	V_{Tmin}	V_{Tmax}	V_T	V_{Tmin}	V_{Tmax}
мм	км/с								
230×114×76	2,009	1,970	2,043	2,004	1,943	2,056	2,092	2,047	2,134
230×114×100	2,000	1,966	2,035	1,992	1,935	2,027	2,074	2,050	2,115
230×114×150	1,955	1,906	2,028	1,955	1,892	2,050	1,893	1,854	1,944

Исследование влияния собственной частоты преобразователей — результаты измерения скорости распространения ультразвука приведены в табл. 2 и изображены на рис. 2. Для наглядности в таблицах и рисунках указаны средние значения скорости распространения ультразвука для каждого набора измеряемых образцов.

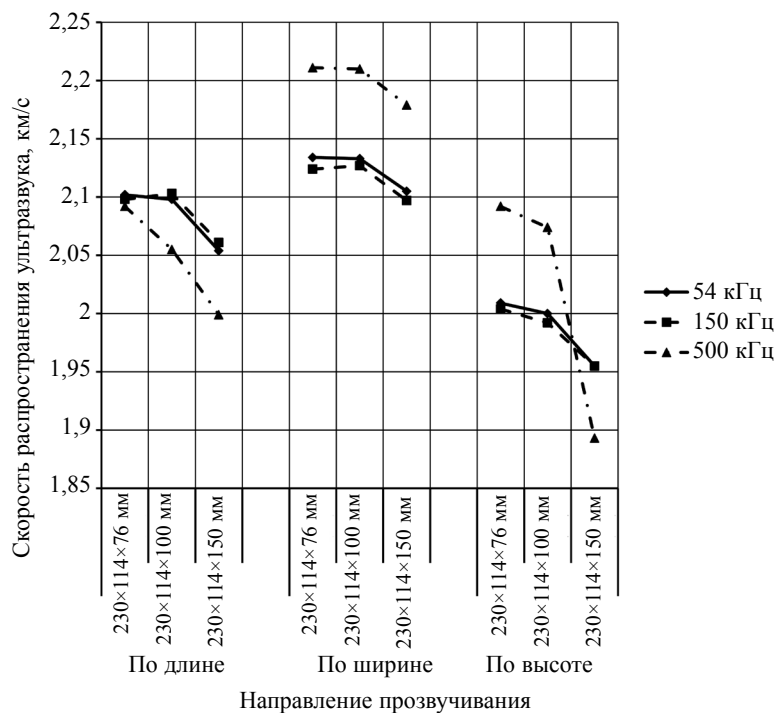


Рис. 2. Скорость распространения ультразвука в зависимости от собственной частоты преобразователей и направления прозвучивания динасовых кирпичей.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

а) Влияние направления прозвучивания на результаты измерения ультразвуковым методом

Для оценки влияния направления прозвучивания на результаты измерений ультразвуковым методом были рассчитаны процентные разницы скоростей при прозвучивании по длине, ширине и высоте кирпича по формулам:

$$\Delta_1 = \frac{V_W - V_L}{V_L} \cdot 100; \quad (2)$$

$$\Delta_2 = \frac{V_T - V_L}{V_L} \cdot 100; \quad (3)$$

$$\Delta_3 = \frac{V_T - V_W}{V_W} \cdot 100, \quad (4)$$

где Δ_1 — процентная разница между скоростью распространения ультразвука при прозвучивании по ширине и длине кирпича относительно скорости распространения ультразвука при прозвучивании по длине кирпича, %; Δ_2 — процентная разница между скоростью распространения ультразвука при прозвучивании по высоте и длине кирпича относительно скорости распространения ультразвука при прозвучивании по длине кирпича, %; Δ_3 — процентная разница между скоростью распространения ультразвука при прозвучивании по высоте и ширине кирпича относительно скорости распространения ультразвука при прозвучивании по ширине кирпича, %; $V_{L;W;T}$ — скорость распространения ультразвука при прозвучивании по длине; ширине; высоте кирпича, км/с.

В табл. 3 приведены средние значения разниц скоростей распространения ультразвука в км/с и процентах.

При исследовании влияния направления прозвучивания предполагалось, учитывая пористую структуры материала образцов, что скорость распространения ультразвука будет уменьшаться с увеличением длины базы прозвучивания.

Таблица 3

Разницы в скоростях распространения ультразвука в разных направлениях прозвучивания в км/с и процентах

Размер кирпича	$V_W - V_L$	$V_T - V_L$	$V_T - V_W$	Δ_1	Δ_2	Δ_3
мм	км/с	км/с	км/с	%	%	%
230×114×76	0,033	–0,092	–0,124	1,56	–4,36	–5,83
230×114×100	0,038	–0,095	–0,133	1,82	–4,54	–6,24
230×114×150	0,053	–0,103	–0,156	2,57	–4,99	–7,36
Среднее значение				1,98	–4,63	–6,48

Результаты измерений показали, что наибольшая скорость распространения ультразвука при измерении по ширине образца, скорость распространения ультразвука при измерении по длине образца была ниже, но наименьшей была скорость распространения ультразвука при измерении по высоте образца, как показано на рис. 1. Наблюдаемая тенденция между направлением прозвучивания (размером образца) и скоростью распространения ультразвука одинакова независимо от типа кирпича, который отличается только своей высотой. Установленный тренд динамики скоростей распространения ультразвука, вероятно, связан с ориентировкой открытых пор во внутренней структуре кирпичей, которые образуются при сушке и обжиге динасового кирпича. Другим фактором является мера давления при прессовании, зависящее от высоты кирпича. При увеличении высоты кирпича может оказаться его прессовка недостаточной.

У образцов размерами 230×114 мм и высотой 76 мм или же 100 мм средняя скорость распространения ультразвука существенно не отличалась.

У кирпичей размером 230×114×150 мм средняя скорость распространения ультразвука была во всех случаях ниже, объясняется это тем, что при такой высоте изделия не было достигнуто достаточной прессовки.

Скорость распространения ультразвука при прозвучивании по ширине образца была в среднем на 1,98 % выше по сравнению со скоростью распространения ультразвука по высоте образца, скорость распространения ультразвука по высоте образца была на 4,63 % ниже по сравнению со скоростью при прозвучивании по длине образца, а была на 6,48 % ниже по сравнению со скоростью при прозвучивании по ширине образца.

б) Влияние собственной частоты преобразователей на результаты измерения ультразвуковым методом

Для оценки влияния собственной частоты преобразователей на результаты измерений ультразвуковым методом были рассчитаны процентные разницы скоростей при прозвучивании по длине, ширине и высоте кирпича по формулам:

$$\Delta_{4,i} = \frac{V_{i,150} - V_{i,54}}{V_{i,150}} \cdot 100; \quad (5)$$

$$\Delta_{5,i} = \frac{V_{i,500} - V_{i,54}}{V_{i,500}} \cdot 100; \quad (6)$$

$$\Delta_{6,i} = \frac{V_{i,500} - V_{i,150}}{V_{i,500}} \cdot 100, \quad (7)$$

где Δ_4 — процентная разница между скоростью распространения ультразвука при прозвучивании преобразователями с собственной частотой 150 и 54 кГц относительно скорости распространения ультразвука при прозвучивании преобразователями с собственной частотой 150 кГц, %; Δ_5 — процентная разница между скоростью распространения ультразвука при прозвучивании преобразователями с собственной частотой 500 и 54 кГц относительно скорости распространения ультразвука при прозвучивании преобразователями с собственной частотой 500 кГц, %; Δ_6 — процентная разница между скоростью распространения ультразвука при прозвучивании преобразователями с собственной частотой 500 и 150 кГц относительно скорости распростра-

нения ультразвука при прозвучивании преобразователями с собственной частотой 500 кГц, %; i — направление прозвучивания (L — по длине, W — по ширине, T — по высоте); $V_{54;150;500}$ — скорость распространения ультразвука при прозвучивании преобразователями с собственной 54, 150, 500 кГц, км/с.

Скорость распространения ультразвука при измерении преобразователями с собственной частотой 54 и 150 кГц во всех направлениях прозвучивания отличается минимально, в первом случае разница составляет 0,17 %, что можно считать погрешностью измерения. Другие результаты были получены при измерениях преобразователями с собственной частотой 500 кГц.

Таблица 4

Разницы в скоростях распространения ультразвука для разной собственной частоты преобразователей и разных направлений прозвучивания в км/с и процентах

Размер кирпича,	$V_{150}-V_{54}$	$V_{500}-V_{54}$	$V_{500}-V_{150}$	Δ_4	Δ_5	Δ_6
мм	км/с	км/с	км/с	%	%	%
Направление прозвучивания	По длине образца					
230×114×76	–0,004	–0,006	–0,010	–0,21	–0,41	–0,59
230×114×100	0,005	–0,047	–0,042	0,23	–2,32	–2,07
230×114×150	0,007	–0,062	–0,055	0,35	–3,12	–2,74
Среднее значение				0,13	–1,95	–1,80
Направление прозвучивания	По ширине образца					
230×114×76	–0,010	0,087	0,076	–0,51	3,92	3,45
230×114×100	–0,006	0,083	0,077	–0,31	3,74	3,46
230×114×150	–0,008	0,082	0,075	–0,38	3,77	3,42
Среднее значение				–0,40	3,81	3,44
Направление прозвучивания	По высоте образца					
230×114×76	–0,006	0,089	0,083	–0,31	4,23	3,98
230×114×100	–0,008	0,082	0,075	–0,40	3,95	3,59
230×114×150	–0,0003	–0,061	–0,062	–0,02	–3,25	–3,26
Среднее значение				–0,24	1,64	1,44

При прозвучивании по длине образца скорость распространения ультразвука была ниже по сравнению со скоростью распространения ультразвука при измерении преобразователями с собственной частотой 54 и 150 кГц; в зависимости от вида кирпича она была ниже, от 0,5 до 2,9 %. При прозвучивании по ширине образца и использовании преобразователей с собственной частотой 500 кГц была скорость распространения ультразвука примерно на 1,1 % выше по сравнению со скоростью распространения ультразвука с преобразователями с собственной частотой 54 и 150 кГц.

При прозвучивании по высоте образца и использовании преобразователей с собственной частотой 500 кГц была скорость распространения ультразвука на образцах высотой 76 и 100 мм примерно на 3,9 % выше по сравнению со скоростью распространения ультразвука с преобразователями с собственной частотой 54 и 150 кГц. Однако на образцах высотой 150 мм при прозвучивании преобразователями с собственной частотой 500 кГц была скорость распространения на 3,25 % ниже по сравнению со скоростью распространения ультразвука при измерении преобразователями с собственной частотой 54 и 150 кГц.

При измерении динасовых кирпичей преобразователями с собственной частотой 500 кГц, особенно при длине базы прозвучивания 230 и 150 мм, наблюдалось сильное затухание сигнала в результате чего снижалась скорость распространения ультразвука, что и влияет на достоверность результатов измерений. При измерении на длине измерительной базы 76 и 114 мм эффект ослабления сигнала был значительно меньше.

Результаты измерений преобразователями с собственной частотой 54 и 150 кГц показывают минимальные отличия. В большинстве случаев скорость распространения ультразвука при измерениях преобразователями с собственной частотой 54 кГц немного выше, но незначительно.

в) Рекомендации по измерению динасовых кирпичей ультразвуковым импульсным методом

Оценивая результаты измерений ультразвуковым методом, направленные на выявление влияния направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей, были даны следующие рекомендации.

Подготовка образцов: перед измерениями образцы в течение не менее 5 ч высушить при 110 °С. Измерения провести в течение 5 ч после охлаждения.

Собственная частота преобразователей: 54 или 150 кГц.

Материал для акустического контакта: солидол, технический вазелин в соответствии с ГОСТ 24830—81 [16].

Направление прозвучивания: предпочтительно прозвучивание по ширине образца, если не предъявлены другие требования.

Расположение точек измерений: кромка преобразователя должна располагаться на расстоянии не менее 20 мм от грани образца.

Минимальное число точек установки преобразователя:

прозвучивание по ширине образца — 5 точек измерений в середине высоты образца;

прозвучивание по длине образца — 3 точки измерений в середине высоты образца;

прозвучивание по ширине образца — не менее 6 точек измерений на трех уровнях высоты.

Длина базы прозвучивания: определяется для каждой точки прозвучивания с точностью до 0,1 мм.

Время распространения ультразвука: в каждой точке прозвучивания измеряется дважды. Если разница между временем распространения ультразвука более 0,5 %, проводится дополнительное измерение времени распространения ультразвука, а значение, неудовлетворяющее приведенному требованию исключается.

Обработка результатов: для каждой точки прозвучивания вычисляется скорость распространения ультразвука по формуле (1). Для каждого направления прозвучивания образца вычисляется средняя скорость распространения ультразвука. Скорость распространения ультразвука округляется на 0,001 или на 1 м/с.

ВЫВОДЫ

Порядок измерения ультразвуковым импульсным методом, указанный в стандартах для других строительных материалов, не совсем применим при испытании динасового кирпича.

Не подтвердилось предположение о том, что скорость распространения ультразвука увеличивается с уменьшением длины базы прозвучивания. Самые высокие скорости распространения ультразвука были установлены при измерении по ширине кирпича (это справедливо для всех кирпичей). И наоборот, самые низкие скорости распространения ультразвука были установлены при прозвучивании по высоте образца. Эту аномалию можно объяснить ориентировкой открытых пор во внутренней структуре кирпича, а также процессом формирования, который не обязательно приводит к идеальной прессовке кирпича, особенно при увеличении его высоты.

Весьма проблематичным является использование для измерений на динасовых кирпичах преобразователей с собственной частотой 500 кГц, приведенной в ASTM C 1419-14 [2]. Внутренняя структура динаса образована соединением зерен кварца, между которыми находятся поры, что и является причиной ослабления сигнала, которое происходит особенно на более длинных базах прозвучивания, а следовательно, влияет на достоверность результатов измерения. Поэтому рекомендуется для измерения динасовых кирпичей использовать преобразователи с собственной частотой 54—150 кГц, поскольку результаты измерений показывают минимальные различия.

Чтобы обеспечить воспроизводимость измерений, выполненных разными лабораториями при оценке качества динасового кирпича, необходимо установить единую базу прозвучивания.

Приведенные сведения о влиянии направления прозвучивания и собственной частоты преобразователей при измерении динасовых кирпичей ультразвуковым импульсным методом создают условия для обеспечения воспроизводимости результатов измерений при оценке их качества или исследовательской работе в этой области.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Чешского научного фонда, проект № 18-25035S «Исследование влияния движущихся жидкостей на износ цементных композитов и последующее моделирование механической коррозии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ASTM C 597 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, United States : ASTM International, 2009.
2. ASTM C 1419-14 Standard test method for sonic velocity in refractory materials at room temperature. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
3. Brozovsky J., Zach J., Brozovsky J. (jr.) Non-destructive testing of solid brick compression strength in structures // The e-Journal of Nondestructive Testing. 2007. V. 12. No. 11. P. 1—9. ISSN 1435—4934.
4. Brozovsky J., Zach J., Brozovsky J. (jr.) Determining the strength of solid burnt bricks in historical structures // The e-Journal of Nondestructive Testing. 2008. V. 13. No. 9. P. 1—10. ISSN 1435—4934.
5. Brozovský J., Brožovská Onderková J. Zjišťování pevnosti cihel plných pálených v historických stavbách (Определение прочности глиняного кирпича в исторических объектах) // Zprávy památkové péče. 2011. roč. 71, č. 2. Str. 116—120.
6. Brozovsky J., Zach J. Evaluation of technical condition of masonry / In 15th International Brick and Block Masonry Conference, Florianópolis — Brazil. 2012. ISBN 978-85-63273-10-9. P. 1—10.
7. Brozovsky J. Use of Non-Destructive Ultrasonic Pulse Testing Methods in Evaluation of Brick Parameters / In 3rd International Conference on Sustainable Construction Materials & Technologies (SCMT3). 2013. Kyoto, Japan, str. 1—10.
8. Brozovsky J. Calcium Silicate Bricks — Ultrasonic Pulse Method: Effects of Natural Frequency of Transducers on Measurement Results // International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering. 2014. V. 8. No. 9. P. 914—917. eISSN 1307-6892 (ICACE 2014).
9. Brozovsky J. Evaluation of frost resistance of calcium silicate masonry units with ultrasonic pulse and resonance methods // Russian Journal of Nondestructive Testing. V. 50. No. 10. P. 607—615. ISSN 1061-8309.
10. Brožovský J. Zkoušení cihel ultrazvukovou impulsovou metodou — vliv vlhkosti a způsobu prozvučování na výsledky měření (Испытание глиняного кирпича ультразвуковым импульсным методом — влияние влажности и направления прозвучивания на результаты измерений) // TZB-info. 2018. roč. 20, č. 33. Str. 1—8. ISSN 1801-4399.
11. ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkoušení betonu — Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu (Неразрушающее испытание бетона — Ультразвуковой импульсный метод испытания бетона). Prague : Czech standards institute, 2011.
12. ČSN 73 1380 Zkoušení odolnosti betonu proti zmrazování a rozmrazování — Porušení vnitřní struktury (Испытание морозостойкости бетона — Повреждение внутренней структуры). Prague : Czech standards institute, 2007.
13. ČSN EN 12504-4 Zkoušení betonu - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu (Методы контроля бетона в конструкциях. Часть 4. Определение скорости распространения ультразвукового импульса). Prague : Czech standards institute, 2005.
14. ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích (Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях). Prague : Czech standards institute, 2005.
15. ГОСТ 17624—2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. Moscow: Standartinform.
16. ГОСТ 24830—81 Изделия огнеупорные бетонные. Ультразвуковой метод контроля качества. Moscow: Standartinform.
17. ГОСТ 24332—88 Кирпич и камни силикатные. Ультразвуковой метод определения прочности при сжатии. Moscow: Standartinform.
18. ISO 1920-7 Testing of concrete — Part 7: Non-destructive tests on hardened concrete. Switzerland: International Organization for Standardization, 2004.
19. Malhotra V.N., Carino, N.J. Handbook on nondestructive testing of concrete / 2nd edition, CRC Press, USA, 2004.
20. Pavlík A., Doležel J. Nedestruktivní vyšetřování betonových konstrukcí (Неразрушающий контроль бетонных конструкций), SNTL Prague, CZ, 1977.
21. Turgut P., Kucuk O.F. Comparative relationships of direct, indirect, and semi-direct ultrasonic pulse velocity measurements in concrete // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2006. V. 42. No. 2. P. 745—751.
22. Tanyidzit P., Coskun A. Determination of the Principal Parameter of Ultrasonic Pulse Velocity and Compressive Strength of Lightweight Concrete by Using Variance Method // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2008. V. 44. No. 9. P. 639—646.
23. Ulucan Z. Ç., Türk K., Karataş M. Effect of mineral admixtures on the correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for self-compacting concrete // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2008. V. 44. No. 5. P. 367—374.
24. Wood R.J.K. The erosion performance of candidate internal coatings for slurry handling and pipeline transport / Edited by: Richardson JF., In: Slurry handling and pipeline transport — HYDROTRANSPORT 14. Book Series: BHR GROUP CONFERENCE SERIES PUBLICATION. Issue: 36. P. 699—718. ISBN: 1-86058-213-3. 1999.