

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУТАВРОВЫХ СВАРНЫХ БАЛОК, ПОДКРЕПЛЕННЫХ НАКЛОННЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ, НА ПЛОСКИЙ ИЗГИБ

Теория расчета тонкостенных пространственных стержней (к ним относятся и двутавровые составные балки) непрерывно совершенствуется на базе достижений в области теоретических и экспериментальных исследований. Однако вышеназванное не относится к плоскому изгибу тонкостенных стержней открытого профиля с «противокрутильными связями».

В литературе, преимущественно отечественной, опубликовано всего несколько работ теоретического [1, 2, 3, 5, 10] и экспериментального [4, 6, 7, 11, 12] характера, в которых авторы рассматривают вопрос о работе стальных неразрезных балок на плоский изгиб со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости.

Известно, что предельное состояние балок двутаврового сечения определяется напряженным состоянием стенки, которое для балок с относительно тонкой стенкой ($h_0/\delta_{ст}=80-140$) в значительной степени зависит от величины касательных напряжений τ [6]. В связи с этим возникла необходимость в местах появления наибольших поперечных сил (на средней опоре двухпролетной неразрезной балки) принимать меры по укреплению стенки. Задача по укреплению стенки с целью снижения касательных напряжений и обеспечению местной устойчивости может быть решена несколькими способами: более частая постановка поперечных ребер жесткости (при этом τ не снижается) [9]; местное увеличение толщины стенки в приопорных участках, в которых поперечная сила достигает наибольшей величины [13]; постановка наклонных ребер жесткости в приопорных участках с наибольшим значением поперечной силы в пределах отсека стенки, ограниченного поперечными ребрами жесткости. С этой позиции и рассматривался расчет балок со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости, в вышеназванных работах. Авторы исследуют два типа наклонных ребер:

- а) связанных с поясами и не приваренных к стенке;
- б) связанных с поясами и приваренных к стенке [20, 21].

Предлагаемая методика расчета балок с наклонными ребрами зависит от типа ребер. При использовании ребер типа «а» наклонные ребра предлагается рассматривать в виде раскоса (дополнительной связи) с площадью $F_p = 2b_{pi}\delta_{pi}$. Характер распределения касательных напряжений при этом по высоте стенки предполагался таким же, как и в стенке, не подкрепленной ребрами, а их величина определялась в зависимости от параметров балки, наклонных ребер и вида загрузки. Усилия в ребрах определялись из условия равенства деформаций самих ребер и стенки по направлению диагонали с наклонными ребрами. При использовании ребер типа «б» предполагалось, что в совместную работу с наклонными ребрами включится часть стенки, образуя с ребрами сложное сечение. Поперечная сила Q_x , действующая в любом сечении балки в пределах отсека с наклонными ребрами определяется с использованием точных методов строительной механики [7, 8, 19].

$$Q_x = Q_{x(cm)} + Q_{реб}$$

где $Q_{x(cm)}$ – поперечная сила, воспринимаемая стенкой;

$Q_{реб}$ – остальная часть Q_x , воспринимаемая наклонными ребрами.

В работах [14–18, 22] проводились экспериментальные исследования выше-названных балок с целью выяснения характера действительной работы стенки, подкрепленной наклонными ребрами жесткости.

По результатам экспериментальных исследований однопролетных балок со стенками, подкрепленными ребрами, было установлено, что наклонные ребра значительно снижают величину поперечной силы, воспринимаемую стенкой. Эффективность ребер зависит от их типа и отношений:

$$\frac{F_{cm}}{2b_{pi} \cdot \delta_{pi}}, \frac{F_{cm}}{F} \cdot \frac{h_0}{\delta_{cm}}$$

Постановка наклонных ребер, не приваренных к стенке, в балках с $h_0/\delta_{cm}=40$ снижала поперечную силу в стенке на 40–50%, в балках с $h_0/\delta_{cm}=100$ – на 70–75%. Использование ребер, приваренных к стенке, снижало соответствующую поперечную силу в стенке на 70–80%. Основным недостатком этих экспериментальных исследований было то, что они проводились на моделях с малыми геометрическими размерами ($L=1500$ мм). Отсутствие полных экспериментальных данных о влиянии наклонных ребер жесткости на нормальные напряжения в произвольном сечении балки, а также и на ее изгибную жесткость, потребовало выполнения исследований, которые и описываются далее.

Методика и содержание исследования

Экспериментальные исследования работы балок с наклонными ребрами жесткости на плоский изгиб проводились на двенадцати моделях сварных однопролетных шарнирно-опертых балок двутаврового симметричного профиля пролетом $L=3$ м с размером поперечного сечения: стенка – 500×10 мм, горизонтальные листы – 150×10 мм. Расстановка по длине исследуемых балок и геометрические размеры наклонных ребер жесткости приведены на рисунках 1 и 2.

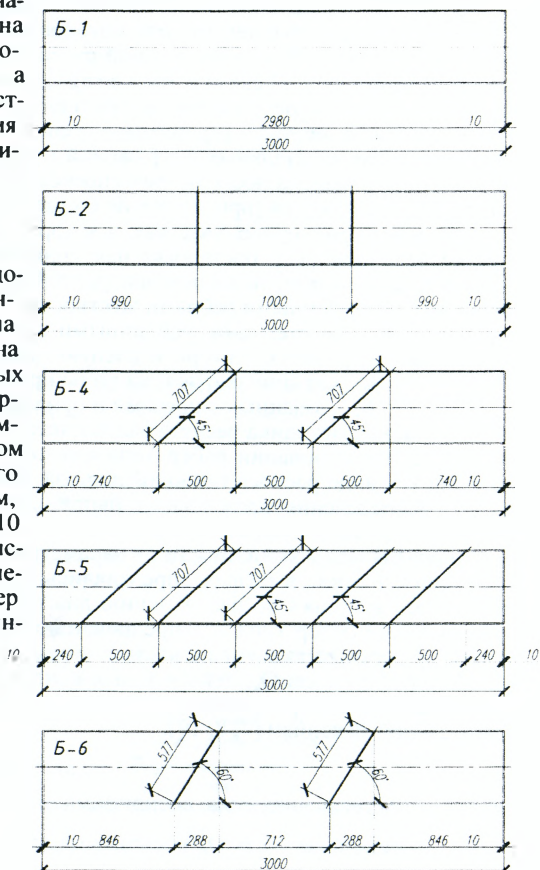


Рисунок 1

Балки были изготовлены из стали ВМ-СТ 3пс по ГОСТ 380-60*, сварка поясов, стенки и наклонных ребер жесткости велась электродами Э-42А с толщиной шва 8 мм. Каждая балка испытывалась в горизонтальном положении на 200-тонном гидравлическом прессе.

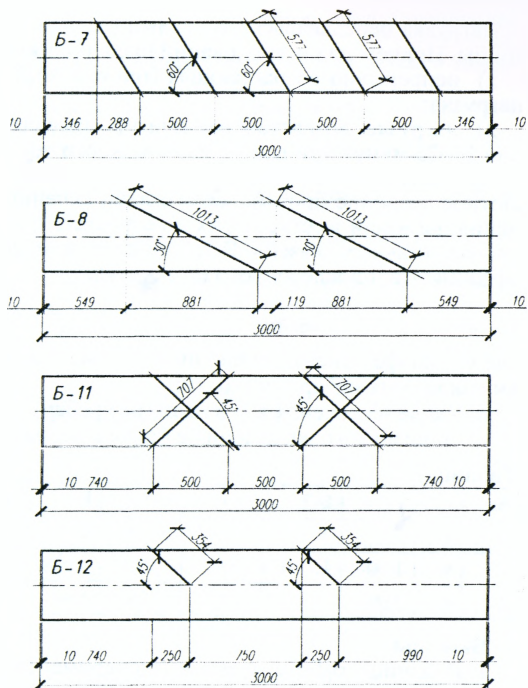


Рисунок 2

Нагрузка в виде сосредоточенной силы P передавалась посередине пролета через квадратный штамп размером 60x60 мм к сжатому поясу в плоскости ее наибольшей жесткости (рис. 3.).

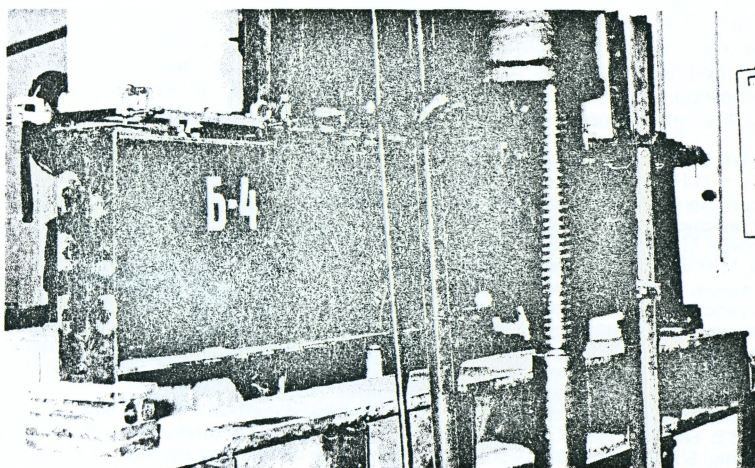


Рисунок 3

Контроль за напряжениями в данных сечениях осуществлялся с помощью тензодатчиков, установленных на стенке и поясах в сжатой и растянутой зонах.

Нагрузка передавалась ступенями от нуля до 32 тонн с постоянным шагом 4 тонны. Причем для исследований была принята:

1) непрерывно возрастающая (прямой ход) или убывающая (обратный ход) нагрузка;

2) нагрузка, возрастающая или убывающая по этапам, с выдержкой в течение 20–25 минут при достижении каждого последующего этапа.

При оценке общей деформативности системы нас интересует не только абсолютное значение прогиба какого-либо сечения балки, но и коэффициент изменения изгибной жесткости их в результате постановки по длине стержня «противокрутильных связей». В таблице 1 (см. ниже) приведены значения этого коэффициента, определенного по формуле:

$$v = \frac{y_{от}}{y_1}$$

где v – коэффициент изменения изгибной жесткости стержня за счет постановки наклонных ребер жесткости;

$y_{от}$ – прогиб сечения $x=t$ в балке без ребер;

y_1 – прогиб того же сечения в балке с ребрами жесткости.

Таблица 1

№		Б-1	Б-2	Б-4	Б-5	Б-6	Б-7	Б-8	Б-11	Б-12
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	v	1,00	1,000	1,095	1,015	1,038	1,052	1,013	1,054	1,030
2	σ_x	2160	-	1943	1635	1946	1743	2000	1740	2064

Выводы

1. В данной работе впервые экспериментальным путем исследуется вопрос влияния геометрии и типа противокрутильных связей на величину нормальных напряжений σ_x и изгибную жесткость подкрепленных тонкостенных стержней.

2. За счет постановки противокрутильных связей увеличивается жесткость подкрепленных стержней. Прогибы могут быть снижены на 1,3–14,5%.

3. Нормальные напряжения σ_x в опасном сечении могут быть снижены на 4,4–24,3% при увеличении общего веса конструкции на 1,8–13,3%.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аистов, Н.Н. Испытания сооружений. – М.: Стройиздат, 1960.
2. Аксельрад, Э.Л. Техническая теория стержней: учебное пособие. – Л.: Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1967.
3. Артемов, П.Я. Расчет тонкостенных стержней открытого профиля / П.Я. Артемов, М.И. Любошин, М.Н. Рудишин. – Минск: Белорусский политехнический институт, 1959.
4. Баклашов, Г.Г. Экспериментальное исследование прочности и устойчивости подкрепленных тонкостенных стержней при плоском изгибе // Известия ВУЗов. – № 1: Строительство и архитектура, 1973.
5. Бейлин, Е.А. Об устойчивости плоской формы изгиба тонкостенных балок, имеющих упругие диафрагмы на торцах: сб. докладов XX научной конференции ЛИСИ // Инженерные конструкции, сопротивление материалов, строительная механика, 1962.
6. Бирюлов, В.В. О работе стальных балок со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости / В.В. Бирюлов, И.И. Крылов // Известия ВУЗов. – № 9: Строительство и архитектура, 1971.
7. Болотин, Б.В. Строительная механика. Современное состояние и перспективы развития / Б.В. Болотин, И.И. Гельденблат, А.Ф. Смирнов. – М.: Изд. Литературы по строительству, 1972.
8. Борисов, М.Б. Расчет на кручение спаренных планками тонкостенных стержней: кандидатская диссертация, 1948.
9. Борисов, М.Б. Расчет на кручение составных тонкостенных балок с учетом упругих деформаций соединительных планок: труды Ленинградского технол. ин-та им. Ленсовета. – Вып. 23. – 1953.

10. Броуде, Б.М. К теории тонкостенных стержней открытого профиля. – № 6: Строительная механика и расчет сооружений, 1960.
11. Бычков, Д.В. Совместное действие изгиба и кручения в металлических балках // Исследование металлических конструкций, 1940.
12. Бычков, Д.В. Испытание металлической балки П-образного сечения: труды лаборатории строительной механики ЦНИПС / Д.В. Бычков, А.К. Мрошинский, 1941.
13. Бычков, Д.В. Кручение металлических балок / Д.В. Бычков, А.К. Мрошинский. – М.: Стройиздат, 1944.
14. Власов, В.З. Новый метод расчета призматических балок из тонкостенных профилей на совместное действие изгиба и кручения // Вестник ВИА. – 1936. – № 20.
15. Власов, В.З. Кручение и устойчивость тонкостенных профилей. Строительная промышленность. – 1938. – № 6.
16. Власов, В.З. Кручение, устойчивость и колебание тонкостенных стержней // ПММ. – 1939. – Т. 3. – Вып. 1.
17. Власов, В.З. Изгиб и кручение тонкостенных стержней и цилиндрических оболочек открытого профиля. Доп. к кн. С.П. Тимошенко «Устойчивость упругих систем». – М.: Гостехиздат, 1946.
18. Власов, В.З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Изд. «Физматгиз», 1959.
19. Демидович, Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, А.И. Марон. – М.: Изд. «Физматгиз», 1960.
20. Длугач, М.И. Крутильная жесткость тонкостенного стержня, усиленного решеткой: сб. трудов института строительной механики. – М.: Изд. АН УССР. – 1949. – № II.
21. Длугач, М.И. О расчете тонкостенных стержней, усиленных решеткой или планками // Расчет пространственных конструкций. – М.: Машстройиздат. – 1950. – Вып. 1.
22. Длугач, М.И. Экспериментальное исследование устойчивости тонкостенных стержней, усиленных решеткой или планками: сборник трудов института строительной механики АН УССР. – 1952. – № 17.
23. Киселев, В.Н. К расчету стальных балок со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости: труды ГИСИ им. Чкалова. – Горький. – 1973. – Часть 1. – № 64: Исследование в области строительства.
24. Киселев, В.Н. Об одном вопросе расчета тонкостенных призматических стержней открытого профиля с «противокрутильными связями»: труды ГИСИ им. В.П. Чкалова. – Горький. – 1974. – Вып. 67: Металлические конструкции.
25. Крылов, Н.А. Испытание конструкций сооружений / Н.А. Крылов, К.А. Глуховский. – Л.: Изд. Литературы по строительству, 1970.

УДК 624.012.454

Козел А.Н., Попков Ю.В.

ПРОЧНОСТЬ, ДЕФОРМАТИВНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С МЕХАНИЧЕСКИМИ СТЫКОВЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ

Представлены экспериментальные данные о свойствах конструкции механического стыкового соединения арматуры, отличающейся простым устройством, минимальными затратами, а также обеспеченностью необходимой прочности. Получены результаты исследований работы данных стыковых соединений в натурных образцах – железобетонных колоннах.

В связи с возрастающей долей строительства монолитных зданий и сооружений, а также освоения высотного строительства в Республике Беларусь вопросы стыковки арматурных стержней как никогда актуальны и своевременны. Рассмотрение проблематики данного вопроса говорит о том, что механические стыковые соединения арматуры за последние 10 лет обрели свою нишу в монолитном строительстве в нашей республике и странах СНГ.