

УДК 624.012.454

**БЕССВАРНЫЕ МУФТОВЫЕ СТЫКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ
В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

*канд. техн. наук, доц. Ю.В. ПОПКОВ, В.В. ЧУПРОВ,
канд. техн. наук А.А. ХОТЬКО, канд. техн. наук А.И. КОЛТУНОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Представлены результаты исследований новой конструкции механического стыкового соединения, отличающейся от известных аналогов более простым устройством и обеспеченностью необходимой прочностью, а также универсальности при знакопеременных нагрузках. Установлены характер распределения деформаций по длине опытных образцов соединения и его податливость в виде линейных перемещений стыкуемых стержней относительно муфты. Определены участки, создающие концентрации деформаций по длине стыка. Получены экспериментальные данные о прочности и деформативности нового бессварного стыкового муфтового соединения арматуры и разработаны рекомендации по практическому его использованию в железобетонных конструкциях. Показана необходимость для Республики Беларусь в активном освоении в практике строительства механических способов стыкования арматурных стержней взамен энерго- и материалоемких сварных и нахлесточных.

Актуальность и цель работы. Одним из перспективных направлений научных изысканий в области железобетона является разработка и усовершенствование механических соединений арматуры различного рифления поверхности для сборных, преднапряженных и особенно монолитных конструкций. Основное применение в большинстве случаев изготовления железобетонных конструкций имеют две группы стыковых соединений продольной рабочей арматуры: сварные и нахлесточные.

К недостаткам стыковых соединений электродуговой ручной сваркой с накладками типов С21, С22, С23 по ГОСТ 14098 [1], имеющих наиболее широкое применение, относятся: большая энерго- и трудоемкость, высокая стоимость работ, необходимость привлечения высококвалифицированных специалистов как по сварке, так и по контролю качества исполнения. Кроме того, в результате высокотемпературного воздействия при сварке термически и термомеханически упрочненных сталей происходит потеря эффектов упрочнения в зоне влияния сварки. В итоге свойства исходного металла в зоне термического влияния сварки резко различаются. Разупрочнение арматурной стали может быть связано не только с разупрочнением околосшовной зоны сварных соединений в результате интенсивного нагрева, но и с недостаточной прочностью зоны сплавления основного металла с наплавленным. Механические свойства арматуры в зоне термического влияния, а также ее протяженность зависят от вида и режима сварки, параметров сварного соединения и химического состава стали.

Более простым способом является соединение арматуры внахлестку без сварки, когда усилия с одного стыкуемого стержня на другой передаются силами сцепления через окружающий бетон. К существенным недостаткам нахлесточных соединений относятся: значительный перерасход арматуры за счет перепуска стержней, достигающий 20 %; необходимость установки дополнительной поперечной арматуры в зоне соединения; затруदनение бетонных работ в густоармированных конструкциях вследствие скопления в одном сечении (в зоне соединений) большого количества стержней, в некоторых случаях это вызывает необходимость увеличения размеров поперечного сечения элементов. В отдельных конструкциях соединения внахлестку вообще не допускаются.

В ряде зарубежных стран используются способы механического соединения арматурных стержней, выполненные без применения сварки. Одной из разработок взамен трудоемких и дорогостоящих сварных и нахлесточных стыков предлагается соединение стержней опрессованными стальными муфтами из толстостенной горячекатаной трубы. Такие стыковые соединения применяются во многих странах мира (США, Германии, Канаде, Великобритании и др.). Экспериментальные исследования и практическое внедрение, основанное на нормативной базе, реализовано в последние годы в России (НИИЖБ) [2 – 8].

Согласно информации Американского Института Бетона [11 – 14] все известные виды механических соединений подразделяются по признаку основного их назначения: работающие на растяжение; работающие только на сжатие; универсальные, предназначенные для работы и на сжатие, и на растяжение.

Однако при всех очевидных достоинствах данных механических устройств для их использования необходима специальная сложная технологическая оснастка, в случаях применения муфт и рукавов или наличия арматурных стержней винтового профиля [7].

Целью настоящей работы ставилось получение экспериментальных данных о прочности и деформативности нового бессварного стыкового муфтового соединения арматуры и разработка рекомендаций по практическому его использованию в железобетонных конструкциях.

Прочность и деформативность новых стыковых соединений арматуры. Нами предложена новая конструкция муфтового стыкового механического соединения (рис. 1), отличающаяся от известных прототипов простотой устройства и минимальными затратами на изготовление. 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.

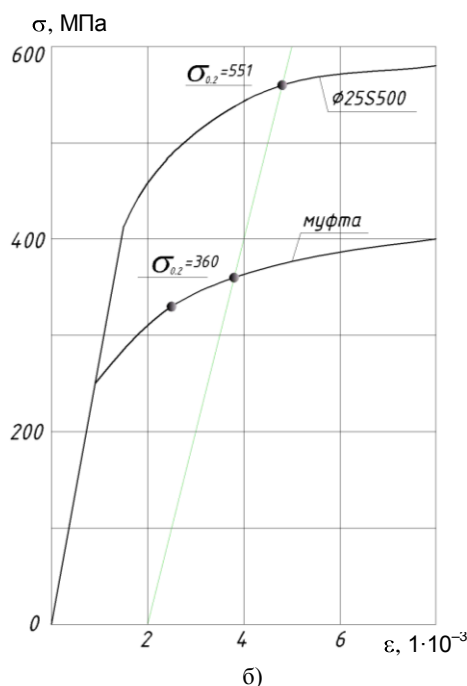
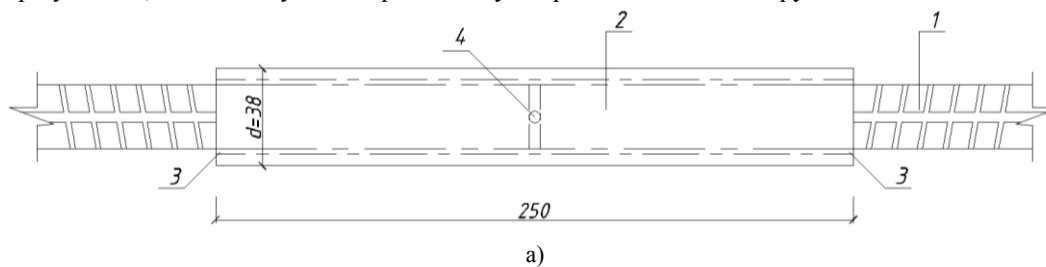


Рис. 1. Конструкция муфтового соединения стержневой арматуры (а) и диаграмма деформирования образцов стыкуемых стержней и трубы при растяжении (б):
 1 – стыкуемые арматурные стержни $\varnothing 25$ S500 ($A_s = 4,9 \text{ см}^2$; $\sigma_{\max} = 687 \text{ МПа}$; $\sigma_{02} = 551 \text{ МПа}$);
 2 – муфта из трубы $d = 38 \text{ мм}$ со стенкой толщиной 4 мм ($A = 4,27 \text{ см}^2$; $\sigma_{\max} = 504 \text{ МПа}$; $\sigma_{02} = 360 \text{ МПа}$);
 3 – полимерная композиция (смола эпоксидная ЭД-20, отвердитель ПЭПА, наполнитель – песок кварцевый);
 4 – отверстие диаметром 3 мм

Не менее важное значение, наряду с прочностью, имеют характеристики деформативности стыкового соединения арматурных стержней. Для изучения особенностей распределения деформаций по длине и перемещений стыкуемых стержней относительно муфты (податливость стыка) проведены испытания образцов соединения нагружением до разрушения. В ходе испытаний на растяжение и сжатие соответственно в разрывной машине Р-50 и прессе П-125 при постоянной скорости нагружения контролировались деформации в отдельных точках образцов при помощи тензорезисторов типа ПКБ с базой 20 мм. Линейные перемещения стыкуемых стержней относительно муфты измерялись рычажными механическими тензомерами Гугенбергера с точностью 0,001 мм.

В результате обработки результатов испытаний на растяжение и сжатие (по 5 изделий каждой серии) получены диаграммы деформирования элементов стыка и значения перемещений стыкуемых стержней относительно муфты. Распределение деформаций по длине опытных образцов стыка имеет неравномерный характер (рис. 2). При сжатии на всех этапах нагружения деформации в сечениях муфты значитель-

но меньше деформаций стыкуемых стержней (рис. 2, 3), что объясняется меньшей интенсивностью напряжений на большей площади сечения. В переходных зонах, в начале и в конце муфты, (рис. 2, а) образуется градиент деформаций, связанный с процессами перераспределения усилий между стыкуемыми стержнями и муфтой. Именно в этих зонах наблюдается искривление образца в момент потери устойчивости при достижении критических сжимающих усилий.

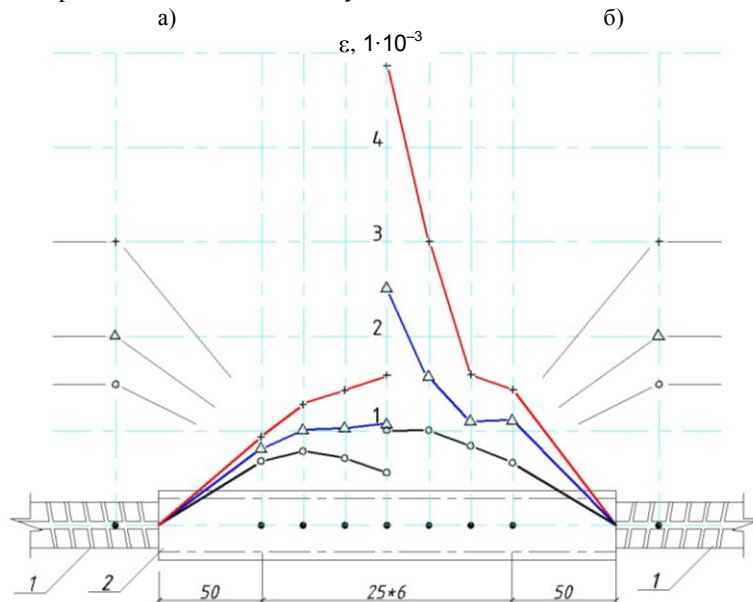


Рис. 2. Диаграммы деформирования образца стыкового соединения при сжатии (а) и растяжении (б):
 1 – стыкуемые арматурные стержни; 2 – муфта-труба;
 ○ – деформации при уровне нагружения $0,5N_{max}$; △ – то же при $0,7N_{max}$; + – то же при $0,9N_{max}$

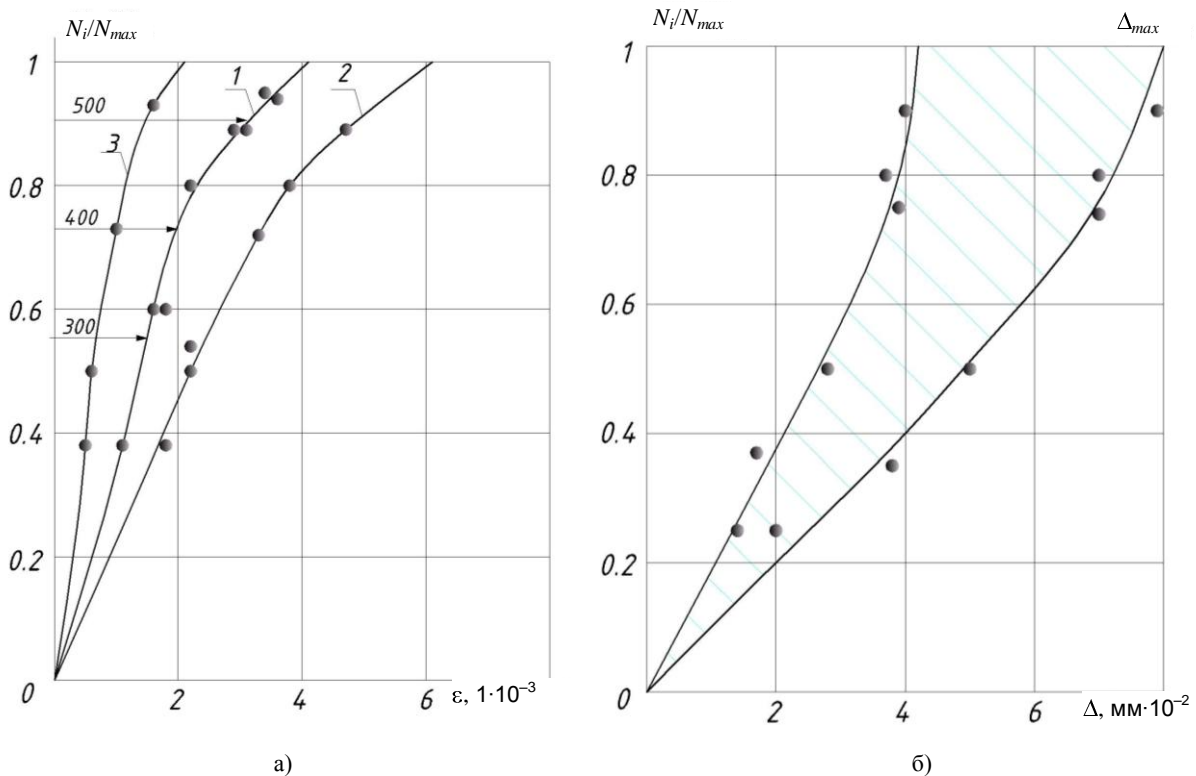


Рис. 3. Диаграммы деформирования элементов стыкового соединения (а) и зависимость перемещений стыкуемых стержней относительно муфты (б) при сжатии (податливость соединения при сжатии):
 1 – стыкуемые стержни; 2 – средние деформации стыка с учетом податливости соединения;
 3 – наиболее нагруженное сечение муфты

При растягивающих усилиях на начальных стадиях нагружения (до $0,5N_{max}$) характер распределения деформаций по длине стыка (рис. 2, б) аналогичен характеру распределения при испытаниях на сжатие. На более высоких стадиях нагружения, приближающихся к разрушающей, отчетливо проявляется зона анкеровки, за счет работы сил сцепления на участках интенсивной передачи усилий между стержнями и муфтой, а также образуется зона нелинейного опережающего деформирования середины стыка, где происходит в дальнейшем разрыв вследствие достижения временного сопротивления стали муфты.

Деформации (ε) в элементах соединения и перемещения стыкуемых стержней (Δ) относительно муфты по величине и характеру развития при сжатии (см. рис. 3) имеют некоторые отличия от деформаций и перемещений при растяжении (рис. 4).

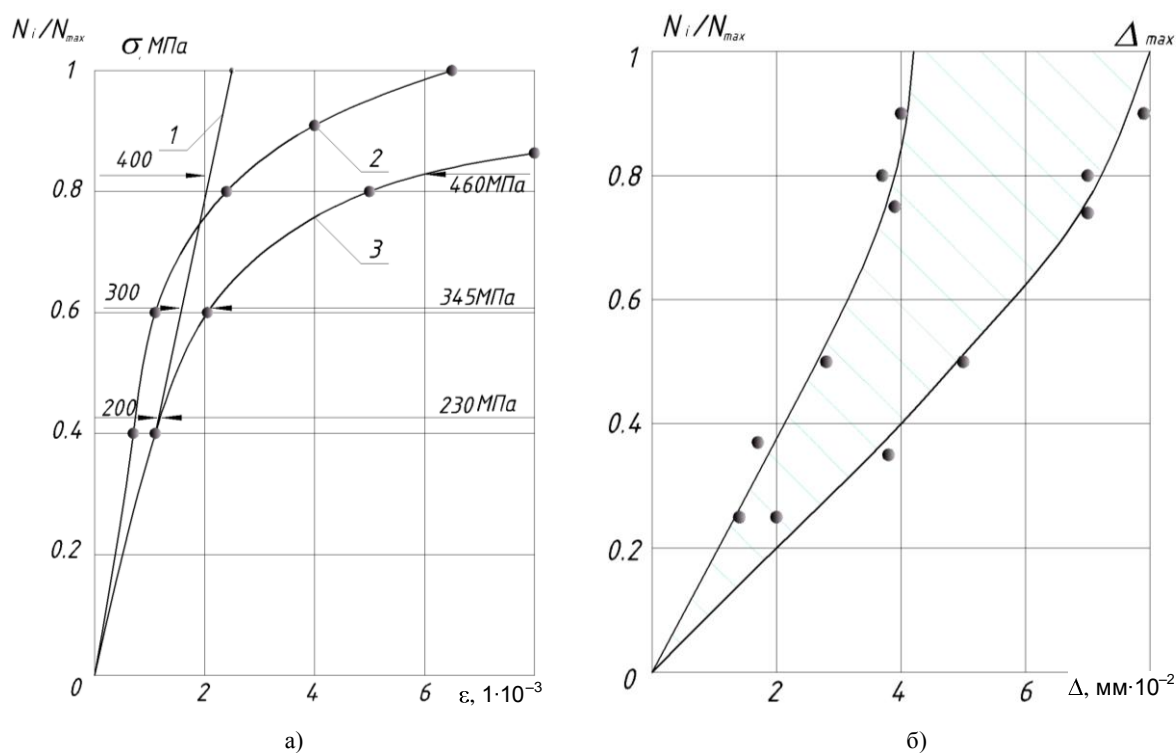


Рис. 4. Диаграммы деформирования элементов стыкового соединения (а) и зависимость перемещений стыкуемых стержней относительно муфты (б) при растяжении (податливость соединения при растяжении):

1 – стыкуемые стержни; 2 – средние деформации стыка с учетом податливости соединения; 3 – наиболее нагруженное сечение муфты

Зависимость « $N_i/N_{max} - \Delta$ » при сжатии опытных образцов стыков до уровня нагружения, равного $0,7N_{max}$, имеет линейное очертание, а при дальнейшем нагружении переходит в нелинейное, отображающее затухающий характер развития перемещений до значений $\Delta = 0,04 \dots 0,08$ мм. При нагружении образцов соединения растягивающими усилиями установлена возрастающая нелинейная зависимость « $N_i/N_{max} - \Delta$ » до значений $\Delta = 0,06 \dots 0,1$ мм. Следовательно, податливость соединения за счет перемещений стержней относительно муфты при действии усилий растяжения в 1,3...1,5 раз больше, чем при сжатии. Что вполне объяснимо с позиций механики взаимодействия деталей соединения.

Влияние стыкового соединения арматуры на прочность, трещиностойкость и жесткость железобетонных балок. Задачей следующего этапа исследований ставилось определение влияния стыкового соединения арматуры новой конструкции на работу железобетонной конструкции в разных стадиях напряженно-деформированного состояния. Планом эксперимента (таблица) предусматривалось изготовление и испытание опытных образцов-балок (рис. 5), отличающихся расположением стыковых соединений: либо в сжатой зоне, либо в растянутой, или в обеих зонах поперечного сечения.

В качестве контрольной серии (для сравнения) рассмотрены образцы-балки без стыковых соединений продольных стержней арматуры. Для балок использован бетон тяжелый заводского изготовления на гранитном щебне фракции 5...10. После набора прочности бетона в лабораторных условиях твердения в течение более 28 суток проведены испытания балок в кратковременном режиме нагружения двумя сосредоточенными силами, приложенными в третях пролета с помощью распределительной траверсы и гидравлического домкрата ДГ-50 в комплекте с ручной насосной станцией НСР-400. На этапах нагруже-

ния проводились измерения прогибов приборами БПАО, деформаций – механическими тензотрами на базе 300 мм с точностью 0,01 индикаторами ИЧ-10 и тензорезисторами типа ПКБ, приклеенными на поверхность бетона с базой измерения 50 мм и на поверхность арматуры с базой измерения 20 мм. Деформации бетона и арматуры, а также ширина раскрытия трещин отсчетным микроскопом МПБ-2 измерялись в сечениях зоны чистого изгиба.

Характеристики опытных образцов-балок

| № п/п | Шифр образца | Характеристика образца | Призменная прочность бетона, МПа | Изгибающий момент от разрушающей нагрузки, кН·м | Условные обозначение |
|-------|--------------|---|----------------------------------|---|----------------------|
| 1 | Б1-1 | Контрольные образцы без стыковых соединений | 23,70 | 78,22 | • |
| 2 | Б1-2 | | 23,70 | 78,00 | |
| 3 | Б2-1с | Соединения в сжатой зоне | 13,20 | 78,78 | ° |
| 4 | Б2-2с | | 23,70 | 79,12 | |
| 5 | Б3-1р | Соединения в растянутой зоне | 23,70 | 63,48 | + |
| 6 | Б3-2р | | 13,20 | 63,51 | |
| 7 | Б4-1ср | Соединения в растянутой и сжатой зоне | 13,20 | 63,42 | Δ |
| 8 | Б4-2ср | | 23,70 | 63,34 | |

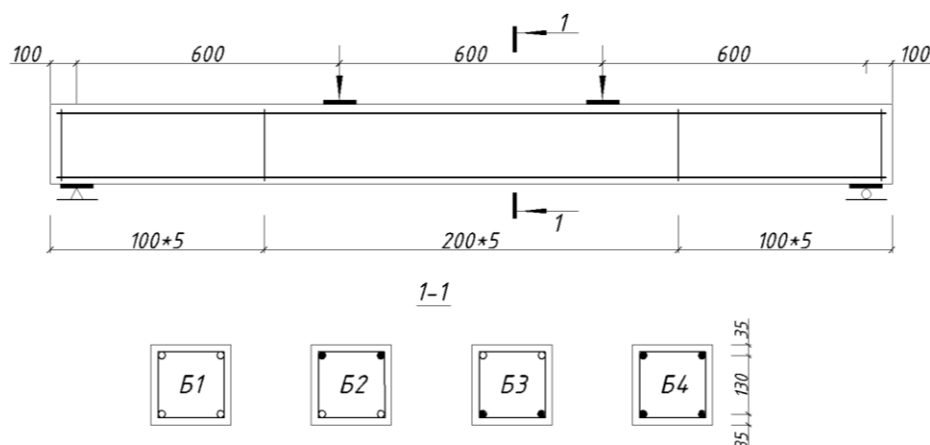


Рис. 5. Конструкция опытных железобетонных балок со стыковыми соединениями продольных стержней

По результатам обработки проведенных измерений построены графики зависимостей ширины раскрытия трещин в наиболее нагруженных сечениях (рис. 6), прогибов балок (рис. 7), деформаций бетона сжатой грани и деформаций арматуры растянутой зоны (рис. 8) от изгибающих моментов испытательной нагрузки.

Общим для всех исследованных параметров является то, что выявилось отчетливое разветвление опытных кривых, характеризующих сопротивление образованию и раскрытию трещин, развитие прогибов и деформаций. Разрушение всех балок происходило в результате достижения предела текучести стали арматуры и растянутой зоны (см. таблицу).

В связи с тем, что предел текучести стали и площадь поперечного сечения муфты меньше этих же показателей стали стыкуемых стержней (см. рис. 1), разрушающая нагрузка балок со стыковыми соединениями в растянутой зоне также меньше, чем у балок контрольной серии. Балки со стыковыми соединениями в сжатой зоне показали прочность, равную прочности контрольных образцов, так как сопротивление сжатию образцов стыковых соединений и контрольных образцов арматурных стержней имели одинаковые значения.

Неравномерность распределения деформаций при сжатии по длине стыкового соединения и его податливость в виде перемещений стыкуемых стержней относительно муфты не привели к образованию дополнительных деформаций в бетоне сжатой зоны и не повлияли на прочность, сопротивление образованию и раскрытию трещин и жесткость балок. Особенности деформирования стыкового соединения при растяжении вызвали снижение показателей прочности, трещиностойкости и жесткости железобетонных балок (см. рис. 6 – 8).

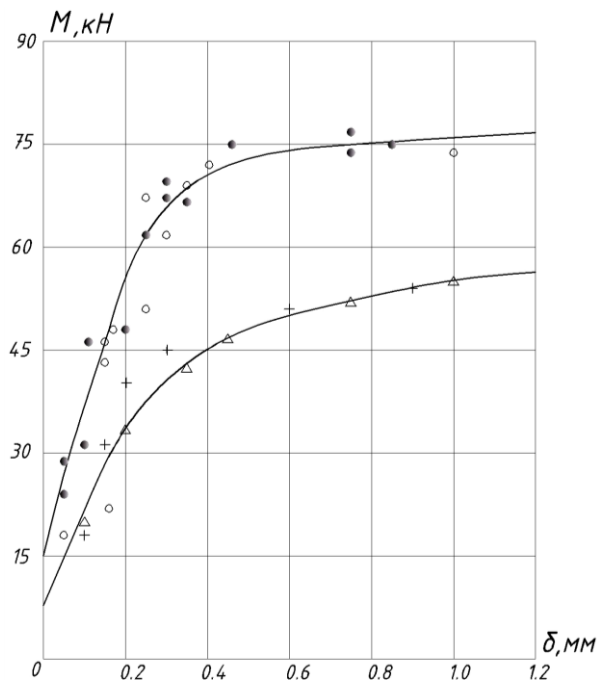


Рис. 6. Зависимость ширины раскрытия трещин (δ) в наиболее нагруженных сечениях опытных образцов-балок от изгибающих моментов (M) испытательной нагрузки (условные обозначения см. таблицу)

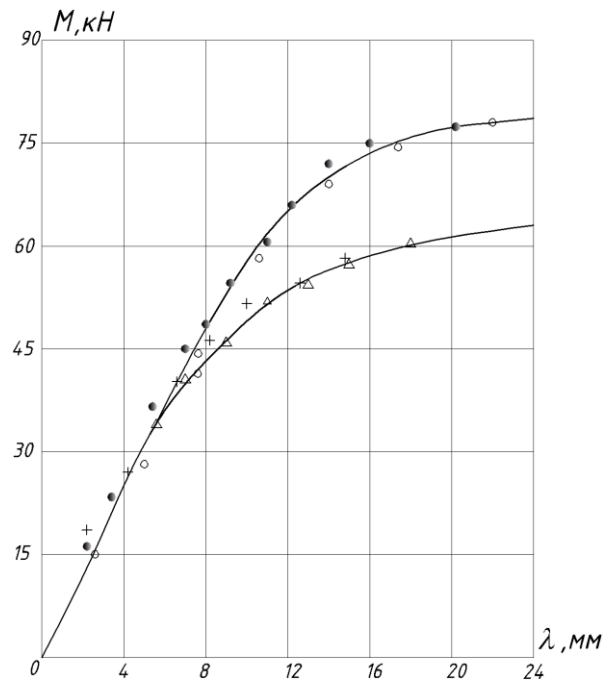


Рис. 7. Зависимость прогибов (λ) опытных образцов-балок от изгибающих моментов (M) испытательной нагрузки (условные обозначения см. таблицу)

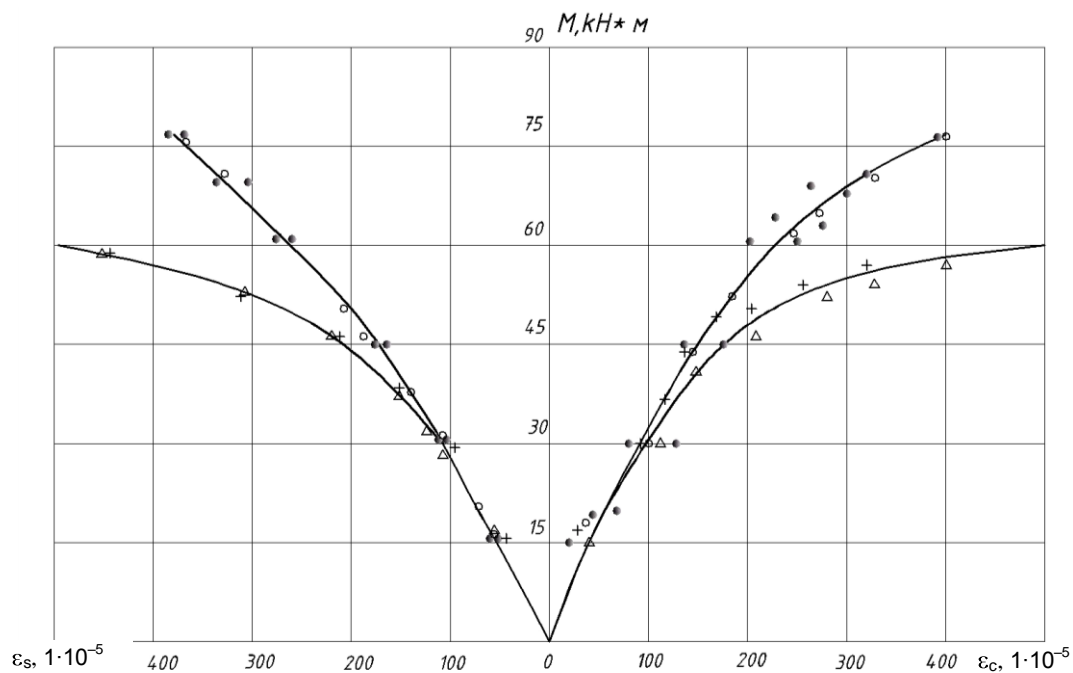


Рис. 8. Зависимость деформаций бетона сжатой грани (ϵ_c) и арматуры растянутой зоны (ϵ_s) опытных образцов – балок от изгибающих моментов (M) испытательной нагрузки (условные обозначения см. таблицу)

Первые трещины в балках со стыками арматуры в растянутой зоне образовывались на более ранних уровнях нагружения по сравнению с контрольными балками. Расположение первых трещин совпадало с границами длины муфты в результате проявления деформаций сдвига стыкуемых стержней относительно муфты. Однако развитие их ограничивалось шириной раскрытия до $0,1 \dots 0,15$ мм, так как более интенсивно раскрылась трещина по сечению, проходящему в середине стыка арматуры по муфте.

Выводы

1. Испытания на растяжение новой конструкции муфтового соединения арматурных стержней в принятой исходной комплектации показали стабильные значения усилий разрыва по среднему сечению, соответствующие временному сопротивлению стали муфты-трубы. Предельная сжимающая нагрузка при потере устойчивости опытных образцов стыка имела значения, близкие к результатам испытаний на растяжение.

2. Установлены характер распределения деформаций по длине опытных образцов соединения и его податливость в виде линейных перемещений стыкуемых стержней относительно муфты. Определены участки, создающие концентрации деформаций по длине стыка.

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, а также на жесткость опытных железобетонных балок.

4. Стыковые соединения арматурных стержней растянутой зоны вызвали существенное снижение показателей прочности, трещиностойкости и жесткости железобетонных балок, что может быть устранено подбором соответствующих параметров муфты.

5. Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать новую конструкцию муфтового стыкового соединения арматуры к практическому применению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры: ГОСТ 14098-91. – Введ. 28.11.91. – М.: Гос. комитет СССР по строительству и инвестициям, 1992. – 37 с.
2. Матков, Н.Г. Стыки арматуры растянутых и сжатых железобетонных элементов без применения сварки и их расчет с использованием диаграмм деформирования / Н.Г. Матков // Бетон на рубеже третьего тысячелетия. – М., 2001. – С. 955 – 963.
3. Несварные обжимные стыки в железобетонных конструкциях / Н.Г. Матков [и др.] // Бетон и железобетон. – 2004. – № 4. – С. 6 – 10.
4. Прочность и деформативность опрессованных растянутых соединений арматуры / С.А. Мадатян [и др.] // Бетон и железобетон. – 2003. – № 3. – С. 13 – 17.
5. Мадатян, С.А. Сжатые железобетонные элементы с механическими соединениями рабочей арматуры / С.А. Мадатян, В.В. Дьячков // Бетон и железобетон. – 2007. – № 4. – С. 16 – 20.
6. Узел стыкового соединения стержней арматуры в сжатых железобетонных элементах / С.А. Мадатян [и др.] // Бетон и железобетон. – 2008. – № 2. – С. 2 – 5.
7. Дьячков, В.В. Прочность и деформативность резьбовых механических соединений арматуры / В.В. Дьячков // Бетон и железобетон. – 2006. – № 1. – С. 11 – 14.
8. Заблудовский, Г.Г. Разработка, исследование и освоение промышленной технологии производства соединительных элементов для винтовой арматурной стали методом пластической деформации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Г.Г. Заблудовский. – Днепропетровск, 1993. – 20 с.
9. 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 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 4 – С. 173.
10. 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 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 5. – С. 162.
11. ACI 318. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. – Farmington Hills. American Concrete Institute. 1985. – 21p.
12. Mechanical Connections of Reinforcing Bars // ACJ Structural Journal. – 1991. – № 2. – P. 88.
13. MacGregor, J.G. Reinforced Concrete / J.G. MacGregor // Mechanics and Design. – 2nd, ed Prentice-Hall, Englewood Cliv., NJ, 1992. – P. 450 – 451.
14. James, R. Cagley and Richard Apple. Comparing costs – butt splices versus lap splices / R. James // Concrete International. – 1998. – July. – P. 55 – 56.

Поступила 29.05.2009