

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 прочностью. 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.

В настоящее время существуют множественные варианты муфт для механической стыковки арматурных стержней, построенных на различных принципах передачи усилия между стыкуемыми стержнями. Основными требованиями к способам стыковки арматуры, определяющими их применение, являются:

- гарантированная надежность стыкового соединения;
- минимальная стоимость соединительного элемента;
- минимальные затраты на эксплуатацию оборудования при выполнении стыкового соединения;
- минимальные затраты времени на выполнение стыкового соединения.

Очевидно, что достигнуть одновременного полного выполнения всех условий невозможно [1].

Область применения механических стыковых соединений расширяется и получает новые горизонты в практике монолитного строительства. Разрабатываются отраслевые документы, которые устанавливают требования к стыкованию арматурных стержней, для внедрения механических соединений при проектировании и строительстве сооружений атомных станций. Конструкции были применены на большинстве строящихся объектов [2].

В данной научной работе был поставлен вопрос влияния деформативности механического стыкового соединения арматуры на прочность и деформативность сжатых железобетонных элементов, рабочая арматура которых имеет механические стыковые соединения.

Характеристика образцов. В качестве опытных образцов принято 2 серии (8 образцов) железобетонных колонн прямоугольного сечения размером 200x200x2000 мм (рис. 1), изготовленных из тяжелого бетона с призменной прочностью 33,5 МПа и 45,8 МПа.

Образцы 2-ух серий армировались рабочей продольной арматурой в виде четырех стержней диаметром 25 мм класса S500 (Ат500С), с одним типом соединения концов стержней, представленным на рис. 2. Обе серии колонн испытывались на центральное сжатие. Варьируемым фактором экспериментального исследования было принято расположение данных стыков в опытных образцах. Три вида расположения соединительных муфт использовались для колонн:

- 4 стыковых соединения в одном уровне;
- 4 стыковых соединения со смещением;
- 2 стыковых соединения и 2 цельных стержня.

Поперечное армирование колонн выполнялось гнутыми хомутами, огибающими рабочую продольную арматуру. Соединения продольной арматуры и хомутов осуществлялось вязальной проволокой.

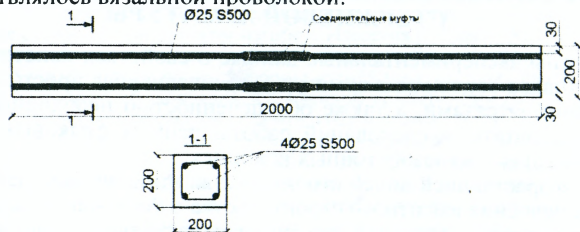
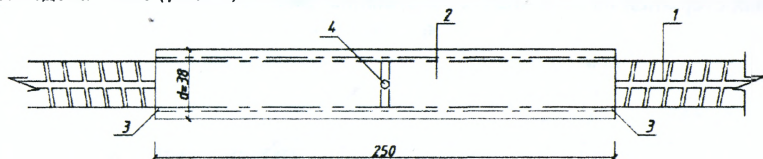


Рисунок 1 – Схема продольного армирования образцов колонн

В торцах колонн использовались оголовки с торцевыми пластинами, приваренными к продольной арматуре.

Предложенная конструкция муфтового стыкового механического соединения приведена ниже (рис. 2).



1 – стыкуемые арматурные стержни $\varnothing 25$ S500; 2 – муфта из трубы $d=38$ мм со стенкой толщиной 4 мм; 3 – полимерная композиция, наполнитель – песок кварцевый; 4 – отверстие диаметром 3 мм

Рисунок 2 – Конструкция муфтового соединения стержневой арматуры

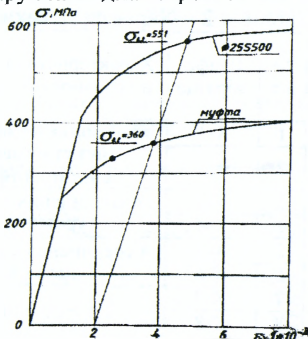
Данный тип характеризуется простотой устройства и минимальными затратами на изготовление [3, 4]. Выбор связующего материала в составе стыка в виде полимерной композиции на основе эпоксидной смолы обусловлен возможностью получения высокопрочного быстротвердеющего в течение суток материала. Длина соединения в данном исходном сочетании принята равной 250 мм (10 диаметров стыкуемых стержней) на основании результатов испытаний при растяжении образцов соединений с разной длиной муфты. При длине трубы – муфты $10\varnothing 25$ испытания показали стабильные значения разрыва по среднему сечению соединения при усилиях, соответствующих временному сопротивлению стали трубы. Механические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние значения механических характеристик стали

Марка стали	Условный предел текучести, σ_{02} МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_{max} МПа	Площадь поперечного сечения, cm^2 As
S500	551	687	4,9
S300	360	504	4,27

Вся экспериментальная часть работы проводилась с данным типом механического соединения. В работе использовались арматурные стержни диаметром 25 мм, плавка 10103 A500СП, изготовленные по ТУ 14-1-5497-2004, производства РУП "Белорусский металлургический завод". По показателям испытаний на растяжение, средние значения предела текучести стали 551 МПа, временное сопротивление разрыву 687 МПа, что соответствует требованиям, предъявляемым к арматуре класса S500(A500). Для изготовления муфты использовалась стальная электросварная труба производства ОАО Московского трубного завода «Филит», сделанная согласно ГОСТ 8734-75, наружным диаметром 38 мм и толщиной стенки 4 мм. На внутренней поверхности трубы были нарезаны выступы глубиной 1–1,5 мм для улучшения сцепления. По результатам испытаний на растяжение средние значения предела текучести стали муфты 360 МПа, временное сопротивление разрыву 504 МПа, что соответствует требованиям, предъявляемым к арматуре класса S300(A300). Построена диаграмма деформирования для стали основных стержней и стали муфты (рис. 3).

Рисунок 3 – Диаграмма деформирования стали основных стержней и стали трубы муфты



При сжатии деформации в сечениях муфты значительно меньше деформаций стыкуемых стержней на всех этапах нагружения (рис. 4).



Рисунок 4 – Диаграммы деформирования образца стыкового соединения при сжатии (а) и растяжении (б)

Объяснением этому служит меньшая интенсивность напряжения на большей площади сечения. В переходных зонах, в начале и в конце муфты, образуется градиент деформаций, связанный с процессом перераспределения усилий между стыкуемыми стержнями и муфтой. Именно в этих зонах наблюдается искривление образца в момент потери устойчивости при достижении предельных усилий на сжатие.

Бетонирование колонн выполнялось на базе Полоцкого государственного университета. Бетон изготавливался на ПРУП «Новополоцкжелезобетон» и доставлялся в испытательную лабораторию УО ПГУ в виде готовой смеси. Бетонирование образцов происходило в лаборатории УО ПГУ. Уплотнение бетонной смеси при укладке в опалубку производилось глубинным вибратором и штыкованием.

Опытные образцы колонн испытывались на гидравлическом прессе с максимальным усилием сжатия 1000 т. Для равномерности передачи усилия на колонну, непосредственно перед проведением эксперимента, между оголовками колонн и плитами пресса укладывался слой цементно-песчаного раствора. Приложение нагрузки к колоннам осуществлялось ступенями – $0,1N_{разр}$ с выдержкой 10 мин. Поперечные и продольные деформации бетона замерялись в зоне стыка с помощью тензодатчиков и индикаторов часового типа. Ширину раскрытия трещин измеряли микроскопом МПБ-2.

Таблица 2 – Характеристики опытных образцов – колонн

№ п/п	Шифр образца	Характеристика образца и условное обозначение	Призмная прочность бетона, МПа	Разрушающая продольная сила, кН
1	К-1	контрольные образцы без стыковых соединений (●)	33,5	2100
2	К-2		45,8	2420
3	К-3	4 соединения в одном уровне (x)	33,5	2140
4	К-4		45,8	2500
5	К-5	4 соединения со смещением (▲)	45,8	2400
6	К-6		45,8	2490
7	К-7	2 соединения (v)	45,8	2450
8	К-8		33,5	2200

По результатам обработки проведенных измерений были построены графики, отражающие зависимость поперечных относительных деформаций бетона колонн от прикладываемой нагрузки (рис. 5).

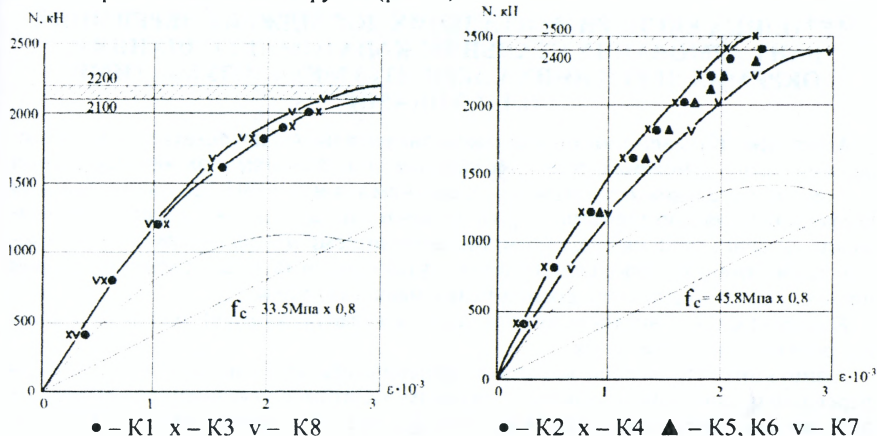


Рисунок 5 – Относительные поперечные деформации бетона опытных образцов колонн

Заключение

Проведя данное экспериментальное исследование, авторы сделали следующие выводы:

1. Установлен характер распределения деформаций по длине опытных образцов муфтовых соединений и его податливость в виде линейных перемещений стыкуемых стержней относительно муфты. Определены участки, создающие концентрации деформаций по длине стыка.
2. Экспериментальные испытания колонн с муфтовыми соединениями позволили определить прочность опытных образцов колонн при центральном сжатии.
3. Размещение стыкового соединения в сжатой зоне не привело к образованию дополнительных значительных деформаций в бетоне и не повлияло на прочность, сопротивление образованию и раскрытию трещин, на жесткость опытных железобетонных колонн.
4. Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать новую конструкцию муфтового стыкового соединения арматуры к практическому применению.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лешкевич, О.Н. Результаты испытаний сварных и механических стыковых соединений арматуры класса S500 / О.Н. Лешкевич, А.И. Чубрик // Строительная наука и техника. – 2010. – № 6. – С. 130–133.
2. Дьячков, В.В. Механические соединения арматуры – применение и тенденция развития // Бетон и железобетон. – 2013. – № 4. – С. 8–9.
3. Устройство для соединения концов арматуры: пат. 2930 Респ. Беларусь, E04C5/16/ В.В. Чупров, Ю.В. Попков, В.И. Сидоренко; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № U20060002; заявл. 03.01.2006; опубл. 31.08.2006// Афішыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 4 – С. 173.
4. Устройство для соединения концов арматуры: пат. 3091 Респ. Беларусь, E04C5/16/ В.В. Чупров, Ю.В. Попков, В.И. Сидоренко; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № U20060201; заявл. 03.04.2006; опубл. 30.10.2006// Афішыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 2006. – № 5 – с. 162.