



**Г. В. МУРАШКИН
А. И. СНЕГИРЁВА
Д. А. КРЕТОВ
Ю. В. ЖИЛЬЦОВ**

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ МЕТОДАМИ ТЕНЗОМЕТРИИ

DEFINITION DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE MATRICES FOR EXPLOSIVE STAMPING
BY TENSOMETRIC METHODS

Рассматриваются экспериментальные исследования железобетонных кольцевых матриц для взрывной штамповки по показателям деформативности при действии импульсных нагрузок. Исследования проводились на опытном образце матрицы, который подвергался нагружению при взрыве. Представлены результаты тарировочных испытаний с использованием тензометрического комплекса «Динамика-1». Получена зависимость напряжений, возникающих в конструкции матрицы от реакции тензометрической системы. Проведено сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими расчетами. Общие результаты исследований приведены с перспективой дальнейшего их использования для серийных испытаний матриц с целью определения их долговечности.

Ключевые слова: кольцевые железобетонные матрицы, импульсные нагрузки, взрывная штамповка, бетон, твердеющий под давлением, долговечность, прочность

При изготовлении металлических крупногабаритных изделий экономически целесообразно использовать для формообразования энергию взрыва. В большинстве случаев данная технология используется для трудноштампуемых сверхпрочных металлов [1]. Достоинством методов взрывной штамповки является конструктивная простота, так как в качестве оснастки применяют только матрицы без пуансона, что приводит к снижению стоимости оснастки. Для сложных и крупносерийных изделий в основном используют матрицы из стали и чугуна. Для мелкосе-

In this paper experimental studies of ring-shaped reinforced concrete matrices for explosive stamping on deformation indexes under the effect of impulse loads are viewed. The study was carried out on sample, which was subjected to explosive loading. The results of calibration tests using the "Dynamics-1" strain gauge complex are presented. The dependence of the tension in the matrix on the reaction of the strain gauge system is obtained. The obtained experimental data are compared with theoretical calculations. The general results of the studies obtained are given taking into account their further use for serial testing of matrices in order to determine their durability.

Key words: ring-shaped reinforced concrete matrices, impulse loads, explosive forming, concrete hardening under pressure, durability, strength

рийного производства экономически целесообразно использовать железобетонные матрицы из-за их относительной дешевизны изготовления. Потребность в небольших количествах изделий существует для отраслей оборонного комплекса, для производства аэрокосмической и авиационной техники [2].

Недостатком железобетонных матриц является их малая долговечность при импульсных (взрывных) нагрузках. При импульсных воздействиях в железобетонных матрицах образуются трещины в бетонном слое и локальные разрушения, что приводит к

невозможности дальнейшей эксплуатации. Поэтому разработка способов повышения долговечности железобетонных матриц является актуальной задачей на сегодняшний день.

Известны работы, посвященные использованию железобетонных конструкций при многократно повторяющихся взрывных нагрузках [3, 4]. В работе [3] исследования проводились на небольших цилиндрах, затем результаты интерпретировались на реальную конструкцию железобетонной бронекмеры. В работе [4] рассматриваются железобетонные кольцевые матрицы, а также способы повышения их долговечности за счет увеличения прочности бетона. Изменение характеристик бетона достигается за счет создания давления на него с помощью прессы во время твердения. Применение прессы ведет к удорожанию себестоимости изделий, ограничивает изготовление большемерных конструкций, а также отменяет возможность изготовления матриц вблизи мест штамповки без их транспортировки.

Цель исследования: повышение долговечности железобетонных матриц для взрывной штамповки за счет увеличения прочностных свойств бетона путем совершенствования технологии их изготовления и оптимизации конструктивных решений при сохранении относительно низкой их стоимости.

Научно-исследовательская работа выполняется при поддержке федерального государственного бюджетного управления «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере». Полученные результаты будут применены при проектировании и изготовлении железобетонных кольцевых матриц для штамповки взрывом.

Математическая модель, способы и результаты расчета, описание конструкции матрицы приведены в ранее опубликованных статьях [5–7]. В данной статье будет рассмотрен метод определения долговечности предлагаемых конструкций железобетонных матриц.

Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена железобетонная кольцевая матрица, конструкция которой защищена патентами [8, 9]. На данном этапе задачей исследования является настройка измерительного комплекса, отработка способа изготовления и проведение испытания образца нагрузкой от взрыва.

Долговечность железобетонных матриц для штамповки взрывом характеризуется количеством циклов загрузки при изготовлении определенного объема изделий без существенного изменения эксплуатационных свойств матрицы. Для определения искомой величины запланировано изготовить и испытать несколько серий натуральных образцов железобетонных матриц. Показателем долговечности принято многократное нагружение матрицы до обнаружения признаков разрушения конструкции.

Для фиксации значений напряжений в момент взрыва на элементы матрицы были установлены тензорезисторы типа BE120–20AA–X–4cm (сопротивление

120 Ом, длина базы 20 мм). Общее число тензорезисторов – 18 шт.: из них 6 шт. расположены на наружном кольце, 6 шт. – на внутреннем и 6 шт. – на арматуре. Схема установки тензорезисторов представлена на рис. 1.

Для фиксации тензорезисторов использовался клей БФ-2. Была выполнена подготовка мест установки тензорезисторов путем обработки металла шлифовальной шкуркой с последующим обезжириванием. Для коммуникации тензорезисторов к измерительному комплексу использовался медный провод диаметром 0,2 мм, длиной 500 мм ($R=0,27$ Ом), с дальнейшим подсоединением его к проводам измерительного комплекса ($R=8$ Ом). После припайки тензорезисторы были покрыты водостойким лаком и дополнительно закрыты тонкими стальными защитными листами. После этого производилось бетонирование матрицы.

Для приготовления бетонной смеси использовался состав как для бетона В30 на гранитном щебне крупностью до 20 мм, речном песке, портоландцементе марки 400. Во время твердения бетонной смеси с помощью гидравлической камеры, встроенной в конструкцию матрицы, на бетон было приложено давление 1,3 МПа продолжительностью порядка 30 мин.

Давление подавалось за счет закачивания в камеру гидравлического масла ручным гидронасосом НР01ЮА. Штуцер, через который подавалось масло в камеру, был оснащен обратным клапаном, чтобы исключить возможность выхода масла из камеры при эксплуатации и в момент взрыва.

Для снятия показаний в момент взрыва использовался измерительный микропроцессорный тензометрический комплекс «Динамика-1». Быстродействие на канал составляет 20 кГц.

Для определения чувствительности тензометрической системы к измеряемой величине и для проверки работы системы во всем диапазоне изменения входной величины была выполнена тарировка тензометрической аппаратуры. Для этого была изготовлена балка размером 360x30x5 мм, выполненная из высокопрочной стали марки 12Х18Н10Т. На балку было установлено 12 тензорезисторов (по 6 шт. на каждую сторону) из той же партии, что и на контрольном образце. На вход измерительной системы пода-

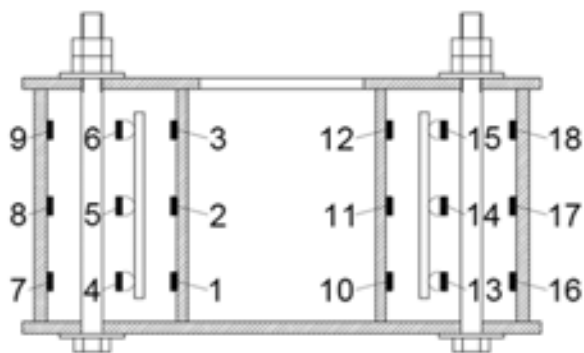


Рис. 1. Схема установки тензорезисторов

вались определенные значения прогиба балки. Прогибы создавались с помощью специальной установки, представленной на рис. 2. Расчетная схема тарировочного образца соответствует балке на двух опорах с приложением двух сосредоточенных сил и образованием зоны чистого изгиба в центральной части балки. На выходе комплекс «Динамика-1» фиксировал сигналы системы на приложенные воздействия.

Тарировка аппаратуры проводилась при постоянной температуре +20 °С. За измеряемую величину была принята относительная деформация. Предполагаемое изменение сопротивления тензорезистора было определено по формуле

$$\Delta R = R \cdot k \cdot \varepsilon, \tag{1}$$

где ΔR – изменение сопротивления тензорезистора, равное 0,72 Ом; R – сопротивление тензорезистора, равное 120 Ом; k – коэффициент калибровки (Gage Factor), равный 2,08; ε – максимально допустимые относительные деформации, равные 0,3 %.



Рис. 2. Установка для проведения тарировочных испытаний

Для полученного значения ΔR были заданы соответствующие характеристики в настройках прибора «Динамика-1».

Было выполнено 20 ступеней загрузений до достижения балкой $\varepsilon = 0,13$ %. На каждой ступени фиксировалось значение прогиба балки с помощью индикатора часового типа.

Зная геометрические, физические характеристики и значение прогиба балки на двух опорах (при двух действующих на балку одинаковых по величине нагрузках, точка приложения которых удалена от опоры на расстояние $a = 0,08$ м) на каждом этапе загрузки, относительные деформации можно определить по формуле

$$\varepsilon = \frac{12 \cdot h \cdot f_{\max} \cdot \left(\frac{l}{2} - a\right)}{l^3 \cdot \left(4 \cdot \frac{a^3}{l^3} - 3 \cdot \frac{a}{l}\right)}, \tag{2}$$

где f_{\max} – прогиб балки, определяемый по индикатору часового типа; h – высота балки, равная 0,005 м; l – длина балки, равная 0,36 м.

Зная значения относительных деформаций ε , были определены напряжения в балке:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E, \tag{3}$$

где E – модуль упругости балки, равный $1,98 \cdot 10^5$ МПа.

Показания индикатора часового типа и полученные данные по формулам (2) и (3) записаны в виде табл. 1. Показания измерительного комплекса «Динамика-1» представлены в табл. 2.

По полученным данным был построен график (рис. 3), определяющий степень линейности деформаций от напряжений измерительной системы в диапазоне изменения до $\varepsilon = 0,013$ %.

Таблица 1

Показания индикатора часового типа и величины, определяемые с помощью полученных данных

Ступень загрузки	Показания прогибомера $\cdot 10^5$, м		Прогиб f_{\max} , м	Относительные деформации ε	Напряжения σ , МПа
	отсчет	Δ			
1	2	3	4	5	6
0	1050	-	0,00000	0,0000	0,00
1	1020	30	0,00030	0,0001	12,30
2	990	30	0,00060	0,0001	24,59
3	960	30	0,00090	0,0002	36,89
4	930	30	0,00120	0,0002	49,18
5	900	30	0,00150	0,0003	61,48
6	870	30	0,00180	0,0004	73,77
7	840	30	0,00210	0,0004	86,07

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
8	810	30	0,00240	0,0005	98,37
9	780	30	0,00270	0,0006	110,66
10	750	30	0,00300	0,0006	122,96
11	720	30	0,00330	0,0007	135,25
12	690	30	0,00360	0,0007	147,55
13	660	30	0,00390	0,0008	159,85
14	630	30	0,00420	0,0009	172,14
15	600	30	0,00450	0,0009	184,44
16	570	30	0,00480	0,0010	196,73
17	540	30	0,00510	0,0011	209,03
18	509	31	0,00541	0,0011	221,73
19	470	39	0,00580	0,0012	237,72
20	430	40	0,00620	0,0013	254,11

Таблица 2

Показания измерительного комплекса «Динамика-1»
и величины, определяемые с помощью полученных данных

Степень загрузки	Показания комплекса «Динамика-1», мкОм/Ом										Среднее значение $\Sigma\Delta_{\text{пр}}$
	датчик 1			датчик 2			...	датчик 12			
	отсчет	$\Delta_{\text{пр}}$	$\Sigma\Delta_{\text{пр}}$	отсчет	$\Delta_{\text{пр}}$	$\Sigma\Delta_{\text{пр}}$...	отсчет	$\Delta_{\text{пр}}$	$\Sigma\Delta_{\text{пр}}$	
0	-193	0	0	191	0	0	...	260	0	0	0
1	-157	36	36	226	35	35	...	230	30	30	34
2	-128	29	65	263	37	72	...	195	35	65	67
3	-89	39	104	297	34	106	...	165	30	95	102
4	-54	35	139	334	37	143	...	132	33	128	137
5	-16	38	177	369	35	178	...	102	30	158	171
6	20	36	213	403	34	212	...	66	36	194	206
7	55	35	248	436	33	245	...	34	32	226	240
8	94	39	287	469	33	278	...	-1	35	261	275
9	133	39	326	505	36	314	...	-31	30	291	310
10	165	32	358	542	37	351	...	-66	35	326	345
11	197	32	390	578	36	387	...	-96	30	356	378
12	237	40	430	613	35	422	...	-128	32	388	413
13	269	32	462	644	31	453	...	-158	30	418	444
14	303	34	496	681	37	490	...	-189	31	449	478
15	340	37	533	718	37	527	...	-217	28	477	512
16	374	34	567	753	35	562	...	-250	33	510	546
17	408	34	601	782	29	591	...	-279	29	539	577
18	443	35	636	820	38	629	...	-308	29	568	611
19	483	40	676	868	48	677	...	-347	39	607	653
20	533	50	726	916	48	725	...	-388	41	648	700

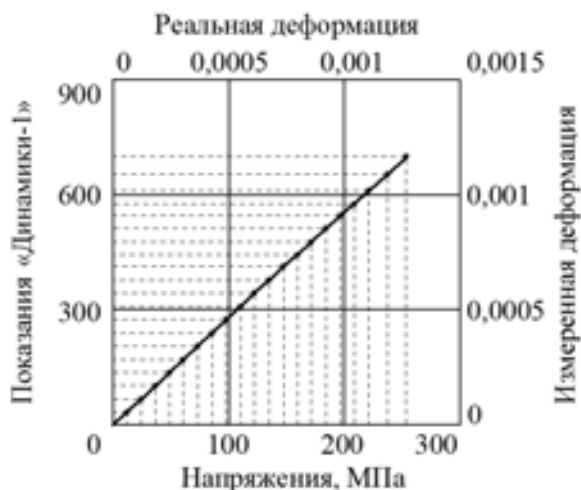


Рис. 3. Тарировочный график

Была выполнена аппроксимация полученного графика линейной функцией. Наклон и смещение линии регрессии были определены с помощью встроенных функций в системе Mathcad. В результате получено следующее выражение:

$$\sigma = 0,363 \cdot \Sigma \Delta_{\text{пр}} - 0,74. \quad (4)$$

С помощью полученного выражения стало возможным использовать результаты натурного эксперимента, при условии идентичности измерительной системы (одинаковые тензорезисторы, тип и длина соединительных проводов, температура окружающей среды). Для экспериментальных исследований был изготовлен образец матрицы, на котором проводилось испытание на нагружение взрывом с целью определения нормальной работы тензометрической системы.

Образец матрицы подвергался единичному нагружению зарядом весом 2 г (10 г/м). Комплексом «Динамика-1» было зафиксировано воздействие взрыва на конструкцию. Результаты обработаны, и с помощью вычислений по формулам (3) и (4) показания комплекса переведены в величины напряжений и относительных деформаций.

Так как комплекс «Динамика-1» снимает показания каждые $5 \cdot 10^{-5}$ с, то полученные экспериментальные данные представим в виде ломаной линии путем соединения точек на графике относительных деформаций железобетонной матрицы (рис. 4). График, полученный в результате теоретических расчетов [5–7], представим сплошной линией.

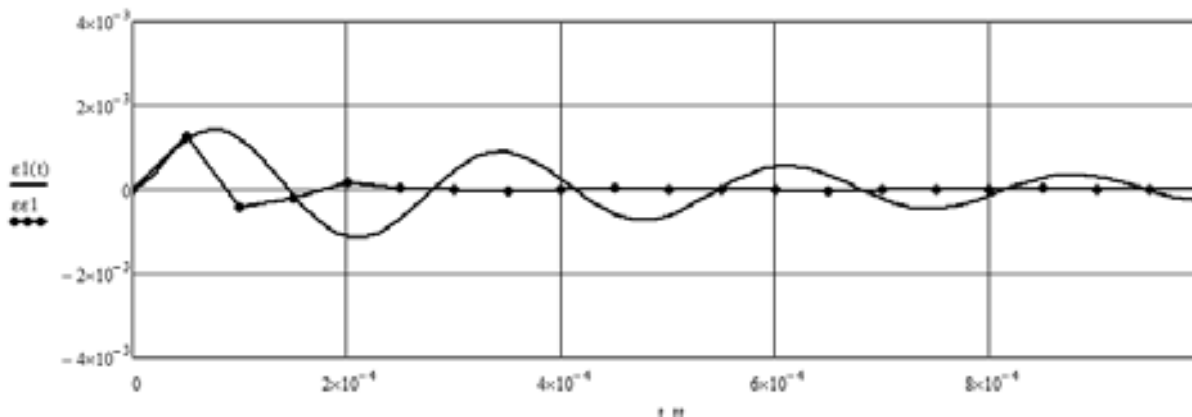


Рис. 4. Относительные деформации железобетонной матрицы

Выводы. 1. На основе графиков, изображенных на рис. 4, можно сделать вывод, что максимальные значения теоретических и экспериментальных величин деформаций, а соответственно и напряжений, близки между собой.

2. Измерительный комплекс «Динамика-1» может быть применен при испытаниях основных серий натуральных образцов, так как в диапазоне высоких скоростей нагружения, характерных для нагрузки от взрыва, позволяет фиксировать изменения деформаций материалов.

3. Изготовление образцов под давлением положительно влияет на долговечность конструкций железобетонных матриц, так как данный метод способствует увеличению плотности и прочности бето-

на и, как следствие, увеличению количества циклов воздействия импульсной нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ганопольский М.И., Барон В.Л., Белин В.А., Пупков В.В., Сивенков В.И. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы. М.: Изд-во Москов. гос. горного ун-та, 2007. 563 с.
2. Зорик В.Я., Третьяк В.В. Разработка проектирующей системы для синтеза технологической оснастки импульсных процессов взрывной штамповки // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2008. № 39. С. 168–175.
3. Фролов Е.А., Муравлев В.В. К вопросу создания эффективного цехового оборудования для взрывной

обработки металлов с использованием железобетонных конструкций с вынесенным рабочим армированием // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2015. № 70. С. 113–120.

4. *Мурашкин Г.В., Снегирёва А.И.* Особенности определения долговечности железобетонных матриц для гидровзрывной штамповки // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, доктора технических наук, профессора Селева Владимира Павловича. Саранск: Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2014. С. 81–88.

5. *Мурашкин Г.В., Кретов Д.А.* Методика определения деформаций элементов матрицы для гидровзрывной штамповки // Материалы и технологии XXI века. 2016. С. 193–198.

Об авторах:

МУРАШКИН Геннадий Васильевич

доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. +7(846) 242–17–84
E-mail: njkcnsq@bk.ru

СНЕГИРЁВА Антонина Ивановна

кандидат технических наук, профессор, заведующая кафедрой строительства Филиал Самарского государственного технического университета в г. Белебее Республики Башкортостан 452000, Россия, Республика Башкортостан, г. Белебей, ул. Советская, 11, тел. +7-905-300-45-53
E-mail: a.i.snegireva@gmail.com

КРЕТОВ Дмитрий Александрович

ассистент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. +7-927-752-51-65
E-mail: kretdima@rambler.ru

ЖИЛЬЦОВ Юрий Викторович

старший преподаватель кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. +7-908-386-35-21
E-mail: zzilz@mail.ru

6. *Снегирёва А.И., Кретов Д.А.* Расчет усовершенствованной железобетонной матрицы при импульсном нагружении // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 4. С. 20–24.

7. *Murashkin G., Snegireva A., Kretov D.* High-strength Reinforced Concrete Matrices, Hardening Under Pressure // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 196 (Article No.02009). DOI:10.1051/mateconf/201819602009.

8. Патент РФ № 2016103420, 02.02.2016 / Анпилов С.М., Мурашкин В.Г., Мурашкин Г.В., Снегирева А.И., Кретов Д.А. Взрывная камера // Патент России № 168925. 2017. Бюл. № 6.

9. Патент РФ № 2015153950, 12.12.2015 / Анпилов С.М., Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г., Снегирёва А.И., Кретов Д.А. Взрывная камера // Патент России № 2619545. 2017. Бюл. № 14.

MURASHKIN Gennady V.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Building Structures Chair, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242–17–84
E-mail: njkcnsq@bk.ru

SNEGIREVA Antonina I.

PhD in Engineering Science, Head of the Building Chair Samara State Technical University Branch in Belebey, Republic of Bashkortostan 452000, Russia, Republic of Bashkortostan, Belebey, Sovetskaya str., 11, tel. (905) 300-45-53
E-mail: a.i.snegireva@gmail.com

KRETOV Dmitry A.

Assistant of the Building Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (927) 752-51-65
E-mail: kretdima@rambler.ru

ZHILTSOV Yury V.

Senior Lecturer of the Building Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (908) 386-35-21
E-mail: zzilz@mail.ru

Для цитирования: *Мурашкин Г.В., Снегирёва А.И., Кретов Д.А., Жильцов Ю.В.* К вопросу определения долговечности железобетонных матриц для взрывной штамповки методами тензометрии // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 4. С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.1.

For citation: *Murashkin G.V., Snegireva A.I., Kretov D.A., Zhiltsov Yu.V.* Definition Durability of Reinforced Concrete Matrices for Explosive Stamping by Tensometric Methods // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 4. Pp. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.1.