

УДК 624.012.35/45

Замалиев Ф.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: zamaliev49@mail.ru

Биккинин Э.Г. – аспирант

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Экспериментальные исследования сталежелезобетонных балок таврового сечения

Аннотация

Статья посвящена экспериментальным исследованиям сталежелезобетонных балок, состоящих из бетонной полки и сталебетонной балки на действие однократных статических нагрузок. Приведены описания экспериментальных моделей балок, экспериментальная установка, методика и результаты испытаний, графики прогибов, деформаций сдвига на границе сталь-бетон, развитие напряжений в нижнем поясе стальной двутавровой балки, распределение напряжений по высоте нормального сечения.

Ключевые слова: сталежелезобетонные балки, тавровое сечение, эксперименты, деформации, напряжения.

Сталежелезобетонные конструкции, являясь составными конструкциями имеющими в рабочем сечении два и более слоев, соединенные между собой связующими элементами при исследованиях их напряженно-деформированного состояния в предельном состоянии аналитическими способами вызывают значительные сложности [1, 2]. Использование программных комплексов, имеющиеся на сегодня у пользователей, тоже основаны на упрощенных диаграммах работы материалов и упрощенной записи работы контакта слоев [3], поэтому желаемых результатов не дают. Экспериментальные исследования составных конструкций, каковыми являются сталежелезобетонные балки, исследованные нами, дают наиболее обширные и полные результаты их напряженно-деформированного состояния.

Из анализа существующих экспериментальных исследований [4-9] видно, что множества их посвящено исследованиям сталежелезобетонных конструкций с ребрами из стального двутавра. Однако, для конструкций применяемых в гражданских зданиях в качестве перекрытий и покрытий важным является их достаточная высокая огнестойкость и коррозионостойкость. Поэтому в качестве образцов приняты модели сталежелезобетонных балок с ребрами из двутавра, обетонированных с боковых сторон.

Целью экспериментальных исследований явилось изучение прочности, деформативности и характера работы конструкций составного сечения, для последующего их использования в разработке новых методик расчета.

Для испытаний была изготовлена серия балок таврового сечения: стальная часть (до обетонирования) представляла прокатную двутавровую балку № 12 ГОСТ 8239-89 длиной 1900 мм; бетонная часть имела размеры: длина – 1900 мм, ширина – 400 мм, высота – 50 мм. Армирование бетонной плиты производилось арматурными сетками из проволоки Ø4 В500. Для армирования боковых граней двутаврового профиля использовали арматуру 2Ø8 А300. Класс бетона для боковых граней принималась такой же, как и для плитной части – В30. Все образцы выполнялись с горизонтальным расположением швов (контакта) между бетоном плиты и стальной балкой. Совместная работа бетона плиты и балки – ребра достигалось двумя рядами анкерных связей в зоне контакта. Совместная работа двутаврового профиля и бокового бетона обеспечивалась приваркой хомутов к стенке балки с шагом равной шагу анкерных связей и продольных арматурных стержней 2Ø8 с обеих сторон. Для анализа работы сталежелезобетонных балок с обетонированными боковыми гранями были использованы три способа приварки хомутов к стенке стального двутавра (табл.).

Испытания сталежелезобетонных балок проводились на базе лаборатории КазГАСУ. Сталежелезобетонная балка испытывалась по схеме свободно-опертой балки двумя сосредоточенными силами в средней части пролета, приложенными на расстоянии 175 мм от вертикальной оси балки. Расчетный пролет балки – 1800 мм. Испытание

проводилось нагружением ступенями по 0,1 от ожидаемой разрушающей нагрузки. Нагрузка передавалась посредством гидравлической системы прессы УММ-200 на изгибаемую сталежелезобетонную балку с помощью металлической траверсы в двух точках. Для исключения закручивания балки во время испытаний между металлической траверсой и базой испытательной установки был установлен полусферический шарнир. На ступенях нагружения во время выдержек фиксировались деформации бетона и стали, абсолютные деформации сдвига, прогибы. За предельное состояние принималось полное физическое разрушение образцов, характеризовавшееся большими пластическими деформациями нижнего стального пояса обетонированной балки и местным разрушением бетонной полки в зоне чистого изгиба. Геометрические параметры образцов и результаты из испытаний приведены в табл.

Таблица

№ образца балок	Геом. длина балки l, мм	Шаг анкеров кр. части, S ₁ , мм	Тип анкера кр. части	Шаг анкеров ср. части, S ₂ , мм	Тип анкера ср. части	Тип хомутов стальной части	Разрушающий изгиб. момент, т*м
1	2	3	4	5	6	7	8
Б1	1900	150	⊥Ø6A400	100	⊥Ø6A400		3,79
Б2	1900	150	⊥Ø6A400	100	⊥Ø6A400		3,76
Б3	1900	150	⊥Ø6A400	100	⊥Ø6A400		3,77

Во всех случаях опытные образцы сталежелезобетонных балок разрушались по нормальному сечению в зоне чистого изгиба из-за местного раздробления бетона сжатой зоны плиты и в следствии развития пластических деформаций в средней части стальной балки. Во всех образцах происходил срез анкеров в приопорной части сталежелезобетонной балки и, соответственно, отрыв бетонной полки от стальной балки. Первые трещины бокового бетона, которым были защищены стальные двутавровые балки появились при нагрузке $0,85Q_{раз.}$, как правило, в сечениях под точками приложения нагрузки и имели незначительные раскрытия. Развитие нормальных трещин (около 1 мм) в теле бокового бетона главным образом наблюдалось перед разрушением образца.

Во всех испытанных образцах проявилось развитие продольных трещин в верхней грани бетонной плиты от центра к опорной зоне при нагрузке $(0,85 \div 1)P_{раз.}$, что связано с ростом деформацией сдвига на границе контакта «сталь-бетон».

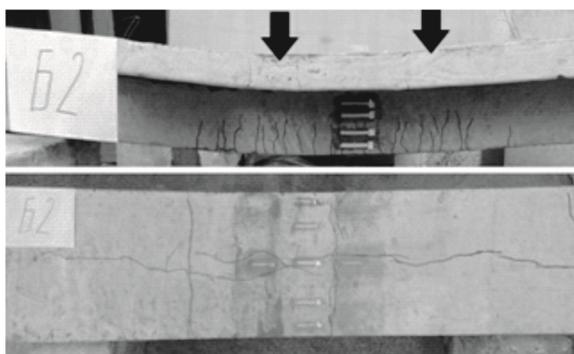


Рис. 1. Балка с обетонированием боковых граней двутавра после испытаний

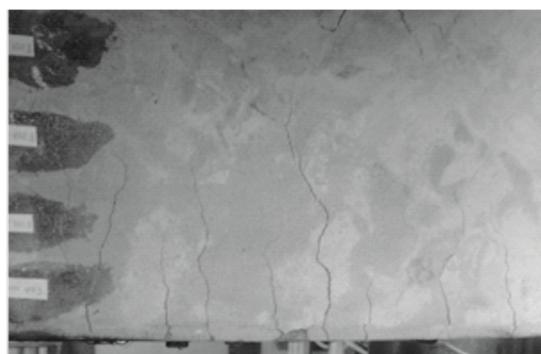


Рис. 2. Развитие нормальных трещин в бетоне балок при нагрузке $(0,85-1)P_{раз.}$

Все три способа приварки хомутов к стенке балки оказались работоспособными, выпучивания бокового бетона из тела двутавровой балки не наблюдалось даже при предельных прогибах.

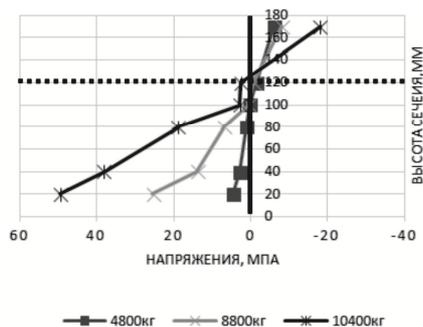


Рис. 3. Развитие напряжений в нормальном сечении при различных нагрузках

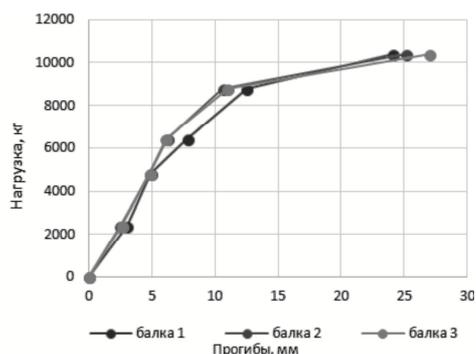


Рис. 4. Развитие прогибов СЖБ балок

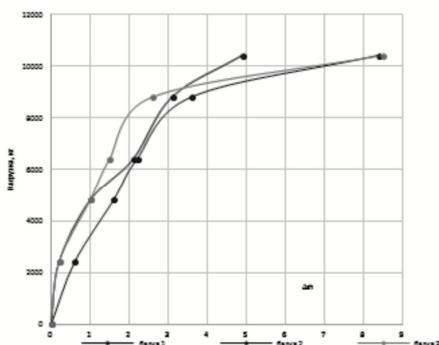


Рис. 5. Развитие деформаций сдвига на границе контакта «сталь-бетон»

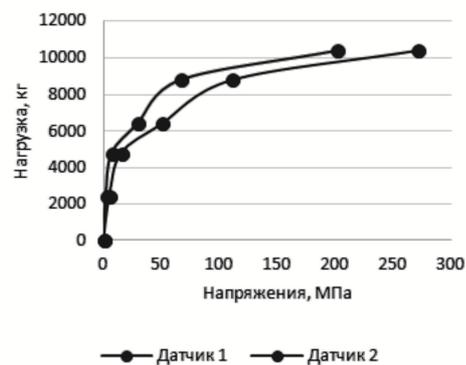


Рис. 6. Развитие напряжений нижнего пояса стального профиля

В испытанных балках, особенно на начальном этапе загрузки, усилие сжатия воспринимается не только железобетонной полкой, но и частью бетона сталебетонной балки. По мере увеличения нагрузки до разрушающего $P_{раз}$, а так же, в следствии, среза анкеров в зоне контакта «сталь-бетон», каждый слой сталежелезобетонной балки начинает работать самостоятельно, поэтому на рис. 3 можем наблюдать зону растяжения в бетонной полке.

Анализ закономерностей развития деформаций абсолютного сдвига на границе контакта «сталь-бетон» показывает (рис. 5), что при нагрузках $(0,8 \div 1)P_{раз}$ наблюдается искривление линейной зависимости, что связано с развитием пластических деформаций и среза анкеров.

В зоне чистого изгиба, до нагрузки $0,85P_{раз}$ наблюдается прямолинейный характер развития прогибов (рис. 4). При нагрузках больших чем $0,85P_{раз}$, эпюра прогибов принимает криволинейный вид, в дальнейшем с увеличением податливости шва контакта происходит интенсивный рост прогибов при незначительном увеличении нагружения, т.е. излом графика прогибов.

Заключение

1. Эксперименты на сталежелезобетонных балках таврового сечения, состоящих из бетонной плиты и сталебетонного ребра, показали увеличенную их несущую способность по сравнению с аналогичными балками без обетонирования стального профиля-ребра.

2. Распределение напряжений по высоте нормального сечения сталежелезобетонной балки с обетонированными ребрами аналогично балкам со стальными ребрами.

3. Принятая конструктивная схема хомутов в сочетании с продольными арматурными стержнями, расположенными в боковых полостях стального двутавра, обеспечивала совместную работу профиля и бетона в нем. Выпучивание бетона из тела стального двутавра не происходило даже при запредельных прогибах.

Список библиографических ссылок

1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules for buildings / European Committee for Standardization, 2002.
2. Замалиев Ф.С., Мирсаяпов И.Т. Расчет прочности сталежелезобетонных изгибаемых конструкций на основе аналитических диаграмм. Разработка и исследование металлических и деревянных конструкций // Сборник научных трудов. КГАСА. – Казань, 1999. – С. 142-149.
3. Замалиев Ф.С., Гурьянов И.А., Шаймарданов Р.И., Хайрутдинов Ш.Н. Численные и натурные эксперименты в исследованиях сталежелезобетонных конструкций. // Известия КГАСУ, 2012., № 1 (19). – С. 46-52.
4. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов // 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 360 с.
5. Замалиев Ф.С., Шаймарданов Р.И. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкции на крупномасштабных моделях // Известия КазГАСУ, 2008, № 2 (10). – С. 47-52.
6. Мирсаяпов И.Т., Замалиев Ф.С., Замалиев Э.Ф. Экспериментальные исследования податливости контакта слоев сталежелезобетонных конструкций при малоцикловых нагружениях // Известия МГСУ, 2011, № 2. – М., т. 2. – С. 163-168.
7. Замалиев Ф.С., Хайрутдинов Ш.Н. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных изгибаемых конструкций при длительном действии нагрузок // Известия КазГАСУ, 2008, № 1 (9). – С. 65-67.
8. Замалиев, Ф.С., Шаймарданов Р.И. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций на крупномасштабных моделях. // Известия КазГАСУ, 2008, № 2 (10). – С. 47-52.
9. Замалиев, Ф.С., Сагитов Р.А., Хайрутдинов Ш.Н. Испытание фрагмента сталежелезобетонного перекрытия на статические нагрузки // Известия КазГАСУ, 2010, № 1 (13). – С. 102-105.

Zamaliyev F.S. – candidate of technical science, associate professor

E-mail: zamaliyev49@mail.ru

Bikinin E.G. – engineer, post-graduate student

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Experimental studies of T-section steel-concrete beams**Resume**

The article is devoted to experimental investigations of steel-concrete structures. Steel-concrete structures are widely used in civilian buildings as floors and coatings. Overlap consists of a reinforced concrete slab supported by ribs. As the ribs are very often used steel beams of the I-beam. However, they have a low degree of fire resistance and corrosion resistance. Therefore, the steel girders of the I-beam on the side faces sometimes filled with concrete, which increases corrosion resistance and fire resistance of steel-concrete slabs. This article describes the design of models of steel-concrete beams. Before concreting, steel I-beam to the walls of welded stainless steel straps and beneath two rows skipped $\varnothing 8$ mm valves on each side. Tests were carried out on the test press UMM200 to static loads. To determine the fiber strain on the beams, ribs and concrete slab on the surface glued electrical strain gauge.

Deflections of beams determined by deflect meter of Burkovsky shift layers – using dial gauges. The test results obtained deformation deflections. Results obtained by treating the stress state of the normal section of the steel-concrete beam. The graphs shear layers, deflections. The analysis of beams in the elastic, elastic-plastic stage and the ultimate limit state was carried out.

Keywords: steel-concrete beams, T-section, experiments, strain, stress.

Reference list

1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules for buildings / European Committee for Standardization, 2002.
2. Zamaliev F.S., Mirsayapov I.T. Strength calculation of steel-concrete bent designs based on the analytical diagrams // Development and research of metal and wooden structures // Proceedings. Kazan State Academy of Architecture and Construction. – Kazan, 1999. – P. 142-149.
3. Zamaliev F.S., Guryanov I.A., Shaimardanov R.I., Khairutdinov Sh.N. Numerical experiments and field studies in steel-concrete structures. // News of the KSUAE, 2012, № 1 (19). – P. 46-52.
4. Streletskii N.N. Composite superstructures of bridges // 2nd ed., Rev. and add. – M.: Transport, 1981. – 360 p.
5. Zamaliev F.S., Shaimardanov R.I. Experimental studies on the construction of large-scale steel-concrete models // News of the KSUAE, 2008, № 2 (10). – P. 47-52.
6. Mirsayapov I.T., Zamaliev F.S., Zamaliev E.F. Experimental studies of compliance contact layers of steel-concrete structures under low-cycle loading // Izvestiya MGSU, № 2, m. 2. – M.: 2011. – P. 163-168.
7. Zamaliev F.S., Khairutdinov Sh.N. Experimental studies of steel-concrete flexural structures under long-term loads // News of the KSUAE, 2008, № 1 (9). – P. 65-67.
8. Zamaliev F.S., Shaimardanov R.I. Experimental studies of steel-concrete structures on large-scale models. // News of the KSUAE, 2008, № 2 (10). – P. 47-52.
9. Zamaliev F.S., Sagitov R.A., Khairutdinov Sh.N. The test piece of the steel-concrete slab to static loads // News of the KSUAE, 2010, № 1 (13). – P. 102-105.