

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ EXPERIMENTAL RESEARCH

DOI 10.22363/1815-5235-2022-18-5-475-484
УДК 624.012:691.714:624.014


НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH ARTICLE

Определение податливости винтовых муфтовых соединений арматуры класса прочности 500 Н/мм²

Г.Е. Гришин¹  , Г.И. Тихонов^{1,2} , И.П. Саврасов¹ , Г.Э. Окольников² 

¹АО «НИЦ „Строительство“», НИИЖБ имени А.А. Гвоздева, Москва, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

 gegrishin95@mail.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 10 августа 2022 г.

Доработана: 1 октября 2022 г.

Принята к публикации: 8 октября 2022 г.

Для цитирования

Гришин Г.Е., Тихонов Г.И., Саврасов И.П., Окольников Г.Э. Определение податливости винтовых муфтовых соединений арматуры класса прочности 500 Н/мм² // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 5. С. 475–484. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-5-475-484>

Аннотация. Приведены результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему податливости винтовых муфтовых соединений арматуры класса Ав500П. Цель исследования – получение экспериментальных данных для изучения влияния винтового муфтового соединения арматуры на податливость (деформативность) соединения и учет характеристик соединения при проектировании конструкций. Проведены исследования прочности и деформативности образцов муфтовых соединений арматуры диаметром 16, 25 и 40 мм с инновационным четырехсторонним (четырёхрядным) винтовым профилем класса Ав500П по методике международных и российских норм. Образцы изготавливались с различными моментами затяжек контргаек и анкерно-клеевыми составами внутри соединения. Результаты показали, что данные муфтовые соединения инновационной четырёхрядной винтовой арматуры класса Ав500П удовлетворяют требованиям международных и российских норм при приложении к затягиваемым контргайкам определенного момента затяжки, зависящий от диаметра стыкуемой арматуры и применении анкерно-клеевых составов на крупных и средних диаметрах стыкуемой арматуры. Полученные в ходе эксперимента диаграммы винтовых соединений могут использоваться в практике проектирования при расчете железобетонных конструкций по деформационной модели. В совокупности это позволяет внести винтовые соединения в российскую строительную нормативную базу.

Ключевые слова: винтовая арматура, железобетон, муфтовые соединения, резьбоблочные соединения, податливость, деформативность


Гришин Григорий Евгеньевич, аспирант, инженер-конструктор центра № 21, главный специалист ОППЭР № 29, АО «НИЦ „Строительство“», НИИЖБ имени А.А. Гвоздева, Российская Федерация, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5; ORCID: 0000-0003-4646-7514, eLIBRARY SPIN-код: 8317-3139; gegrishin95@mail.ru

Тихонов Георгий Игоревич, инженер-конструктор центра № 21, АО «НИЦ „Строительство“», НИИЖБ имени А.А. Гвоздева, Российская Федерация, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5; аспирант, департамент архитектуры, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0002-7010-4118, eLIBRARY SPIN-код: 5043-3130; 1042190020@pfur.ru

Саврасов Иван Петрович, кандидат технических наук, заместитель директора НИИЖБ имени А.А. Гвоздева по организации научных исследований и инноваций, АО «НИЦ „Строительство“», Российская Федерация, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5; ORCID: 0000-0002-3877-0460, eLIBRARY SPIN-код: 1111-0269; savrasov@cstroy.ru

Окольникова Галина Эриковна, кандидат технических наук, доцент департамента строительства, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0002-8143-4614, eLIBRARY SPIN-код: 8731-8713; okolnikova-ge@rudn.ru

© Гришин Г.Е., Тихонов Г.И., Саврасов И.П., Окольников Г.Э., 2022

 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Couplings slip determination of the threadbar of strength class 500 N/mm²

Grigorii E. Grishin¹ , Georgy I. Tikhonov^{1,2} , Ivan P. Savrasov¹ , Galina E. Okolnikova² 

¹JSC “SIC ‘Construction’”, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, 6 2-ya Institutskaya St, bldg 5, Moscow, 109428, Russian Federation.

²Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

✉ gegrishin95@mail.ru

Article history

Received: August 10, 2022

Revised: October 1, 2022

Accepted: October 8, 2022

Abstract. The authors present the results of R&D on the topic of coupling slip of threadbar of class Av500P. The aim of the work was to obtain experimental data to study the effect of the threadbar coupling on the slip (deformability) of the joint and taking into account the characteristics of the joint in the design of structures. The strength and deformability of coupling samples of threadbar with a diameter of 16, 25 and 40 mm with an innovative four-sided (four-row) thread profile of class Av500P have been studied in accordance with the methodology of international and Russian standards. The samples were made with different tightening torques of the lock nuts and anchor-adhesive compositions inside the coupling. Along with the results of the study, it can be concluded that these couplings of innovative four-row threadbar of class Av500P meet the requirements of international and Russian standards when applying a certain tightening torque to the tightened lock nuts, depending on the diameter of the fittings to be joined and the use of anchor-adhesive compositions on large and medium diameters of the threadbar to be joined. The diagrams of thread joints obtained during the experiment can be used in design practice when design reinforced concrete structures according to the deformation model. Together, this makes it possible to introduce thread joints into the Russian construction regulatory code.

Keywords: threadbar, reinforced concrete, coupling joints, thread-adhesive joint, slip, deformability

For citation

Grishin G.E., Tikhonov G.I., Savrasov I.P., Okolnikova G.E. Couplings slip determination of the threadbar of strength class 500 N/mm². *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022;18(5):475–484. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-5-475-484>

Введение

В 2021 г. ряд зарубежных производителей арматурного проката планирует увеличение производства арматуры с винтовым профилем. В частности, японская компания Kyoei Steel увеличила в полтора раза производство такой арматуры на своих предприятиях в 2020 г. до 1,2 млн т [1–5]. Арматура с винтовым профилем в железобетонных конструкциях имеет ряд преимуществ по сравнению с арматурой с другими профилями в вопросах соединения между отдельными стержнями с помощью винтовых муфт. Такое соединение более металлоемкое и экономичное по сравнению со сварными и менее трудоемкое, не требующее дополнительных работ со специализированным оборудованием, по сравнению с обжимными муфтами [6–12]. Следует отметить, что характеристики арматуры с винтовым профилем более целесообразно применять в технически сложных объектах строительства. В настоящее время ряд отечественных производителей России начало производство с запланированным увеличением объема арматуры с винтовым профилем. Основным препятствием для применения арматуры с винтовым профилем в строительстве является высокая податливость в соединениях с помощью винтовых муфт [13–18]. В основном зарубежные производители справились с этой задачей с помощью применения клеевых составов непосредственно на площадках строительства, меньшим допускам по геометрии, как арматуры, так и муфт и более высоким допускам по податливости [19–26]. Исследование указанного выше вопроса, под-

Grigorii E. Grishin, postgraduate student, design engineer of the Center No. 21, main specialist of the Department of Preparation and Carrying Out Experimental Work No. 29, JSC “SIC ‘Construction’”, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, 6 2-ya Institutskaya St, bldg 5, Moscow, 109428, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4646-7514, eLIBRARY SPIN-code: 8317-3139; gegrishin95@mail.ru

Georgy I. Tikhonov, design engineer of the center No. 21, JSC “SIC ‘Construction’”, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, 6 2-ya Institutskaya St, bldg 5, Moscow, 109428, Russian Federation; postgraduate student, Department of Architecture, Academy of Engineering, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7010-4118, eLIBRARY SPIN-code: 5043-3130; 1042190020@pfur.ru

Ivan P. Savrasov, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of NIIZHB named after A.A. Gvozdev for the organization of scientific research and innovation, JSC “SIC ‘Construction’”, 6 2-ya Institutskaya St, bldg 5, Moscow, 109428, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3877-0460, eLIBRARY SPIN-code: 1111-0269; savrasov@cstroy.ru

Galina E. Okolnikova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Civil Engineering, Academy of Engineering, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8143-4614, eLIBRARY SPIN-code: 8731-8713; okolnikova-ge@rudn.ru

готовка возможного решения по податливости соединений с учетом отечественных нормативных требований и возможностями производства в настоящее время выполнены не в полной мере.

Тем самым выявлена необходимость в проведении качественной и количественной оценки вариантов соединения с помощью винтовых муфт на предмет податливости наиболее часто применяемой арматуры в строительстве класса прочности 500 Н/мм² отечественных производителей.

Таким образом, целью работы является получение экспериментальных данных для исследования влияния винтового муфтового соединения арматуры на податливость (деформативность) соединения и учет характеристик соединения при проектировании конструкций.

Методы

Объектом исследования являются муфтовые соединения арматуры класса прочности 500 Н/мм².

Для оценки основных физико-механических характеристик и податливости винтовых муфтовых соединений изготавливались образцы из стержней арматуры винтового профиля с номинальным диаметром 16, 25 и 40 мм класса Аv500П. Выбранные диаметры соответствуют наименьшему, среднему и максимальному диаметру для данного сортамента арматуры, что позволит выполнить оценку всего арматурного проката в целом, а выбранный класс арматуры соответствует наиболее применяемому при проектировании железобетонных конструкций.

На основании вышесказанного и в соответствии с программой испытаний были изготовлены и испытаны образцы винтовых муфтовых соединений арматуры с вариативными факторами, указанными в табл. 1. Всего испытано 24 образца.

Таблица 1

Характеристики образцов винтовых муфтовых соединений арматуры для испытаний на растяжение

Ø арматуры, мм	Примечания	Количество образцов, шт.
16	Без контргаек	3
16	С затяжкой контргаек	3
25	С анкерно-клеевым составом	3
25	С затяжкой контргаек	6
40	С анкерно-клеевым составом	3
40	С затяжкой контргаек	6

Table 1

Characteristics of coupling samples of threadbar for tensile testing

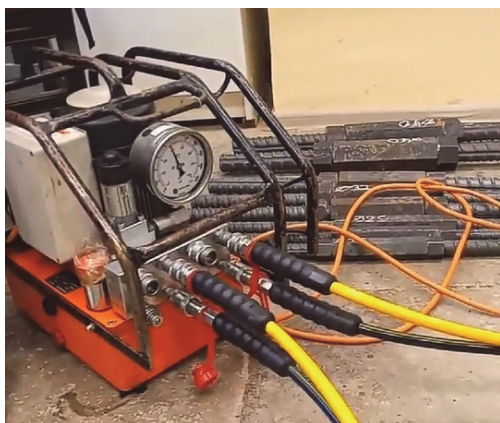
Bar Ø, mm	Notes	Number of samples, pcs.
16	Without lock nuts	3
16	With tightening of the lock nuts	3
25	With anchor-adhesive composition	3
25	With tightening of the lock nuts	6
40	With anchor-adhesive composition	3
40	With tightening of the lock nuts	6

Образцы соединений с моментом затяжки контргаек не более 350 Нм затягивались с помощью динамометрического ключа (рис. 1), для остальных соединений применялся гидравлический ключ с насосной станцией (рис. 2). Для соединений арматуры диаметром 25 и 40 мм выбраны по двум различным моментам затяжки контргаек, использующиеся при изготовлении соединений аналогичной арматуры.

В качестве дополнительных мер, помимо различной степени затяжки контргаек, для компенсации податливости на среднем (Ø25 мм) и максимальном (Ø40 мм) диаметре соединяемой арматуры применялись анкерно-клеевые составы. По результатам предварительных результатов испытаний для лабораторных испытаний был выбран анкерно-клеевой состав на цементной основе. Технология заполнения соединительной муфты принималась в соответствии с инструкциями производителей состава. Общий вид образцов представлен на рис. 3.



Рис. 1. Динамометрический ключ
Figure 1. Torque wrench



a



б

Рис. 2. Насосная станция:
a – с гидравлическим ключом; *б* – для затяжки соединений с моментом до 5000 Нм
Figure 2. Pumping station:
a – with hydraulic wrench; *б* – for tightening connections with a torque of up to 5000 Nm



a



б



в

Рис. 3. Образцы винтовых муфтовых соединений арматуры:
a – без контргайк; *б* – с затяжкой контргайк без клеевого состава; *в* – с клеевым составом на цементной основе
Figure 3. Samples of threadbar couplings:
a – without lock nuts; *б* – with tightening of lock nuts without adhesive composition; *в* – with a cement-based adhesive composition

В соответствии с требованиями ГОСТ 34278–2017¹ к муфтовым соединениям арматуры предъявляются требования при растяжении в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Свойства механических соединений арматуры при растяжении

Разрывное усилие P_b , кН, не менее	Деформативность Δ , мм, не более	Равномерное относительное удлинение арматуры δ_p после разрушения соединения, %, не менее
$\sigma_b A_s$	0,1	2

Примечание: A_s – номинальная площадь поперечного сечения соединяемой арматуры по нормативным документам на ее производство; σ_b – нормативное значение временного сопротивления соединяемой арматуры по действующим нормативным документам на ее производство.

Table 2

Properties of mechanical joints of reinforcement under tension

Breaking force P_b , kN, not less than	Deformability Δ , mm, no more than	Uniform elongation of the armature δ_p after the destruction of the joint, %, not less than
$\sigma_b A_s$	0.1	2

Note: A_s – the nominal cross-sectional area of the connected reinforcement according to the normative documents for its production; σ_b – the normative value of the temporary resistance of the connected reinforcement according to the current normative documents for its production.

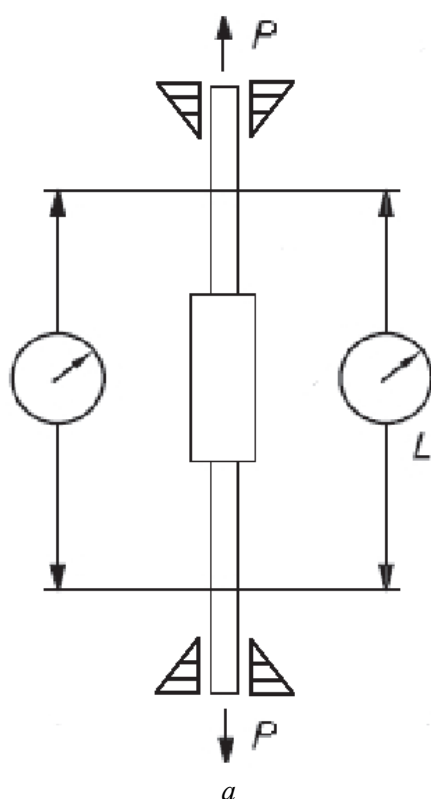


Рис. 4. Испытание образца механического соединения на деформативность при растяжении:
 а – схема расположения приборов при испытании на деформативность; б – общий вид образца в испытательной машине
Figure 4. Testing of a sample of a mechanical joint for tensile deformability:
 а – the layout of the devices during the deformability test; б – the general view of the sample in the testing machine

¹ ГОСТ 34278–2017. Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. М.: Стандартинформ, 2017.

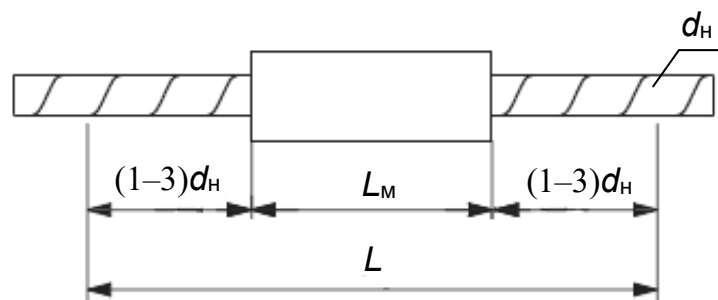


Рис. 5. База измерения деформаций
Figure 5. Deformation measurement base

Для определения свойств, указанных в табл. 2, образцы соединений арматуры испытывались на растяжение в соответствии с методикой ГОСТ 34227².

Перед испытанием арматурные стержни размечались с шагом 10 мм для определения равномерного удлинения арматуры δ_p после разрушения соединения.

В соответствии с методикой испытаний по ГОСТ 34227 перед определением разрывного усилия необходимо выполнить испытания образца на деформативность. Для этого на установленные в захваты испытательной машины образцы устанавливались приборы для измерения деформативности (податливости) часового типа с ценой деления 0,01 мм. Схематичное расположение измерительных приборов для определения деформативности показано на рис. 4, а. Фактическое расположение образцов внутри испытательной машины изображено на рис. 4, б. База измерения деформаций L при испытании образцов соединений принималась равной длине муфтового соединения, за которую принимается длина муфты плюс длины контргаек, плюс расстояние равное не менее одного диаметра и не более трех диаметров соединяемой арматуры, отложенных с каждой стороны соединения (рис. 5).

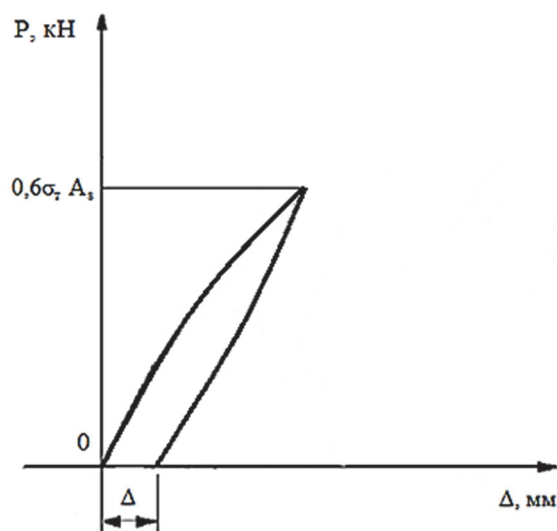


Рис. 6. Схематичный график определения деформативности Δ механического соединения
Figure 6. Schematic graph of determining the deformability of a mechanical joint

При испытаниях муфтовых соединений использовался второй способ определения деформативности по ГОСТ 34227, который может применяться для стыков с муфтой любой длины. Для этого образец соединения нагружался до усилия $P_\Delta = A_s 0,6\sigma_s$, после чего производилась его разгрузка до нулевого усилия. Деформативность соединения Δ определялась по показаниям измерительных приборов как остаточная деформация соединения на базе измерения L . Схематичный график нагружения и разгрузки показан на рис. 6.

² ГОСТ 34227–2017. Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. М.: Стандартинформ, 2019.

После определения деформативности приборы снимали и образец доводился до разрушения с фиксацией максимальной нагрузки.

После разрушения образца по ранее нанесенным меткам на арматурных стержнях определяли их равномерное удлинение δ_p .

Для сравнения результатов испытаний были испытаны образцы целых стержней арматуры по методике ГОСТ 12004³. Образцы целых стержней взвешивались с точностью до 1,0 г, была измерена их длина с точностью до 1,0 мм. По результатам взвешивания и измерения длины целых стержней определялась фактическая площадь их поперечного сечения.

Результаты и обсуждения

Разрушение всех образцов всегда происходило по основному металлу соединяемых стержней (рис. 7).

На рис. 8 и 9 представлены зависимости деформативности и прочности образцов от диаметров соединяемой арматуры.



Рис. 7. Разрушенные образцы
Figure 7. Destroyed samples

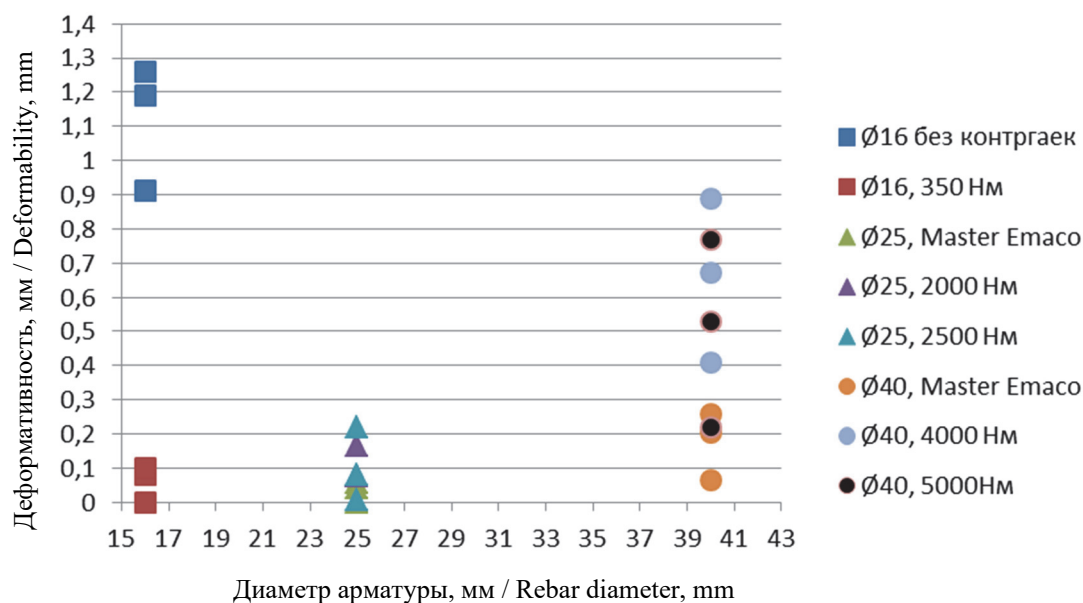


Рис. 8. Зависимость деформативности соединений от диаметра арматуры и вида соединений
Figure 8. Dependence of the deformability of joints on the diameter of the reinforcement and the type of joints

³ ГОСТ 12004–81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2009.

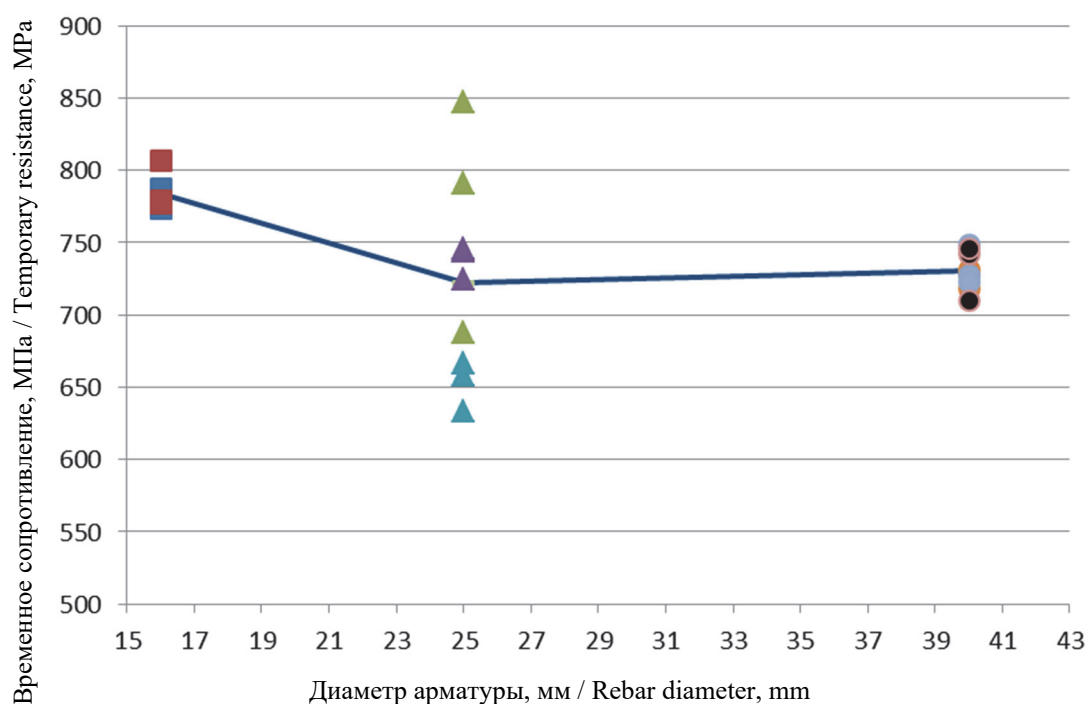


Рис. 9. Зависимость прочности соединений от диаметра арматуры
Figure 9. Dependence of the strength of the joints on the diameter of the reinforcement

Момент затяжки контргаек и анкерно-клеевые составы внутри муфты не влияют на итоговую прочность соединений, так как разрушение всегда происходило по основному металлу стержней на всех диаметрах. Предел текучести наступал при тех же значениях, что и у цельных стержней (более 500 МПа) также на всех диаметрах.

Равномерное удлинение для всех образцов $\geq 2\%$.

Деформативность соединений значительно увеличивается по мере увеличения диаметра арматуры класса Аv500П. Муфтовые соединения из арматуры 16-го диаметра без контргаек имеют значительную податливость, но все образцы с моментом затяжки в 350 Нм имеют податливость $\leq 0,1$ мм. Все соединения из арматуры 25-го диаметра прошли требование по деформативности ГОСТ 34278, за исключением одного образца с моментом затяжки 2000 Нм. Муфтовые соединения из арматуры диаметром 40 мм, наоборот, не прошли требования по деформативности в $\leq 0,1$ мм, за исключением 1-го образца с применением цементного анкерного состава Master Emaco. Если рассматривать требования ISO 15835-1-2018⁴ с максимально допустимой деформативностью соединений 0,2 мм, то соединения из арматуры 40-го диаметра с применением цементного анкера имеют деформативность близкую к предельной.

Заключение

На основе проведенных испытаний можно заключить, что для муфтовых образцов винтовой арматуры класса Аv500П диаметром 16 мм достаточным условием выполнения требования по податливости ГОСТ 34278 является относительно небольшой момент затяжки в 350 Нм. Для диаметра 25 мм оптимальными решениями уменьшения податливости являются, как и момент затяжки равный 2500 Нм, так и применение анкерно-клеевых составов. А для арматуры класса Аv500П диаметром 40 мм единственным способом выполнения требований по податливости является применение анкерно-клеевых составов.

⁴ ISO 15835-1:2018. Steels for the reinforcement of concrete. Reinforcement couplers for mechanical splices of bars. Part 1. Requirements.

Список литературы / References

1. Hu H., Wang J., Yan X. Cracking analysis of members connected by grouted splice sleeves under axial tension. *Construction and Building Materials*. 2022;322:126487. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126487>
2. Lin Y.-Ch. Behavior of a steel coupled beam moment frame based on nonlinear analyses. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014;99:10–17. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.02.008>
3. Zhao Ch., Zhang Z., Wang J., Wang B. Numerical and theoretical analysis on the mechanical properties of improved CP-GFRP splice sleeve. *Thin-Walled Structures*. 2019;137:487–501. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.01.018>
4. Qua H., Lv H., Zhang T., Lic T., Wang Z. Experimental study and theoretic analysis of shear failure mechanism for short precast bridge columns with grouted splice sleeve (GSS) connectors under direct shear load. *Engineering Structures*. 2022;272:115010.
5. Bompa D.V., Elghazouli A.Y. Monotonic and cyclic performance of threaded reinforcement splices. *Structures*. 2018;16:358–372.
6. Degtyarev V.V. Requirements of domestic and foreign standards for anchoring and lap joints without welding of rod fittings of periodic profile. *Concrete at the Turn of the Third Millennium: Materials of the 1st All-Russian Conference On the Problems of Concrete and Reinforced Concrete* (book 2). Moscow; 2001. p. 941–954. (In Russ.)
Дегтярев В.В. Требования отечественных и зарубежных норм к анкеровке и соединениям внахлестку без сварки стержневой арматуры периодического профиля // *Бетон на рубеже третьего тысячелетия: материалы 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона: в 3 кн. Кн. 2. М., 2001. С. 941–954.*
7. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Rastorguev B.S. *Design of reinforced concrete reinforcement*. Moscow: Buma-zhnik Publ.; 2015. (In Russ.)
Тихонов И.Н., Мешков В.З., Расторгуев Б.С. Проектирование армирования железобетона. М.: Бумажник, 2015. 273 с.
8. Tikhonov I.N., Kopylov I.V. Efficiency of production and application of rebar rolled products with new types of periodic profile. *Stroitel'nye Materialy*. 2021;12:35–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-35-47>
Тихонов И.Н., Копылов И.В. Эффективность производства и применения арматурного проката с новыми видами периодического профиля // *Строительные материалы*. 2021. № 12. С. 35–47. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-35-47>
9. Tikhonov I.N. Development, production and implementation of innovative types of rebar rolled products for construction. *Stroitel'nye Materialy*. 2019;9:67–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-67-75>
Тихонов И.Н. Разработка, производство и внедрение инновационных видов арматурного проката для строительства // *Строительные материалы*. 2019. № 9. С. 67–75. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-67-75>
10. Zhong X., Zhang T., Zhao Ch., Shu X., Shen M., Chen Y.F. New non-destructive dynamic tensile testing of prestressing fine-rolled screw-threaded steel bars. *Engineering Structures*. 2019;182:153–163. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.12.065>
11. Katzer J., Szatkiewicz T. Properties of concrete elements with 3D printed formworks which substitute steel reinforcement. *Construction and Building Materials*. 2019;210:157–161.
12. Lu Z., Huang J., Li Y., Dai S., Peng Z., Liu X., Zhang M. Mechanical behaviour of grouted sleeve splice under uniaxial tensile loading. *Engineering Structures*. 2019;186:421–435. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.02.033>
13. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Zvezdov A.I., Savrasov I.P. Effective reinforcement for reinforced concrete structures of buildings designed taking into account special loads. *Stroitel'nye materialy (Construction materials)*. 2017;3: 39–45. (In Russ.)
Тихонов И.Н., Мешков В.З., Звездов А.И., Саврасов И.П. Эффективная арматура для железобетонных конструкций зданий, проектируемых с учетом особых нагрузок // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 39–45.
14. Tikhonov I.N., Smirnova L.N., Bubis A.A., Tikhonov G.I., Safonov A.A. On new types of rebar rolled products for earthquake-resistant construction. *Earthquake-resistant construction. Safety of Structures*. 2019;5:20–27. (In Russ.)
Тихонов И.Н., Смирнова Л.Н., Бубис А.А., Тихонов Г.И., Сафонов А.А. О новых видах арматурного проката для сейсмостойкого строительства // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2019. № 5. С. 20–27.
15. Aliyev Sh.A. *Joint work of concrete and rod reinforcement of periodic profile*. Баку; 1964. (In Russ.)
Алиев Ш.А. Совместная работа бетона и стержневой арматуры периодического профиля. Баку, 1964. 175 с.
16. Tikhonov I.N. Reinforcement of elements of monolithic reinforced concrete buildings. Moscow; 2007. (In Russ.)
Тихонов И.Н. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. М., 2007. 21 с.
17. Mulin N.M., Konevsky V.P., Sudakov G.N. New types of profile for reinforcement rods. *Effective Types of Reinforcement for Reinforced Concrete Structures: Collection of Works of NIIZhB*. Moscow; 1970. p. 16–45. (In Russ.)
Мулин Н.М., Коневский В.П., Судаков Г.Н. Новые типы профиля для стержней арматуры // *Эффективные виды арматуры для железобетонных конструкций: сборник научных трудов*. М.: НИИЖБ, 1970. С. 16–45.
18. Tikhonov G.I. *Investigation of the effectiveness of the use of reinforcement with a new four-sided periodic profile in reinforced concrete structures*. Moscow; 2019. (In Russ.)
Тихонов Г.И. Исследование эффективности применения арматуры с новым четырехсторонним периодическим профилем в железобетонных конструкциях. М., 2019.
19. Alaoud L., Al-Salloum Y., Abbas H. Experimental investigation for GFRP rebar couplers for reinforced concrete. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. 2021;33(2):104–110.

20. Zhang X., Zhao Y., Guo Y., Li Z. Equivalent stress-strain model of half grouted sleeve connection under monotonic and repeated loads: experiment and preliminary application. *Engineering Structures*. 2022;260:114247.
21. Gu Q., Dong G., Wang X., Jiang H., Peng Sh. Research on pseudo-static cyclic tests of precast concrete shear walls with vertical rebar lapping in grout-filled constrained hole. *Engineering Structures*. 2019;189:396–410.
22. Chen J., Wang Z., Liu Z., Ju Sh. Experimental investigation of mechanical behaviour of rebar in steel half-grouted sleeve connections with defects in water/binder ratio. *Structures*. 2020;26:487–500.
23. Liu Ch., Pan L., Liu H., Tong H., Yang Y., Chen W. Experimental and numerical investigation on mechanical properties of grouted-sleeve splices. *Construction and Building Materials*. 2020;260:120441. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120441>
24. Zhao E., Song Ch., Zhang X., Zhou Q., Yan K. Experimental study on monotonic, cyclic mechanics and fatigue performance of pressed cone sleeve splices. *Structures*. 2022;39:482–495. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.03.050>
25. Han W., Zhao Z., Qian J., Cui Y., Liu Sh. Seismic behavior of precast columns with large-spacing and high-strength longitudinal rebars spliced by epoxy mortar-filled threaded couplers. *Engineering Structures*. 2018;176:349–360. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.09.007>
26. Wu Ch., Chen G., Volz J.S., Brow R.K., Koenigstein M.L. Global bond behavior of enamel-coated rebar in concrete beams with spliced reinforcement. *Construction and Building Materials*. 2013;40:793–801. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.076>