Academia. Архитектура и строительство, № 3, стр. 104–111.
Academia. Architecture and Construction, no. 3, pp. 104–111.

Исследования и теория
Научная статья
УДК 691.7
DOI: 10.22337/2077-9038-2026-3-104-111

Исследование равнопрочных механических муфтовых соединений высокопрочной арматуры при однократных динамических нагрузках

Рахманов Виктор Алексеевич (Москва). Кандидат технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН. Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт «ВНИИжелезобетон». Эл. почта: V.Rahmanov@vniizhbeton.ru

Сафонов Александр Александрович (Москва). Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт «ВНИИжелезобетон». Эл. почта: A.Safonov@vniizhbeton.ru

Аннотация: Рассмотрены результаты проведённых в ИЦ «НИЦстром» института «ВНИИжелезобетон» исследований свойств равнопрочных механических муфтовых соединений высокопрочной арматуры класса А500С при статических и однократных динамических нагрузках. Исследования проведены на сервогидравлической испытательной системе SCHENCK. Получены диаграммы деформирования «σ-ε» при статическом и однократном динамическом нагружении равнопрочных механических соединений арматуры.

Ключевые слова: соединение арматуры, испытательная система, статическое и однократное диннамическое нагружение, деформация и удлинение арматуры, класс арматуры, коэффициент динамического упрочнения

Для цитирования. Рахманов В.А., Сафонов А.А. Исследование равнопрочных механических муфтовых соединений высокопрочной арматуры при однократных динамических нагрузках // Academia. Архитектура и строительство. 2026. № 3. С. 104–111. DOI: 10.22337/2077-9038-2026-3-104-111.

Research on Equal-Strength Mechanical Couplings of High-Strength Rebars under Single-Cycle Dynamic Loads

Rakhmanov Viktor A. (Moscow). Candidate of Sciences in Technology, Professor, Corresponding Member of RAACS. Research, Design, and Technological Institute "VNIIzhelezobeton". E-mail: V.Rahmanov@vniizhbeton.ru

Safonov Aleksandr A. (Moscow). Research, Design, and Technological Institute "VNIIzhelezobeton". E-mail: A.Safonov@vniizhbeton.ru

Abstract: The results of studies conducted at the Research Center "NITsStrom" of the All-Russian Research Institute of Reinforced Concrete on the properties of equal-strength mechanical coupling joints of high-strength reinforcement class A500S under static and single-time dynamic loads are considered. The studies were conducted using the SCHENCK servo-hydraulic testing system. The "σ-ε" deformation diagrams were obtained during static and single-time dynamic loading of equal-strength mechanical reinforcement joints.

Keywords: reinforcement connection, testing system, static and single-cycle dynamic loading, reinforcement deformation and elongation, reinforcement class, dynamic hardening coefficient

For citation. Rakhmanov V.A., Safonov A.A. Research on Equal-Strength Mechanical Couplings of High-Strength Rebars under Single-Cycle Dynamic Loads. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2026, no. 3, pp. 104–111, doi: 10.22337/2077-9038-2026-3-104-111.

© Рахманов В.А., Сафонов А.А., 2026

В современных условиях возрастания объёмов строительства специальных сооружений оборонного назначения с использованием монолитного железобетона особенно актуальным являются исследования работы механических соединений арматурной стали при однократных динамических нагрузках при скорости их деформирования эквивалентной скорости распространения взрывной волны.

Скорость (динамичность) воздействия сказывается на характеристиках диаграмм деформирования арматурной стали как в части напряжений, так и в части деформаций. Качественный характер и основные закономерности влияния скорости нагружения на прочностные и деформативные характеристики арматурной стали довольно хорошо изучены. Вместе с тем количественные показатели изменений существенно зависят от режима и скорости воздействия и методики испытаний. Данные о влиянии скорости нагружения на прочностные и деформативные характеристики механических соединений арматурной стали в открытых источниках отсутствуют.

В большинстве исследований механических соединений арматуры (МСА) [1–6] изучались стандартные вопросы их деформативности, временного сопротивления и относительного удлинения соединяемой арматуры. Какие-либо данные для описания диаграмм деформирования при динамических воздействиях высокой интенсивности отсутствуют. В то же время для эффективного использования диаграмм деформирования в расчёте железобетонных конструкций[1], особенно с точки зрения их прочности, требуются полные диаграммы, по крайней мере до временного сопротивления. Это связано с особенностями проектирования специальных конструкций, воспринимающих динамические нагрузки, когда основным требованием является исключение их обрушения, а деформации и ширина раскрытия трещин не ограничиваются.

Целью работы являлось получение и оценка динамических характеристик (напряжений и деформаций) равнопрочных механических соединений арматуры (МСА) с использованием резьбовых муфт с цилиндрической и конусной резьбой различных производителей;

– выбор МСА, обеспечивающих их равнопрочность соединяемой арматуре при однократных динамических воздействиях;

– проведение последующего контроля качества механических соединений, отобранных из арматурных каркасов строящегося спецсооружения.

Критерии равнопрочности контрольных образцов МСА при статических и динамических испытаниях:

– хрупкое разрушение тел соединяемых стержней не допускается;

– разрушение муфтового соединения не допускается;

– разрушение тела соединяемых стержней допускается на расстояниях не менее двух диаметров от пассивной и активной опор испытательной машины, а также от начала и от конца муфтового соединения;

– значение временного сопротивления механического соединения не менее нормативного значения временного сопротивления соединяемой арматуры со статистической обеспеченностью 0,95;

Расчётные значения $P_в$ ($\sigma_в$) определяются (для уровня обеспечения $\alpha = 0{,}95$) по формуле:

$$P_в = P_{вср} - t\frac{S_{Pв}}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

где t – коэффициент Стьюдента, который для уровня обеспечения α = 0,95 и в зависимости от числа результатов измерений n (степеней свободы n–1) определяется по ГОСТ Р 50779.21-2004[2]; $S_{рв(св)}$ – среднее квадратическое отклонение временного сопротивления; n – объём выборки; деформативность муфтового соединения по ГОСТ 34278-2017 и ISO 15835-1[3] не более 0,1 мм; – равномерное относительное удлинение $\delta_р$ соединённых арматурных стержней после испытания на растяжение[4] не менее 2 %; – относительное удлинение δ_5 принимается с учетом [11] –значение любого единичного значения δ_5, должно соотносится с нормативным значе-нием (14%) по формуле: $\delta_5 i \geq 14\% + 1\%$[5].

На первом этапе выбора равнопрочных МСА проводились исследования муфтовых соединений с цилиндрической резьбой и нарезкой резьбы на арматуре, выполненных по технологии “Bartec» производства компаний «Ancon Building Products» (производитель 1) и «Dextra Manufacturing Co. Ltd» (производитель 2).

Технология формирования резьбы на арматурных стержнях Bartec состоит из четырёх последовательных операций[6] [7; 8]:

1) торцовка концов соединяемых арматурных стержней;

2) увеличение первоначального наружного диаметра концов соединяемых арматурных стержней до необходимого размера запатентованным методом холодного продольного прессования;

---

[1] Методическое пособие. «Оценка прочности и деформативности резьбовых механических соединений арматуры по диаграммной методике». Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве. Москва. 2020 г. (https://e-ecolog.ru/docs/jP1mhpiAJtykJNmTmiQms/1).

[2] ГОСТ Р 50779.21-2004 «Статистические методы. правила определения и методы расчёта статистических характеристик по выборочным данным» (https://docs.cntd.ru/document/1200035333).

[3] ГОСТ 34278-2017 «Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. Технические условия» (с 01.06.2025 г. в новой редакции) (https://docs.cntd.ru/document/1200157127); ISO 15835-1 «Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 1: Requirements» (https://www.iso.org/standard/67967.html).

[4] Там же

[5] ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций Технические условия» (https://docs.cntd.ru/document/1200144936).

[6] Методическое пособие «Применение механических соединений арматуры в железобетонных конструкциях» Минстрой РФ, Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве» 2016 г. (https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293748/4293748205.pdf?ysclid=mt9o9flo230503982).

3) нарезка резьбы на увеличенных концах соединяемых арматурных стержней;

4) снятие остаточных напряжений (деформаций) сжатия после нарезки резьбы на укрупнённых холодной ковкой концах соединяемых стержней.

Подготовленные арматурные стержни соединяются соединительной муфтой заводского изготовления из стали с нарезанной внутренней параллельной (цилиндрической) резьбой.

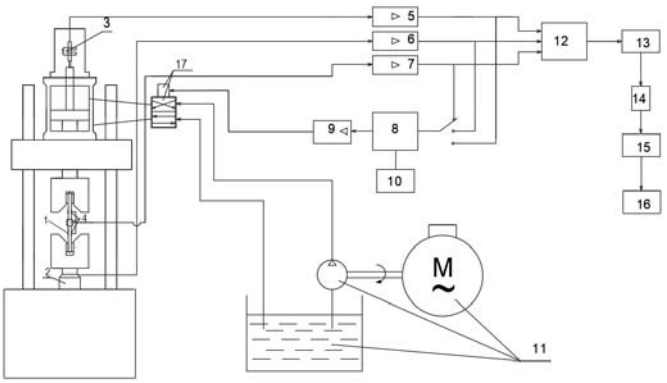
При поведении испытаний использовалась методика, разработанная в ИЦ «НИЦстром» института «ВНИИжелезобетон»

Статические испытания по оценке механических свойств арматуры А500С (предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения) проводили в соответствии с методическим пособием «Применение механических соединений арматуры в железобетонных конструкциях»[7] и МСА А500С Ø28 мм и Ø36 мм (деформативности, прочности и равномерного относительного удлинения соединяемой арматуры) проводили по методикам[8] с использованием сервогидравлической испытательной системы «SCHENCK POZ 0691» с регулируемым контуром обратной связи в режиме постоянной скорости перемещения активного захвата составляющей $\dot{S} = 0{,}02$ мм/с.

Однократные динамические (импульсивные) испытания проводили в соответствии с «Рекомендациями по методу динамических испытаний арматуры»[9], разработанными институтом «ВНИИжелезобетон, с использованием сервогидравлической испытательной системы «SCHENCK POZ 069» в режиме постоянной скорости перемещения активного захвата $\dot{\sigma}$ = 150 мм/с, что соответствовало в упругой стадии деформирования скорости роста напряжений $\dot{\sigma} \approx 50 \cdot 103$ МПа/с и, соответственно, скорости роста деформаций $\dot{\varepsilon} \approx 1 \cdot c^{1}$ и обеспечивала на стадии упругого деформирования опытного образца достижения предела текучести за 12-15 милисекунд.

Для регистрации информации о механических характеристиках исследуемых образцов арматуры и их муфтовых соединений использовали измерительно-регистрирующий комплекс аппаратуры (рис. 1), включавший в себя: датчики первичной информации – тензорезисторы, установленные на арматуре и муфтовом соединении; датчики перемещения активного захвата и усилия испытательной системы; электронный восьмиканальный анализатор спектра ZET 017-T8 (тензостанция) для статических и динамических измерений механических величин фирмы «ZET» с программным обеспечением.

В процессе испытания проводили измерения и регистрацию изменения усилия P, деформаций ε и перемещения активной опоры S в масштабе реального времени.



1 – опытный образец;
2 – датчик силы (динамометр);
3 – датчик перемещения;
4 – датчик деформаций;
5 – усилитель канала перемещения;
6 – усилитель канала силы;
7 – усилитель канала деформаций;
8 – селектор обратной связи;
9 – усилитель;
10 – генератор формы сигнала;
11 – насосная станция;
12 – анализатор спектра ZET 017-T8 (тензостанция);
13 – интерфейс с АЦП и ЦАП;
14 – интерфейс связи;
15 – персональный компьютер;
16 – печатающий терминал;
17 – сервоклапан

Рис. 1[10]. Принципиальная блок-схема сервогидравлической испытательной и измерительной системы (все рисунки,фотографии и графики созданы авторами статьи)

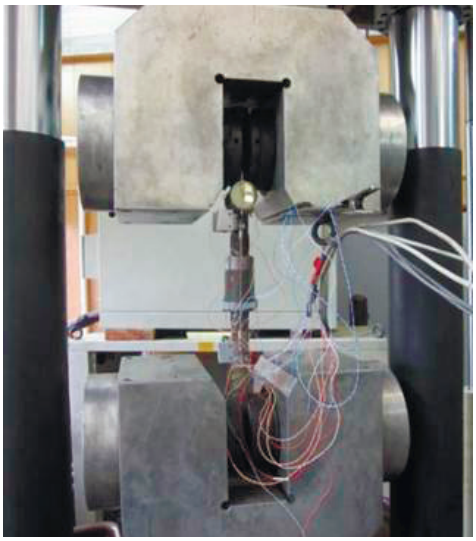


Рис. 2. Экспериментальная оценка деформативности равнопрочных МСА

[7] Методическое пособие «Применение механических соединений арматуры в железобетонных конструкциях» (https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293748/4293748205.pdf?ysclid=mt9o9flo230503982).

[8] ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение» (https://docs.cntd.ru/document/1200004033); ГОСТ 34227-2017 «Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. Методы испытаний» (с 01.06.2025 г. в новой редакции) (https://docs.cntd.ru/document/1200157054); ISO 15835-2 «Steels for the reinforcement of concrete – Reinforcement couplers for mechanical splices of bars – Part 2: Test methods» (https://clck.ru/3VMMMC); Method of Tests for Mechanical and Welded Reinforcing Steel' Splices. California Department of Transportation. Sacramento CA. 2004 (https://www.wje.com/expertise/laboratories/testing-standards/california-test-670); A1034/A1034M 05b Standard test methods for testing mechanical splices for steel reinforcing bars – 2005 (https://catalogue.normdocs.ru/catalog/com.normdocs.astm.card.a1034.a1034m-05b/Standard-ASTM-A1034-A1034M-05b?ysclid=mt9oqjnlqb822986593y).

[9] Рекомендации по методу динамических испытаний арматуры. М. : ВНИИжелезобетон, 1985.

[10] Статья проиллюстрирована схемами, рисунками и фотографиями авторов.

На первоначальном этапе все контрольные образцы МСА подвергались испытанию по оценке их деформативности (рис. 2), которые предшествовали их статическим и динамическим испытаниям. Деформативность всех опытных образцов, за исключением МСА Dextra BF арматуры Ø 36 мм, соответствовали требованиям[11] и находились в диапазоне от 0,035 мм до 0,085 мм. Деформативность МСА Dextra BF арматуры Ø 36 мм находилась в диапазоне от 0,075 мм до 0,160 мм (рис. 3). Как показал анализ результатов испытаний и характера разрушения механических соединений

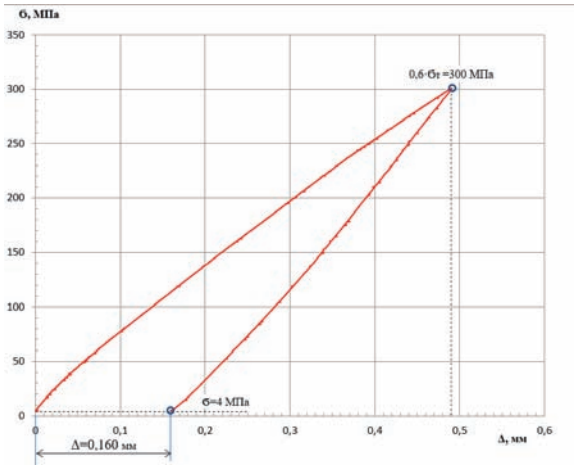


Рис. 3. Деформативность муфтового механического соединений Dextra BF с параллельной резьбой арматуры А500С Ø36 мм

BF арматуры Ø 36 мм, их повышенная деформативность явилась следствием несоответствия параметров режима холодного прессования концов соединяемых стержней арматуры и последующего снятия напряжений фактическим характеристикам арматуры. Напряжения, возникавшие в арматурных стержнях при холодном прессовании существенно превышали их предел текучести, что приводило к возникновению повышенных остаточных напряжений (деформаций) сжатия и микродефектов в структуре металла и как следствие к повышенной деформативности механических соединений и хрупкому характеру их разрушения (рис. 4) в зоне прессования при динамическом нагружении.

После корректировки параметров холодной ковки концов арматурных стержней и последующего снятия напряжений деформативность МСА BF пришла в соответствие с нормативными требованиями, а разрушение образца механического соединения переместилось из зоны утолщения (прессования) арматурного стержня в рабочую зону сечения и приобрело пластический характер с образованием шейки.

Интересным представляется характер поведения деформаций в соединяемых арматурных стержнях и в соединительных муфтах с цилиндрической (рис. 5, 6) и конусной

[11] Методическое пособие «Оценка прочности и деформативности резьбовых механических соединений арматуры по диаграммной методике» (https://e-ecolog.ru/docs/jP1mhpiAJtykJNmTmiQms/1).

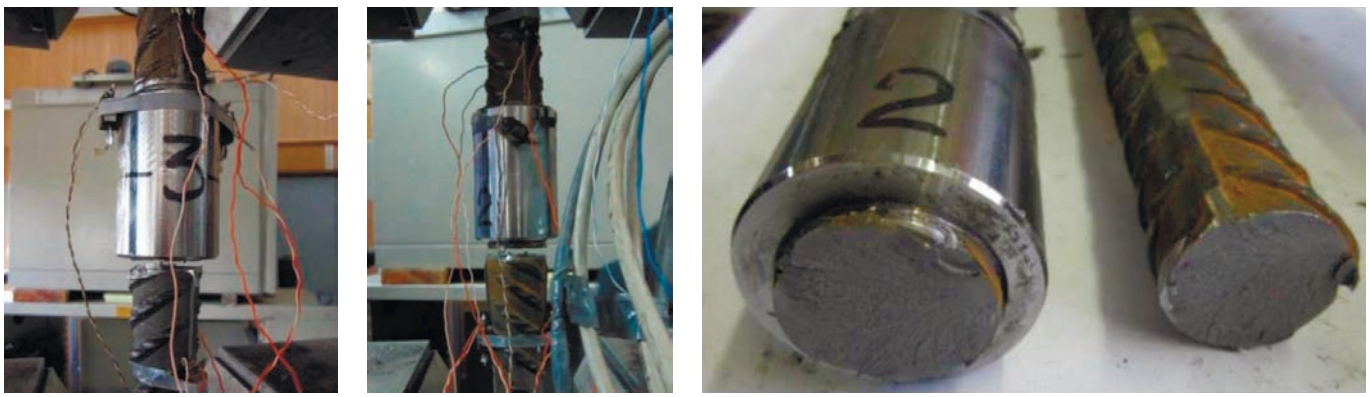


Рис. 4. Хрупкий характер разрушения МСА Dextra BF с параллельной резьбой (производитель 2) с некорректным режимом утолщения концов соединяемых стержней методом «холодного» продольного прессования при динамическом нагружении, мм

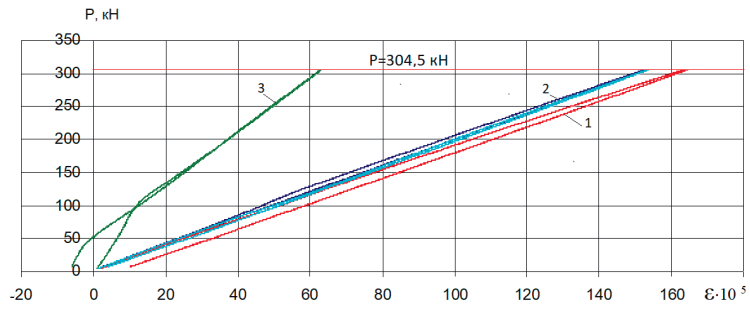


Рис. 5. Изменение средних деформаций в соединяемой арматуре (1, 2) и муфте (3) при экспериментальной оценке деформативности МСА с цилиндрической (параллельной) резьбой, мм

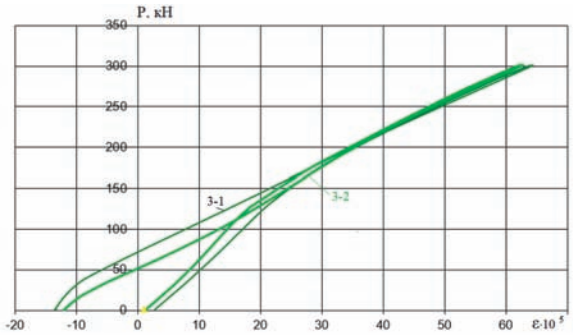


Рис. 6. Характер изменения деформаций противоположенных сторон (3–1, 3–2) соединительной муфты с параллельной резьбой при экспериментальной оценке деформативности МСА, мм

резьбой (рис. 7), полученный при экспериментальной оценки деформативности МСА.

На полученных экспериментальных графиках зависимостей деформаций (ε) от прилагаемого осевого усилия в зоне упругой работы соединяемых стержней арматуры видим нелинейный характер зависимости P–ε в муфтах с цилиндрической резьбой (см. рис 5, 6) и линейный характер зависимости P–ε в муфтах с конусной резьбой (см. рис.7). Это свидетельствует о том, что в цилиндрических муфтах после сборки МСА возникают напряжения и соответствующие им деформации сжатия. Данный факт объясняется конструктивной особенностью МСА с цилиндрической резьбой в которых торцы соединяемой арматуры упираются друг в друга. При затяжке арматуры до требуемого крутящего момента в муфте возникают начальные сжимающие напряжения, которые в процессе растяжения МСА компенсируются и придают зависимости P–ε нелинейный характер.

В МСА с применением муфт с конусной резьбой контакт соединяемых арматурных стержней отсутствует, и, соответственно, при затяжке арматуры в муфте на них не передаются напряжения.

После экспериментальной оценки характеристик деформативности контрольных образцов исследуемых МСА они подвергались статическому и однократному динамическому растяжению с регистрацией изменения основных механических и деформативных характеристик соединяемой арматуры, соединительной муфты и конструкции МСА в целом от времени процесса деформирования. Длительность процесса статического растяжения МСА от начала нагружения до его разрушения составляло от 170 до 190 с. Длительность процесса динамического растяжения от начала нагружения до достижения в соединяемых арматурных стержнях предела текучести составляло 15-16 мс, до разрушения МСА 0,3-0,4 с (рис. 8).

Всего на этапе выбора типа МСА, обеспечивающих критерии их равнопрочности соединяемой арматуре при статическом и динамическом растяжении, было испытано

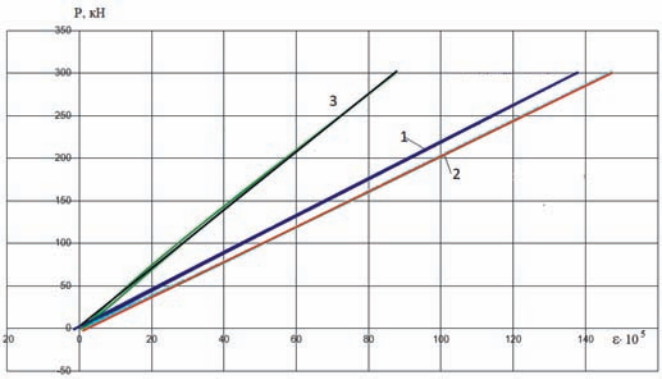
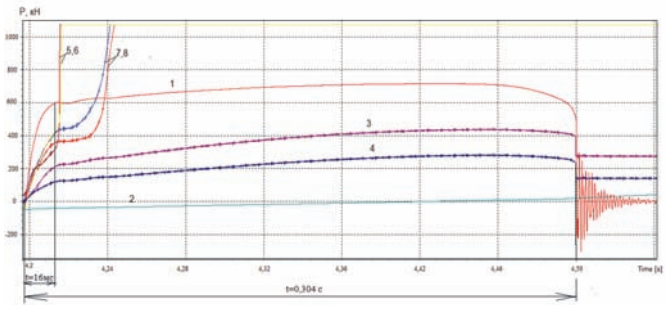


Рис. 7. Изменение средних деформаций в соединяемой арматуре (1, 2) и муфте (3) при экспериментальной оценке деформативности МСА с конусной резьбой, мм



1 – усилие P;
2 – перемещение активного захвата (удлинение образца) S;
3, 4 – деформации муфты;
5, 6 – деформации соединяемого арматурного стержня, подвергшегося разрушению;
7, 8 – деформации соединяемого арматурного стержня, не подвергшегося разрушению

Рис. 8. Регистрация прочностных и деформативных характеристик МСА при динамическом растяжении

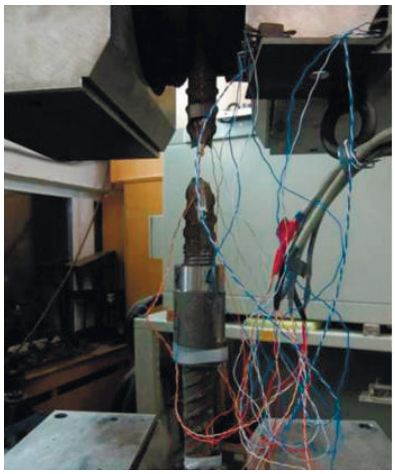


Рис. 9. Пластичный характер разрушения контрольного образца МСА А500С Ø36 мм с использованием муфты с цилиндрической резьбой (Производитель 1) при динамическом растяжении

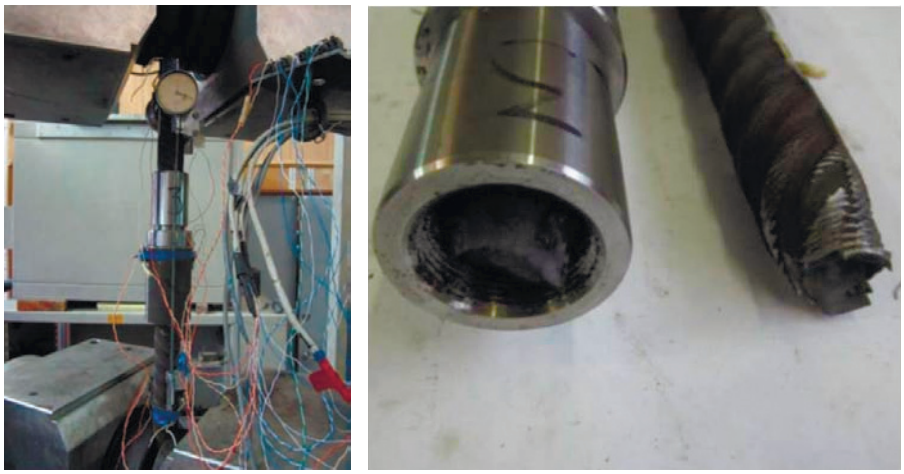


Рис. 10. Характер разрушения контрольного образца МСА А500С Ø36 мм с использованием позиционной муфты CONCON с конической резьбой при динамическом растяжении

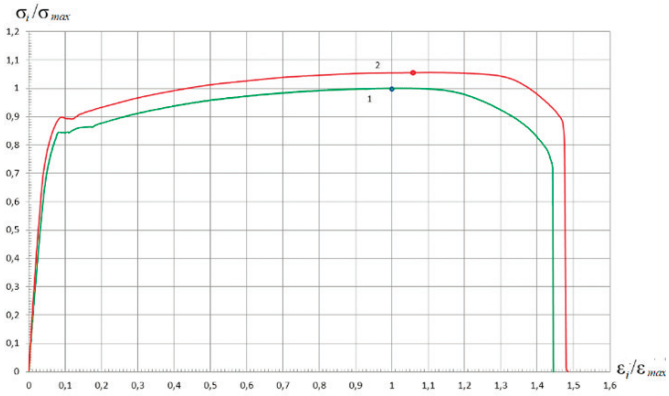


Рис. 11. Сравнение среднестатистических (с доверительной вероятностью P=0,95) относительных диаграмм деформирования равнопрочных МСА с использованием муфт с цилиндрической резьбой при статическом (1) и динамическом (2) растяжении

по шесть контрольных образцов механических соединений арматуры класса А500С Ø36 и Ø28 мм с использованием муфт с цилиндрической резьбой двух производителей – «Ancon» и «Dextra» при статическом растяжении, и по десять контрольных образцов при однократном динамическом растяжении. Также на этом этапе были проведены статические (по три образца) и динамические (по шесть контрольных образцов) испытания механических соединений CONCON арматуры А500С Ø36 с использованием стандартных и позиционных муфт (рис. 10) с конической резьбой производства ООО «ЭкоСтройПроект». Перед испытаниями механических соединений были проведены испытания контрольных образцов арматуры на статическое и однократное динамическое растяжение по три образца соответственно.

На основании результатов проведённых статических и однократных динамических испытаний был определён тип МСА, отвечающий критериям их равнопрочности соединяемой арматуре при статическом и динамическом растяжении. Указанным критериям полностью соответствовали МСА Ancon, выполненные с использованием муфт с цилиндрической (параллельной) резьбой и формированием резьбы на концах соединяемых стержней с применением технологии «Бартек» (см. рис. 9).

Уровень определения динамического изменения характеристики	Тип МСА	Коэффициент динамического изменения механических характеристик МСА по прочности и деформациям $K_Д = \frac{\overline{X}_Д}{\overline{X}_C}$	
		$K^n_{Д.\sigma.} = \frac{\overline{\sigma}^n_Д}{\overline{\sigma}^n_C}$	$K^n_{Д.\varepsilon} = \frac{\overline{\varepsilon}^n_Д}{\overline{\varepsilon}^n_C}$
Уровень предела текучести	Поз. CXL36	1,05	1,06
	Поз. CXL28	1,05	1,06
	Станд. BF 36(1)	1,05	–
	Стан. BF 36 (2)	1,04	1,05
	Поз. BF 36	1,03	1,04
	Станд. конические	1,04	1,00
	Поз. конические	1,06	0,81
	Поз. конические P13	1,02	0,93
Уровень временного сопротивления	Поз. CXL36	1,04	1,06
	Поз. CXL28	1,05	1,06
	Станд. BF 36 (1)	1,15	1,06
	Станд. BF 36 (2)	1,05	0,92
	Поз. BF 36	1,04	1,17
	Станд. конические	1,04	1,01
	Поз. конические	1,06	1,13
	Поз. конические P13	1,06	1,05
Уровень разрыва образца	Поз. CXL36	1,25	1,06
	Поз. CXL28	1,18	1,05
	Станд. BF 36 (1)	1,15	–
	Станд. BF 36 (2)	0,89	0,92
	Поз. BF 36	1,14	1,15
	Станд. конические	0,89	1,11
	Поз. конические	0,92	1,17
	Поз. конические P13	1,04	1,09

После выбора типа равнопрочного МСА, основанного на результатах описанных выше испытаний были проведены 108 контрольных статических (29) и динамических (79) испытаний образцов механических соединений типа CXL Ancon арматуры А500С Ø36 и Ø28 мм, отобранных из арматурных каркасов строящегося спецсооружения.

На основании более чем 130-ти контрольных испытаний получены среднестатистические диаграммы деформирования МСА класса А500 при их статическом и динамическом растяжениии (рис.

11) и коэффициенты динамического упрочнения (изменения) механических характеристик МСА (табл.).

Выводы

Проведённые исследования муфтовых механических соединений высокопрочной арматуры, изготовленных по различным технологиям, при действии статических и однократных динамических нагрузок позволяют сделать следующие основные выводы и предложения.

1. Отработана методика однократных динамических испытаний механических соединений арматуры с использованием электрогидравлической системы SCHENK POZ069 и «Рекомендаций по методу динамических испытаний арматуры института ВНИИжелезобетон», обеспечивающая прецизионное скоростное нагружение и регистрацию поведения опытного образца в процессе испытаний.

2. При однократных динамических нагрузках критерию равнопрочности соединяемой арматуры класса А500С отвечают муфтовые механические соединения (МСА) с цилиндрической резьбой и нарезкой резьбы на концах соединяемых стержней с предварительным их утолщением по технологии «Бартек», отвечающей требованиям равнопрочности для спецсооружений.

3. Технология холодного прессования концов соединяемых стержней существенно влияет на прочностные и деформативные свойства соединений. Нарушение технологии может приводить к их хрупкому разрушению, что недопустимо в реальных сооружениях и снижает их надёжность.

4. Механические характеристики МСА с применением муфт с конической резьбой по своим физико-механическим характеристикам соответствуют требованиям ГОСТ 34278[12], но не удовлетворяют критериям равнопрочности соединяемой арматуры.

5. В исследованном диапазоне скоростей однократных динамических нагрузок наблюдался устойчивый рост динамического сопротивления равнопрочных МСА с высокопрочной арматурой А500С на всех уровнях диаграммы растяжения образца при упругопластическом сопротивлении арматуры и разрушении с образованием шейки.

6. Получены полные среднестатистические относительные диаграммы растяжения равнопрочных МСА с высокопрочной арматурой А500С при статическом и однократном динамическом растяжении с параметрическими уровнями сопротивления для расчёта динамической прочности железобетонных конструкций, включая запредельную стадию сопротивления.

7. Актуальная задача импортозамещения зарубежных аналогов равнопрочных МСА в России требует оснащения отечественных производителей соответствующим оборудованием. Необходимо сосредоточить на этом усилия, ибо за муфтовыми механическими соединениями арматуры будущее в монолитном строительстве.

8. Для широкого применения МСА с высокопрочной арматурой при строительстве монолитных зданий и транспортных сооружений сейсмостойкого и специального военного строительства необходимы их предварительные сертификационные и контрольные приёмочные испытания на технологическую обеспеченность равнопрочности соединений при действии статических и динамических нагрузок, в т.ч. предусмотренных ГОСТ 34278.

Эти испытания должны вестись по заказам генеральных подрядчиков на строительство, уполномоченных государством, испытательными сертификационными центрами, располагающими для этого необходимым оборудованием и специалистами.

Такими возможностями располагает Испытательный центр «НИИЦстром» института «ВНИИжелезобетон».

Нерешённость в строительстве данного вопроса снижает надёжность железобетонных конструкций с применением муфтовых механических соединений арматуры.

Список источников / References

1. *Дьячков, В.В.* Прочность и деформативность резьбовых механических соединений арматуры / В.В. Дьячков // Бетон и железобетон. 2006. № 1. С. 11–14.

D'yachkov V.V. Strength and Deformability of Threaded Mechanical Connections of Reinforcement. In: *Concrete and Reinforced Concrete*, 2006, no. 1, pp. 11–14. (In Russ.)

2. *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.

Madatyan S.A., D'yachkov V.V. Compressed Reinforced Concrete Elements with Mechanical Connections of Working Reinforcement. In: *Concrete and Reinforced Concrete*, 2007, no. 14, pp. 16–20. (In Russ.)

3. *Рахманов, В.А.* Особенности деформирования механических муфтовых соединений арматуры при различных режимах контрольных испытаний по ГОСТ 34227-2017 / В.А. Рахманов, А.А. Сафонов // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году : В 2-х томах : Т. 2. М. : АСВ, 2021. С. 217–226.

Rakhmanov V., Safonov A. Deformation Peculiarities of Reinforcement Couplers for Mechanical Splices of Bars Under Different Control Test Modes According to GOST 34227-2017. In: *Fundamental Search and Applied Research of the RAASN on Scientific Support for the Development of Architecture, Urban Planning and the Construction Industry of the Russian Federation in 2020*, Scientific works, In 2 volumes. Vol. 2. Moscow, ASV Publ., 2026, pp. 217–226. (In Russ., abstr. in Engl.)

4. *Рахманов, В.А.* Экспериментальные исследования прочности и деформативности различных видов механических соединений арматуры классов А400-А600 при статических и малоцикловых нагрузках типа сейсмических / В.А. Рахманов,

[12] ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций Технические условия» (https://docs.cntd.ru/document/1200144936).

А.А. Сафонов // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли российской федерации в 2022–2023 годы : В 2-х томах : Т. 2. М. : АСВ, 2024. С. 350–362.

Rakhmanov V., Safonov A. Experimental Studies of Strength and Deformatility of Different Types of Mechanical Connections of Reinforcement A400-A600 Classes under Static and Low-Cycle Loads of Seismic Tipes. In: *Fundamental Search and Applied Research of the RAASN on Scientific Support for the Development of Architecture, Urban Planning and the Construction Industry of the Russian Federation in 2022–2023*, Scientific works, In 2 volumes. Vol. 2. Moscow, ASV Publ., 2024, pp. 217–226. (In Russ., abstr. in Engl.)

5. *Карпенко, С.Н.* Определение деформативности и прочности муфтовых соединений арматуры / С.Н. Карпенко, В.И. Травуш, И.Г. Чепизубов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. № 11 (4). С. 70–76.

Karpenko S.N., Travush V.I., Chepyzubov I.G. Deformability and Strength Determining of Coupling Fittings of Steel Reinforcement in the Reinforced Concrete Structures. In: *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2015, no. 11 (4), pp. 70–76. (In Russ., abstr. in Engl.)

6. *Рахманов, В.А.* Методика контрольных испытаний муфтовых соединений арматуры, имитирующих сейсмические нагрузки / В.А. Рахманов, А.А. Сафонов // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 6. С.25–31.

Rakhmanov V.A, Safonov A.A. Method Of Control Tests For Valve Couplings Simulating Seismic Loads. In: *Industrial and Civil Engineering*, 2021, no. 6, pp. 25–31. (In Russ., abstr. in Engl.)

7. Техника и технология получения механических муфтовых соединений арматуры с параллельной резьбой / Д.В. Галушкин, И.Б. Одарченко, В.М. Ткачев [и др.] // Вестник ГГТУ им П.О.Сухого. 2017. № 4. С. 53–62.

Galushkin D.V., Odarchenko I.B., Tkachev V.M., Bobarykin Yu.L., Selyutin A.M. Technique and Technology for Obtaining Mechanical Coupling Joints of Reinforcement with Parallel Threads. In: *Bulletin of the Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi*, 2017, no. 4, pp. 53–62. (in Russ.)

8. *Рахманов, В.А.* Прочность и деформации стержневой арматуры при скоростном импульсивном нагружении / В.А. Рахманов / Бетон и железобетон. 1977. № 12. С. 21–24.

Rakhmanov V.A. Strength and Deformations of Reinforcement Bars under High-Speed Impulsive Loading. In: *Concrete and Reinforced Concrete*, 1977, no. 12, pp. 21–24. (In Russ.)

9. Критерии предельных состояний и условия применения высокопрочной арматуры в железобетонных конструкциях при кратковременных динамических воздействиях / В.А. Рахманов, Е.Л. Розовский [и др.] // Динамическая прочность и долговечность железобетонных конструкций : Сборник научных трудов ВНИИжелезобетона. М., 1989. С. 5–12.

Rakhmanov V.A., Rozovsky E.L. et al. Criteria for Limit States and Conditions of Application of High-Strength Reinforcement in Reinforced Concrete Structures under Short-Term Dynamic Impacts. In: *Dynamic Strength and Durability of Reinforced Concrete Structures*, Collection of Scientific Papers of the All-Russian Research Institute of Reinforced Concrete. Moscow, 1989, pp. 5–12. (In Russ.)