

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЫКОВ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
НА ОБЖИМНЫХ МУФТАХ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ**

**EXPERIMENTAL STUDIES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
JOINTS ON SUSPENSION COUPLINGS
BY NON-DESTRUCTIVE METHODS OF CONTROL**

Д.Г. КОПАНИЦА, А.Г. ТАМРАЗЯН, Э.С. УСЕИНОВ, Я. РЫБАК
D.G. KOPANITSA, A.G. TAMRAZYAN, E.S. USEINOV, J. RYBAK

(Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Вроцлавский технологический университет, Республика Польша)
(Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Wroclaw University of Technology, Republic of Poland)
E-mail: tamrazian@mail.ru

При разработке новых строительных конструкций, устойчивых к сейсмическим воздействиям, как правило, предпочтение отдается не сварным механическим соединениям элементов конструкций. Методами разрушающего контроля (в условиях сжатия и растяжения) исследовались поля напряжений и диаграммы деформирования соединения арматурных стержней обжимными муфтами. Особенности данного вида соединения арматурных стержней исследовались методом неразрушающего контроля – цифровой рентгенографией. Поведение таких соединений в реальных конструкциях (соединения двух колонн, ригелей с колоннами) изучалось в условиях статических и динамических нагрузений.

The paper presents investigations in the field of new building design with a glance to earthquake-resistance. In this case, mechanical splice is more preferable for reinforcing steel. Non-destructive testing techniques (under compression and tension) are used to investigate stress fields and stress-strain diagrams of bar grip mechanical splices that are tested by the radiometric method. The behavior of mechanical splices in real structures (beam to column joints) is studied under static and dynamic loads.

Ключевые слова: механическое соединение арматуры, разрушающий контроль, неразрушающий контроль, узлы сопряжения несущих конструкций, статические и динамические испытания.

Keywords: mechanical splice of reinforcement, destructive testing, non-destructive testing, beam-column joints, static and dynamic test loads.

Как известно, в строительстве основным способом соединения стержневой арматуры являются сварка и соединение "внахлест". Требования технологичности и надежности к стыкам арматурных стержней в монолитном строительстве способ-

ствовали разработке нового типа механических соединений с применением обжимных муфт. Экспериментальные и теоретические исследования стыков арматурных стержней с применением обжимных муфт, проведенные в работах [1...3] и др., легли в

основу технических условий и рекомендаций по механическому соединению арматурных стержней для железобетонных конструкций [4]. В современном строительстве, когда повышаются требования по эксплуатационной безопасности сложных сооружений, в том числе зданий текстильной промышленности и повышенной устойчивости этих сооружений в условиях сейсмических и других динамических воздействий, а также в условиях повышенных температур, механические соединения стержневой арматуры на обжимных муфтах могут получить широкое распространение [5...8]. Основным показателем качества такого арматурного соединения – это его равнопрочность. Условие равнопрочности в данном случае выполняется, когда при действии разрушающих нагрузок разрушение происходит по свободному сечению арматуры, а не по обжимной муфте. В связи с тем, что в реальных строительных конструкциях такое соединение подвергается самым различным воздействиям, в лабораторных условиях были проведены исследования поведения соединения арматурных стержней обжимными муфтами при действии растягивающих и сжимающих сил, а также фрагментов строительных конструкций на действие эксплуатационных статических и кратковременных динамических воздействий [9].

Достоинством метода механического соединения арматурных стержней обжимными муфтами является то, что в отличие от сварки, когда требуется полный контроль качества сварных швов, допускается проводить контроль на стадии отработки технологии, либо по выборочным узлам. При этом в конструкциях зданий и сооружений высокого уровня ответственности контроль соединений арматурных стержней, выполненных при помощи обжимных муфт, возможен только рентгенографическим методом неразрушающего контроля [10].

Экспериментальные исследования механических соединений арматурных стержней при помощи обжимных муфт методами механических (разрушающих) испытаний и неразрушающего контроля позволяют не только оценить прочностные характери-

стики таких соединений, но и спрогнозировать их поведение в сложных эксплуатационных условиях, например, при действии сейсмических воздействий.

В качестве обжимных муфт для соединения арматурных стержней периодического профиля используются стальные бесшовные горячедеформированные или холоднодеформированные трубы по ГОСТу 8732–78 и ГОСТу 8734–74, материал Ст10, Ст15, Ст20 по ГОСТу 1050–88. В исследуемых конструкциях предусмотрена рабочая арматура диаметром 28 мм класса А500СП, для соединения которой предусмотрены обжимные муфты СО500-28РП с наружным диаметром от 48 до 53 мм, с внутренним диаметром до 32 мм, согласно ТУ 4848 026-77625325 – ГЛЮУ (ЗАО "ТД Энерпром"). Обжатие осуществляется прессом арматурным ПА-80 с рабочим давлением обжатия 800 атм.

Испытания на разрыв проводили на автоматизированной разрывной машине МР-500 с максимальным усилием растяжения 500 кН (50 тс). Нагрузку создавали по линейному закону со скоростью загрузки не более 1 кН/с.

По результатам проведенных испытаний на растяжение соединения арматурных стержней обжимными муфтами замечено, что разрушение происходит по достижении арматурой предела текучести с образованием "шейки" при использовании обжимной муфты с наружным диаметром 53 мм (в соответствии с ТУ 4848 026-77625325), что говорит о переходе арматуры в пластическую стадию. При использовании обжимных муфт с наружным диаметром 47,8 и 48 мм в одном случае произошло разрушение также по достижении в арматуре предела текучести, а во втором случае частичное проскальзывание арматурного стержня в теле муфты, что недопустимо. Уточним, что в соответствии с ТУ 4848 026-77625325 и РД ЭО 0657-2006 "Положение по применению механических соединений арматуры для железобетонных конструкций зданий и сооружений атомных станций" для соединения арматурных стержней диаметром 28 мм обжимными муфтами необходимо использовать обжимные муфты с наруж-

ным диаметром 51...53 мм. Объективность данных требований была подтверждена экспериментально проведенными исследованиями.

Испытание образцов на сжатие (рис. 1) осуществлялось на универсальной испытательной машине UTM 4500 (GTCS, USA) с максимальным сжимающим усилием 450 тс. Нагрузка, создаваемая испытательной машиной UTM 4500 по линейному закону, не превышала скорости 1 кН/с.

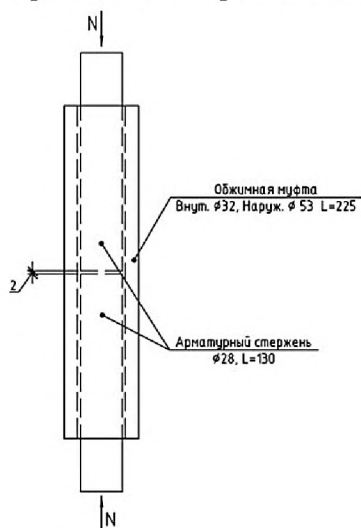


Рис. 1

Результаты испытаний представлены в виде диаграммы деформирования "деформации-время" (рис. 2). Красным цветом показана кривая средних деформаций по всему образцу. Все остальные показывают значения деформации экстензометров, установленных по высоте образца.

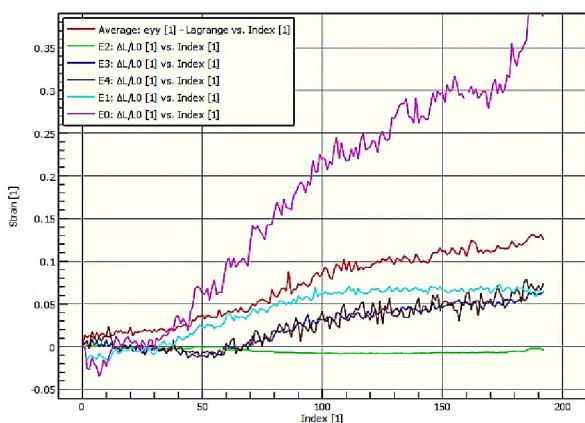


Рис. 2

Данные диаграмм показали, что применение обжимных муфт для соединения арматурных стержней обеспечивает работу арматуры без проскальзывания.

Контроль соединения неразрушающим методом. Отработка технологии производства соединения арматуры анализируемым способом невозможна без применения неразрушающих методов испытаний [11], [12]. В силу особенностей объекта испытаний (ОИ) единственным методом, с помощью которого можно исследовать ОИ, является цифровая радиография. В качестве источника фотонного излучения могут быть использованы радиоизотопы, рентгеновские аппараты и бетатроны. Для оценки принципиальной возможности анализа соединения арматуры на предмет выявления дефектов были получены радиографические изображения двух тестовых образцов ОИ. Изображения сформированы с помощью цифровой радиографической системы на основе рентгеновского аппарата, излучающего фотоны с максимальной энергией 160 кэВ. Для уменьшения доли низкоэнергетических рентгеновских фотонов в спектре излучения поток отфильтровывали пластинами меди толщиной 2 и 4 мм. Используемая максимальная энергия рентгеновского излучения далека от оптимальной, поэтому для улучшения отношения "сигнал-шум" результирующее радиографическое изображение получалось усреднением 16 кадров. Рентгеновское излучение регистрировали с помощью матричного детектора Remote RadEye 200 с размером пикселя 96 мкм. Объект испытаний был максимально приближен к матрице детекторов, поэтому геометрическое увеличение было незначительным. Эффективный размер пикселя составил 88...90 мкм.

Сопоставление двух картин теневого радиографического изображения муфтового соединения с максимальным поперечным размером 47 мм (наружный диаметр обжимной муфты) и 51 мм показывает, что муфта с большим внешним диаметром более плотно обжимает соединяемые арматурные стержни.

Анализ результатов рентгенографического исследования.

1. С высокой точностью (не менее чем 0,1 мм) можно измерить расстояние между двумя соединяемыми фрагментами арматуры, которое изменяется от 0,704 до 1,6 мм. Для второго образца указанное расстояние изменяется в пределах от 1,6 до 2,05 мм.

2. Появляется возможность измерения отклонения плоскостей торцов фрагментов арматуры, соединяемых друг с другом, с пиксельной, а с учетом граничных эффектов – и субпиксельной точностью.

3. В результате обработки радиографической информации можно оценить и дополнительные геометрические характеристики исследуемого соединения арматуры, например, конечную длину и профиль обжатой муфты и т.п.

Заметим, что заключение о дефектности или отсутствии дефектов соединения возможно только на основе необходимой нормативно-технической документации. При отсутствии такой документации она должна быть разработана с учетом сопоставления радиографических изображений соединения арматуры с помощью обжимных гильз с результатами механических испытаний соединения.

Экспериментальные исследования узлового сопряжения колонны и ригеля.

Испытания узлов сопряжения колонны и ригеля конструктивной системы "КУПАСС" на действие статических нагрузок проводили в соответствии с ГОСТом 8829–94 "Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением" и программы испытаний, разработанной специалистами лаборатории испытаний строительных конструкций кафедры "Железобетонные и каменные конструкции" Томского государственного архитектурно-строительного университета [13], [14].

Нагружение при проведении экспериментальных исследований стыка ригель-колонна по системе "КУПАСС" производили этапами, равными долями с величиной нагружения, составляющей 10% от разрушающей нагрузки. Исследования проводили для определения прочности,

жесткости и трещиностойкости конструкции. Между этапами осуществляли выдержку в 10 мин для релаксации напряжений в конструкциях стыка, а на контрольных этапах (при определении прочности, жесткости и трещиностойкости) осуществляли выдержку в течение 30 мин согласно ГОСТу 8829–94.

По результатам проведенных экспериментальных исследований на прочность, жесткость и трещиностойкость [15] стыка ригель-колонна, собранного по конструктивной системе "КУПАСС" [16], сделан вывод о том, что соединение рабочей арматуры посредством механического обжатия стальными муфтами по ТУ 4848 026-77625325 обеспечивает надежность выполнения данного узла.

ВЫВОДЫ

1. Соединение арматуры механическим методом обжимными муфтами при выполнении требований ТУ 4848 026-77625325 обеспечивает надежное соединение, при котором разрушение происходит вне стыка по сечению арматуры, а не по узлу соединения.

2. Рентгенография как неразрушающий метод контроля качества выполнения соединения арматуры механическим методом обжимными муфтами показывает объективные данные, позволяющие контролировать качество сборки строительных конструкций без применения разрушающих методов, что значительно упрощает процесс контроля качества строительства.

3. Применение в строительных конструкциях обжимных муфт для соединения рабочей арматуры обеспечивает надежное армирование узлов, позволяющих проектировать и возводить здания и сооружения в сейсмически опасных районах, испытывающих как статические, так и кратковременные динамические воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Матков Н.Г.* Стыки арматуры растянутых и сжатых железобетонных элементов без применения сварки и их расчет с использованием диаграмм деформирования // Бетон на рубеже третьего тысячелетия. – 2001. С. 955...963.

2. Мадатян С.А., Дьячков В.В. Сжатые железобетонные элементы с механическими соединениями рабочей арматуры // *Бетон и железобетон*. – 2007, №4. С. 16...20.

3. Клочанов И.Е. Особенности работы изгибаемых железобетонных конструкций с муфтовыми соединениями арматуры // *Вестник гражданских инженеров*. – 2014, № 2 (43). С. 32...35.

4. Технические условия. Стыки арматуры периодического профиля, несварные обжимные трубчатые для несущих монолитных и сборных железобетонных конструкций зданий, мостов и сооружений. ТУ 5880-10946854090-2000. – М.: НИИЖБ. 2000.

5. Тамразян А.Г. К перечню комбинированных воздействий при расчете конструкций на особое сочетание // *Межвузовск. сб. научн. тр.: Предотвращение аварий зданий и сооружений* / Под ред. К.И. Еремина. – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. технич. ун-т им. Г.И. Носова, 2003. С.27...33.

6. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns // *Applied Mechanics and Materials*. – V. 475-476, 2014. P.1563...1566.

7. Тамразян А.Г., Аветисян Л.А. Расчет внецентренно-сжатых железобетонных элементов на кратковременную динамическую нагрузку // *Строительство: наука и образование*. – 2013, № 4. С.2.

8. Тамразян А.Г. Ресурс живучести – основной критерий проектных решений высотных зданий // *Жилищное строительство*. – 2010, № 1. С.15...18.

9. Investigations and Non-destructive Testing in New Building Design / V. Klimenov, A. Ovchinnikov, S. Osipov, A. Shtein, A. Ustinov and A. Danilson // *SibTest 2015 IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series*. – 671, 2016.

10. Эйнав И., Артемьев Б., Азизова Е., Азизова А. Неразрушающий контроль в строительстве / Под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Издательский дом "Спектр", 2012.

11. Алхимов Ю.В., Штейн А.М., Касьянов С.В., Бабилов С.А., Батракин А.В., Осипов С.П. Применение и развитие методов цифровой радиографии для технической диагностики неразрушающего контроля и инспекции // *Контроль. Диагностика*. – 2013, №13.

12. Штейн А.М., Чепрасов А.И., Клименов В.А., Князев С.В., Чахлов С.В., Белкин Д.С. Непрерывный контроль крупногабаритных изделий литейного производства // *Изв. вузов. Физика*. – 2013. Т.56, № 1-2. С. 267...270.

13. Балдин И.В., Уткин Д.Г., Балдин С.В. Исследование работы узлов сопряжения колонны и несущих ригелей системы "КУПАСС" // *Вестник Томск. гос. архитектур.-строит. ун-та*. – 2015, № 5 (52). С.72...79.

14. Копаница Д.Г., Капарулин С.Л., Данильсон А.И., Устинов А.М., Усеинов Э.С., Шашков В.В. Динамическая прочность и деформативность узла сопряжения железобетонного каркаса // *Вестник Томск. гос. архитектур.-строит. ун-та*. – 2015, № 5 (52). С.57...63.

15. Hadi M.N.S., Tran T.M. Seismic rehabilitation of reinforced concrete beam-column joints by bonding with concrete covers and wrapping with FRP composites // *Materials and Structures*. – January 2015.

16. Овсянников С.Н., Околичный В.Н. Новая каркасная универсальная полносборная сейсмостойкая конструктивная система // *Мат. Пятой Всероссийск. научн.-практ. конф. с международным участием: Инвестиции, строительство и недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики*. – В 2-х частях / Под ред. Т.Ю. Овсянниковой. – 2015. С. 36...43.

REFERENCES

1. Matkov N.G. Styki armatury rastjanutyh i szhatyh zhelezobetonnyh jelementov bez primenenija svarki i ih raschet s ispol'zovaniem diagramm deformirovanija // *Beton na rubezhe tret'ego tysjacheletija*. – 2001. S. 955...963.

2. Madatjan S.A., D'jachkov V.V. Szhatye zhelezobetonnye jelementy s mehanichesкими soedinenijami rabochej armatury // *Beton i zhelezobeton*. – 2007, №4. S. 16...20.

3. Klochanov I.E. Osobennosti raboty izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij s muftovymi soedinenijami armatury // *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. – 2014, № 2 (43). S. 32...35.

4. Tehnicheskie uslovija. Styki armatury periodicheskogo profilja, nesvarnye obzhimnye trubchatye dlja nesushhih monolitnyh i sbornyh zhelezobetonnyh konstrukcij zdaniij, mostov i sooruzhenij. ТУ 5880-10946854090-2000. – М.: НИИЖБ. 2000.

5. Tamrazjan A.G. K perechnju kombinirovannyh vozdejstvij pri raschete konstrukcij na osooe sochetanie // *Mezhvuzovsk. sb. nauchn. tr.: Predotvrashhenie avarij zdaniij i sooruzhenij* / Pod red. K.I. Eremina. – Magnitogorsk: Magnitogorsk. gos. tehnic. un-t im. G.I. Nosova, 2003. С.27...33.

6. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns // *Applied Mechanics and Materials*. – V. 475-476, 2014. P.1563...1566.

7. Tamrazjan A.G., Avetisjan L.A. Raschet vnecentrenno-szhatyh zhelezobetonnyh jelementov na kratkovremennuju dinamicheskuju nagruzku // *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. – 2013, № 4. S.2.

8. Tamrazjan A.G. Resurs zhivuchesti – osnovnoj kriterij proektnyh reshenij vysotnyh zdaniij // *Zhilishhnoe stroitel'stvo*. – 2010, № 1. S.15...18.

9. Investigations and Non-destructive Testing in New Building Design / V. Klimenov, A. Ovchinnikov, S. Osipov, A. Shtein, A. Ustinov and A. Danilson // *SibTest 2015 IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series*. – 671, 2016.

10. Jejnau I., Artem'ev B., Azizova E., Azizova A. Nerazrushajushhij kontrol' v stroitel'stve / Pod obshh. red. V.V. Kljueva. – М.: Izdatel'skij dom "Spektr", 2012.

11. Alhimov Ju.V., Shtejn A.M., Kas'janov S.V., Babikov S.A., Batranin A.V., Osipov S.P. Primenenie i razvitie metodov cifrovoj radiografii dlja tehnicheckoj diagnostiki nerazrushajushhego kontrolja i inspekcii // Kontrol'. Diagnostika. – 2013, №13.

12. Shtejn A.M., Cheprasov A.I., Klimenov V.A., Knjazev S.V., Chahlov S.V., Belkin D.S. Nepreryvnyj kontrol' krupnogabaritnyh izdelij litejnogo proizvodstva // Izv. vuzov. Fizika. – 2013. T.56, №1-2. S. 267...270.

13. Baldin I.V., Utkin D.G., Baldin S.V. Issledovanie raboty uzlov soprjazhenija kolonny i nesushhih ri-gelej sistemy "KUPASS" // Vestnik Tomsk. gos. arhitekt.-stroit. un-ta. – 2015, № 5 (52). S.72...79.

14. Kopanica D.G., Kaparulin S.L., Danil'son A.I., Ustinov A.M., Useinov Je.S., Shashkov V.V. Dinami-cheskaja prochnost' i deformativnost' uzla soprjazhenija zhelezobetonno karkasa // Vestnik Tomsk. gos. arhitekt.-stroit. un-ta. – 2015, № 5 (52). S.57...63.

15. Hadi M.N.S., Tran T.M. Seismic rehabilitation of reinforced concrete beam-column joints by bonding with concrete covers and wrapping with FRP composites // Materials and Structures. – January 2015, 19p.

16. Ovsjannikov S.N., Okolichnyj V.N. Novaja karkasnaja universal'naja polnosbornaja sejsmostojkaja konstruktivnaja sistema // Mat. Pjatoj Vserossijsk. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem: Investicii, stroitel'stvo i nedvizhimost' kak material'nyj ba-zis modernizacii i innovacionnogo razvitija jekonomiki. – V 2-h chastjah / Pod red. T.Ju. Ovsjannikovej. – 2015. S. 36...43.

Рекомендована Ученым советом МГСУ. Поступила 15.08.17.