



Research Article

Received: January 30, 2025

Accepted: February 14, 2025

Published: March 4, 2025

ISSN 2658-5553

Anchoring of a working rebar made with a plug connection

Ardeeva, Ksenia Andreevna¹ 
Shkoliar, Filipp Sergeevich¹ 

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg; Russia, kardeeva02@mail.ru (A.K.A), shkoliar.fs@gmail.com (S.F.S.)

Correspondence:* email kardeeva02@mail.ru

Keywords:

Rebar; Anchoring; Plug joint; Strength; Experiment; Force; Deformation; Concrete chipping

Abstract:

It is proposed to use smooth steel pipes in the plug connection, which will be embedded parts in a monolithic foundation, into which the working rebars of the prefabricated column will subsequently arrive, glued onto a fast-setting liquid-type mixture. Thus, this plug joint design is the **object of research**. However, there is a question of the joint work of the smooth surface of the pipe and fine-grained bulk concrete after solidification, which is used as an adhesive solution for gluing reinforcing rebars. **Methods**. An experimental study of the anchoring of the working rebars as part of the plug connection has been carried out. The experiment involves applying a tensile load to a sample consisting of a reinforcing rebar glued onto a fast-hardening liquid-type mixture in a steel pipe. The load increased stepwise until the sample was destroyed. The method of processing the results is photogrammetric photography. **Results**. The relative deformations of the reinforcing rebar were determined by photogrammetric imaging. The high degree of adhesion of steel to a fast-hardening liquid-type mixture under the action of a tensile load was confirmed. The experimental sample collapsed on the base metal of the rebar outside the pipe. The equal strength of the reinforcement adhesive joint is ensured. Based on the experiment, concrete was found to be punctured at the points of relative elongation and narrowing of the reinforcing rebar after exceeding the design stresses, therefore, a process of reducing the anchoring of the working reinforcement was observed, which subsequently may cause a loss of strength of the plug connection of the prefabricated column and the monolithic foundation.

1 Introduction

Штепсельный стык является разновидностью бессварных соединений сборных железобетонных колонн [1]. Существует два типа соединения в зависимости от места его расположения. Первый тип – это размещение в зоне с минимальными изгибающими моментами, то есть в середине по высоте колонны [2]. Особое внимание при расчете данных соединений следует обращать на факторы, влияющие на сдвиговую податливость стыка [3]. Существуют методики расчета штепсельного соединения на действие продольных и поперечных усилий [4]. Важно учитывать работу стыка при аварийном воздействии, так как соединение начинает работать не на сжатие, а на растяжение [5]. В конструкции стыка, предлагаемой авторами статьи, растяжение воспринимает закладная деталь для скважины стыка сборных колонн.

Второй тип – это штепсельный стык, который расположен в зоне действия изгибающих моментов, то есть это соединения сборной железобетонной колонны с монолитным перекрытием или фундаментом [6]. Примером второго типа являются штепсельные соединения по системе УИКСС. Данный стык состоит из основных пяти элементов, а именно торцы сборных колонн, плита перекрытия и двух растворных швов [7]. Данная система может быть применима при новом строительстве, а также реконструкции [8].

Ardeeva K.; Shkoliar, F.

Anchoring of a working rebar made with a plug connection;
2025; AlfaBuild; 33 Article No 3303. doi: 10.57728/ALF.33.3



Авторы других работ предлагают иное устройство соединения: пара стальных пластин, которые соединяются между собой высокопрочными болтами [9]. Данная технология требует высокой точности монтажа. При соединении колонны с монолитной плитой также исследуется прочность на раздавливание и изгиб [10]. Из результатов работы следует, что поперечное армирование перекрытия значительно повышает прочность на смятие. Иногда возникает необходимость устраивать соединения сборных элементов между собой при помощи дюбельного соединения [11], рассматриваются два типа разрушения подобных соединений: локальное разрушение и глобальное, то есть происходит откалывание бетона между дюбелем и краем конструкции. Также существуют работы, когда стык колонны и фундамента устраивается при помощи закладной детали в виде нижней и верхней гаек, данная система называется РЕС [12]. Однако существует недостаток – использование типовых закладных башмаков под определенные размеры колонн.

Сборные конструкции часто рассчитывают на действие сейсмического воздействия [13]. Соединения таких конструкций обладают недостаточной устойчивостью из-за проблем соединения конструктивных элементов. В некоторых работах описывается решение, при котором увеличивают нижнее сечение колонны, а анкерные стержни из фундамента проходят через отверстия в этой части колонны [14]. Существуют также конструктивные решения стыка колонн с перекрытием в сборно-монолитном строительстве при работе на прогрессирующее разрушение [15]. Повышение сопротивляемости достигается за счет установки дополнительных арматурных стержней по аналогии штепсельного соединения, данные связи работают на растяжение.

Исследуемый стык в данной статье относится ко второму типу. Помимо выполнения численного расчета и математического моделирования штепсельного стыка, необходимо провести ряд экспериментальных исследований его несущей способности [16]. При внецентренном сжатии в рабочей арматуре колонны возникают растягивающие усилия, что приводит к необходимости их учета при конструировании равнопрочного соединения колонны с монолитным фундаментом. В данной статье описываются результаты исследования анкеровки рабочей арматуры в штепсельном соединении при действии растягивающей нагрузки.

Многие из рассмотренных стыков между сборными и монолитными конструкциями требуют высокой точности при монтаже на строительной площадке.

Актуальность исследования: при конструировании штепсельных соединений [2], [6] отверстия в бетоне для вклеивания арматурных стержней могут быть сформированы алмазным бурением, смонтированных на этапе бетонирования гофрированных труб, либо закладных в виде металлических труб по российскому государственному стандарту «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные» [17]. Данная технология рассматривается во всех рассмотренных штепсельных соединениях из обзора литературы. В случае с монолитным строительством использование гофрированных труб вызывает определенные сложности в процессе производства работ, так как в процессе бетонирования они могут быть смещены. Упрощением будет являться применение заранее подготовленных закладных деталей с использованием гладких труб, в которые будут приходиться рабочие стержни арматуры несущих вышележащих конструкций. Данные детали устанавливаются в проектное положение до начала бетонирования монолитных конструкций. Упрощается процесс монтажа на строительной площадке. Открытым остается вопрос совместной работы гладкой поверхности трубы и мелкозернистого наливного бетона после застывания, который используется как клеевой раствор для вклеивания арматурных стержней.

Объект исследования: штепсельное соединение арматурных стержней на быстротвердеющей бетонной смеси наливного типа.

Предмет исследования: напряженно-деформированное состояние и несущая способность штепсельного соединения.

Цель: подтверждение высокой степени адгезии стали к быстротвердеющей бетонной смеси наливного типа, анализ напряженно-деформированного состояния и несущей способности экспериментального образца штепсельного соединения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– проанализировать напряженно-деформированное состояние экспериментального образца под действием растягивающей нагрузки;

– определить относительные деформации при растяжении экспериментального образца методом фотограмметрической съемки;

- выполнить построение графиков зависимости деформаций от напряжений, возникающих при растяжении арматурного стержня;
- произвести сравнение диаграмм деформирования арматурного стержня, полученных в ходе экспериментального исследования и теоретического расчета;
- экспериментальным путем подтвердить высокую степень адгезии стали к быстротвердеющей смеси наливного типа при действии растягивающей нагрузки.

2 Materials and Methods

Конструкция экспериментального образца представляет собой штепсельный стык, который сформирован из металлической трубы, в которую выполнено вклеивание арматурного стержня на наливную бетонную смесь. Такое соединение может быть использовано при стыке сборного и монолитного железобетона. До начала бетонирования в монолитную конструкцию устанавливаются закладные детали из гладких труб, в которые впоследствии вклеиваются арматурные стержни сборной железобетонной конструкции на быстротвердеющую бетонную смесь наливного типа.

Экспериментальное исследование образцов будет производиться на разрывной машине Р-100 с максимальным растягивающим усилием в 1000 кН. Метод испытания – статическое растяжение. Количество испытываемых образцов было принято равным 6. Схема испытания представлена на рис.1.

Методика эксперимента предполагает приложение нагрузки ступенчато с шагом 1 тонна или 9.81 кН.

Условия проведения эксперимента: $t=+22^{\circ}\text{C}$, влажность 45%.

Сам образец [18] представляет собой трубу из стали класса С255 с размером 50x5 мм длиной 1000 мм, в которую вклеен арматурный стержень диаметром 25 мм А500С на быстротвердеющую бетонную смесь наливного типа (рис.2). Верхний зажим разрывной машины крепится к концу арматурного стержня, а нижний зажим к детали, являющейся захватом. Данная деталь приваривается к стальной трубе шестью сварными швами длиной 100 мм каждый.

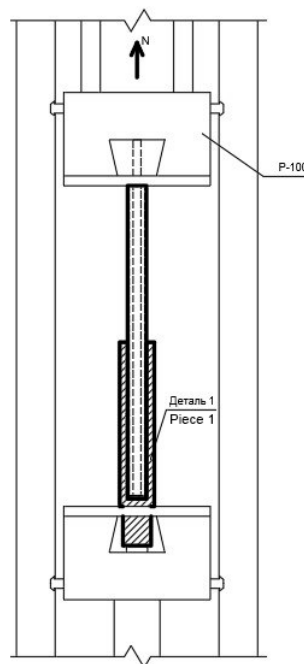


Рис. 1 - Схема испытания на растяжение
Fig. 1. Tensile testing scheme

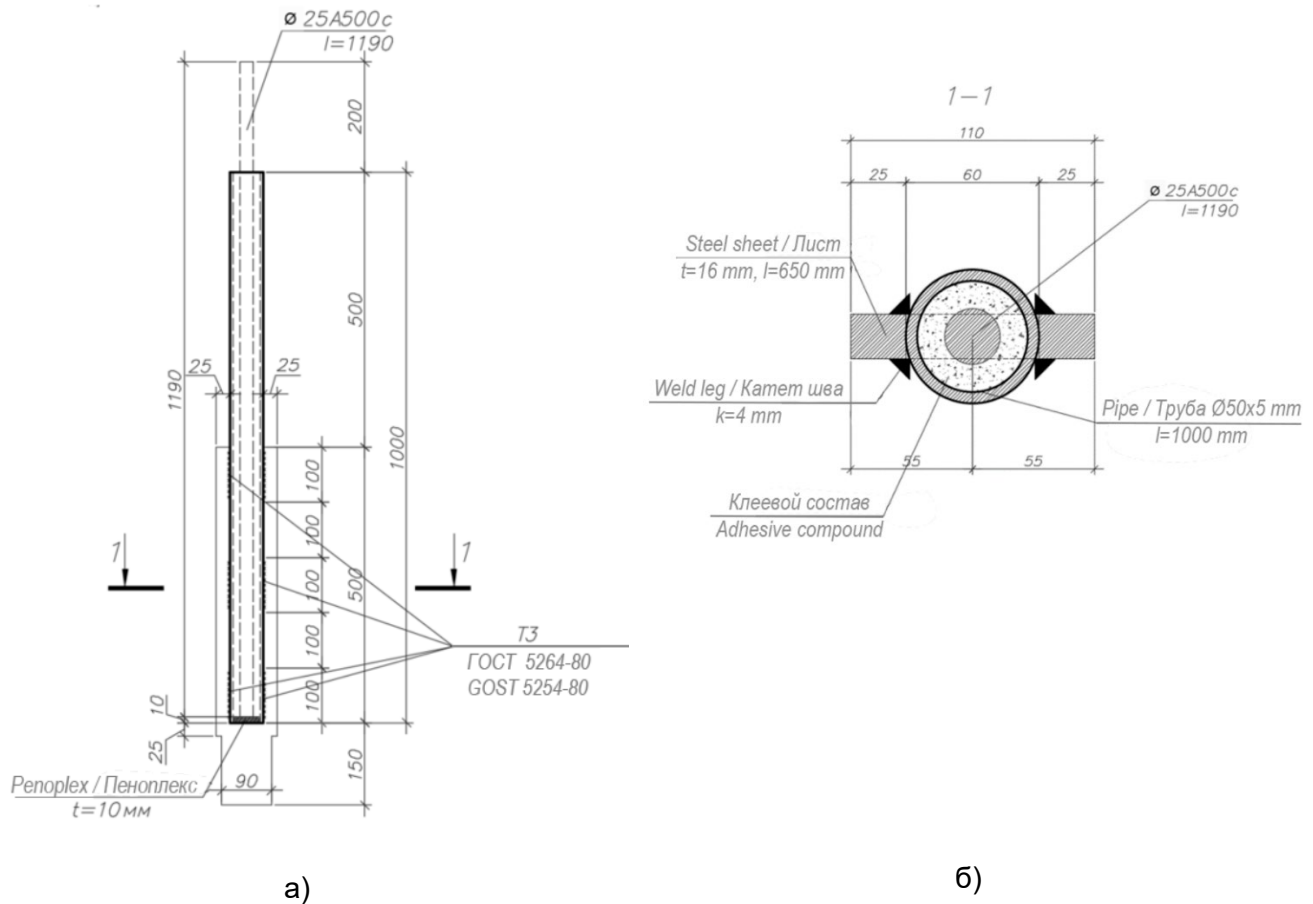


Рис. 2 - Экспериментальный образец: а – вид спереди; б – вид сверху
 Fig. 2. Experimental sample: a – front view; b – top view

3 Results and Discussion

Для оценки деформирования образца был принят метод фотограмметрической съемки, точность которого была описана в статье [19]. Настройки камеры важны для фотограмметрического качества фотографий, необходимо использование фотографии с высоким разрешением. Применение данного метода позволяет оценить перемещения в конструкции с точностью до 0.0002 м. [20].

Суть метода заключается в определении деформаций строительных конструкций путем перемещения марки в плоскости фотографий, сделанных с одной закрепленной камеры. Контрольными приняты марки, обозначенные на рис.3. В процессе работы был определен масштаб отдельной марки и размер одного пикселя в плоскости фотографии. Зная размер пикселя, можно определить точное расстояние между двумя контрольными марками, а следовательно, и удлинение экспериментального образца в процессе испытания на растяжение. Вертикальный размер стороны квадрата внутри марки – 5 мм, исходя из этого можно определить масштаб одного пикселя, который в данном эксперименте соответствует 0.156 мм (рис.4-5).

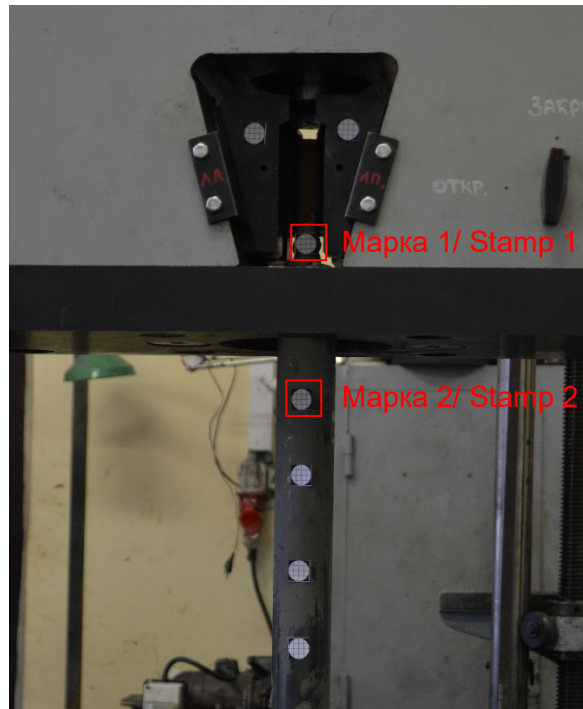


Рис. 3 - Контрольные марки экспериментального образца
Fig. 3. Control stamps of the experimental sample

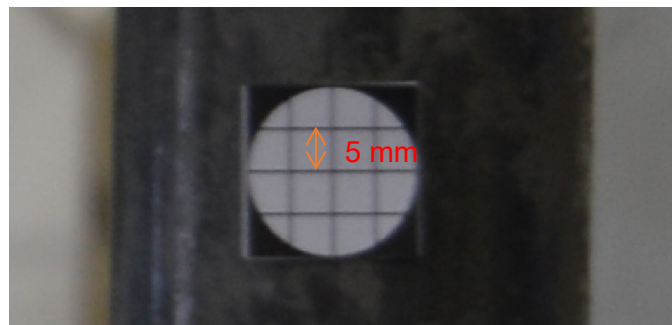


Рис. 4 - Контрольная марка
Fig. 4. The control stamp

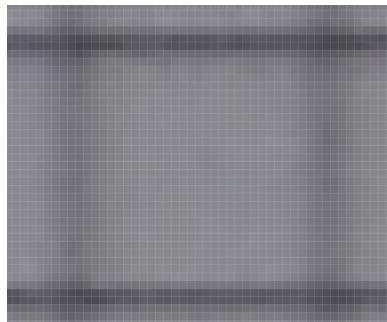


Рис. 5 - Количество пикселей в пределах 5 мм
Fig. 5. The number of pixels within 5 mm

Как было описано ранее, в эксперименте было испытано на растяжение шесть образцов. Для каждого были определены относительные деформации, вычисленные по формуле 1:

$$\varepsilon_i = \frac{l_i - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где:

l_0 – начальное расстояние между контрольными марками, мм;

l_i – расстояние между контрольными марками при определенном значении действующей нагрузки, мм.

Ardeeva K.; Shkoliar, F.

Anchoring of a working rebar made with a plug connection;
2025; AlfaBuild; 33 Article No 3303. doi: 10.57728/ALF.33.3



Напряжение при каждой новой ступени нагрузки определялось по формуле 2:

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_0} \sigma = 689 \text{ МПа}, \quad (2)$$

где:

F_i – нагрузка, действующая в данный момент времени, кН;

A_0 – первоначальная площадь сечения арматурного стрежня, равная 490.9 мм².

Максимальная деформация стержня в момент разрыва у одного из образцов $\varepsilon = 0.202$ при напряжении $\sigma = 689$ МПа.

В таблице 1 приведены основные результаты эксперимента, а именно усилия и напряжения в момент разрыва образца.

Таблица 1. Результаты по эксперименту
Table 1. The results of the experiment

№ образца	Разрывное усилие		Предел прочности		Место разрушения	Вид дефекта
	т	кН	кг/мм ²	МПа		
1	34.5	338.445	70.3	689	По основному металлу арматурного стрежня	Отсутствует
2	34.3	336.483	69.9	685	По основному металлу арматурного стрежня	Отсутствует
3	34.0	333.54	69.3	679	По основному металлу арматурного стрежня	Отсутствует
4	33.1	324.711	67.4	661	По основному металлу арматурного стрежня	Отсутствует
5	34.7	340.407	76.2	747	По основному металлу арматурного стрежня	Отсутствует
6	32.9	322.749	67.0	657	По основному металлу арматурного стрежня	Отсутствует

На основе проделанного эксперимента был определен характер разрушения экспериментального образца, который произошёл по основному материалу арматурного стрежня. Зона относительного удлинения и сужения арматурного стержня находилась в уровне верхней грани металлической трубы, центр разрыва арматурного стержня проходил по ее грани. Стоит заметить, что после превышения расчетных напряжений происходило выкалывание бетона вокруг арматурного стержня, зона которого, как правило, соответствовала его относительному удлинению (рис.6). Экспериментальное исследование подтвердило теоретические предпосылки того, что данное соединение по клеевому шву имеет большую несущую способность, чем клеиваемый арматурный стержень по основному металлу.



Рис. 6 - Экспериментальные образцы после проведения испытания
Fig. 6. Experimental samples after the test

Результаты, полученные в ходе проведения эксперимента, были представлены в виде диаграмм зависимости относительных деформаций от напряжений. Данные диаграммы были также проанализированы в соответствии с существующими натурными экспериментами [21] и численным моделированием [22]. На рисунке 6 приведена диаграмма деформирования арматурного стрежня для одного из экспериментальных образцов и диаграмма, построенная согласно пункту 6.2. свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции» [23].

Deformation diagrams of a reinforcing bar with a diameter of 25 mm (A500C)

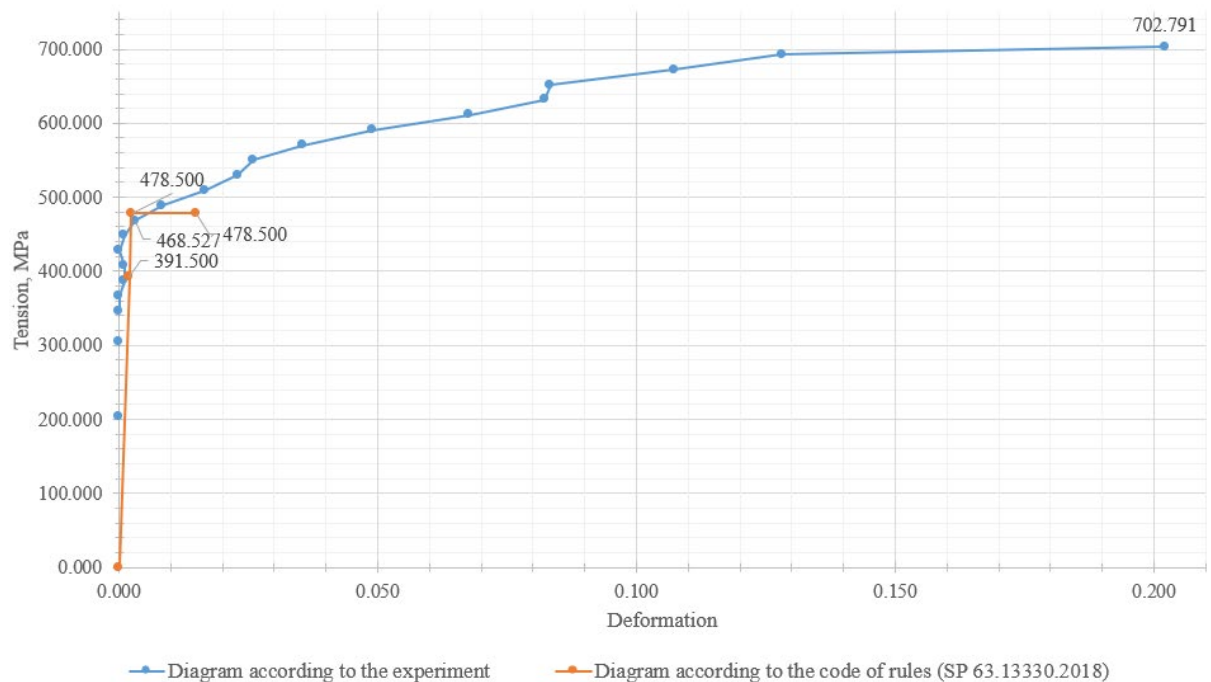


Рис. 7 - Диаграммы деформирования арматурного стрежня A500C
Fig. 7. Deformation diagrams of the A500C reinforcing bar

Как видно из представленных диаграмм, начало площадки текучести арматурного стрежня имеет сходимость между экспериментальными и нормативными значениями. Для экспериментального образца это значение напряжения равняется 468.527 Мпа, а усилие в стержне равняется 23 тонны.

Во время проведения эксперимента было замечено, что происходит выкалывание бетона из стальной трубы вокруг того места, где происходила деформация арматурного стрежня. Пример

выкалывания бетона представлен на рис.8. Глубина выкалывания варьировалась от 10 до 15 мм в разных экспериментальных образцах. Данный процесс подробнее был рассмотрен в [24]. Отрыв бетона происходит в виде условного усеченного конуса после образования трещины на поверхности конуса. Можно предположить, что в зоне относительного удлинения и сужения арматурного стержня напряжения в бетоне превосходят значение расчетного сопротивления. Следовательно, после выкалывания некоторой части массива бетона уменьшается анкеровка арматурного стержня. Данным процессом можно пренебречь в случаях, когда нагрузка прикладывается единоразово, но при циклических воздействиях выкалывание бетона необходимо учитывать. В данном эксперименте было подтверждено, что выкалывание происходит после упругой стадии, то есть при переходе арматурного стержня в состояние текучести. Но при превышении расчетных усилий в стержне, может происходить постепенное уменьшение длины анкеровки стержня, что впоследствии приведет к потере прочности соединения конструкций. В процессе дальнейших исследований в ПК Ansys планируется выполнить численный эксперимент и отследить точные значения напряжений в месте выкалывания бетона из стальной трубы. При моделировании образца важно учесть стык гладкой поверхности стальной трубы и бетона [25]. Контакт между арматурой и бетоном можно считать жестким соединением [26], анкеровка обеспечивает прочность данного соединения. Примером взаимодействия между гладкой трубой и бетоном могут служить статьи о расчетах трубобетонных колонн [27], в данных стыках задается трение между двумя поверхностями.

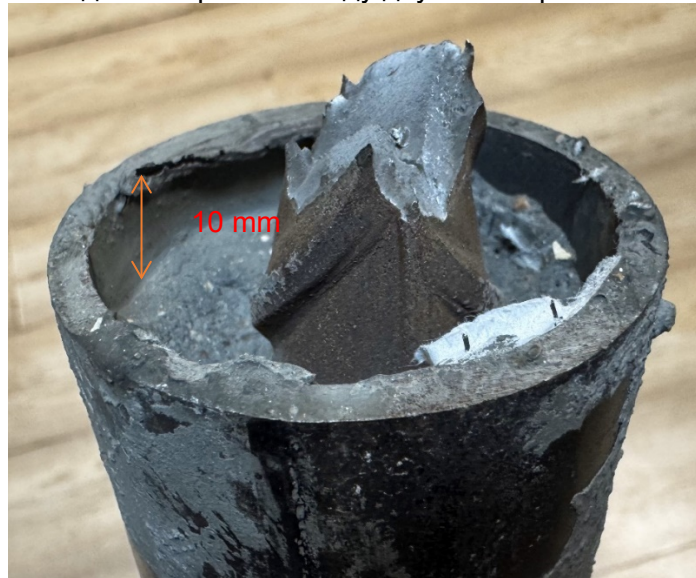


Рис. 8 - Выкалывание бетона из стальной трубы в процессе испытания на растяжение
Fig. 8. Chipping concrete out of a steel pipe during a tensile test

4 Conclusions

1. Определены относительные деформации арматурного стержня методом фотограмметрической съемки. Размер одного пикселя принят 0.156 мм. Максимальное значение относительной деформации арматурного стержня до момента разрыва 0.202;

2. Построены графики зависимости деформаций от напряжений, возникающих при растяжении арматурного стержня на основании эксперимента и свода правил 63.13330.2018.

3. Выполнено сравнение диаграмм деформирования арматурного стержня при экспериментальном исследовании и нормативному расчету. Диаграммы имеют сходимость. Предел текучести арматурного стержня наступает приблизительно при нагрузке 23 тонны;

4. На основе проведенного анализа напряженно-деформированного состояния выявлено выкалывание бетона в местах относительного удлинения и сужения арматурного стержня после превышения расчетных напряжений. Однако в расчетной ситуации не происходит уменьшения значения анкеровки арматуры, так как выкалывание бетона происходит после упругой стадии работы арматуры;

5. Подтверждена высокая степени адгезии стали к быстротвердеющей смеси наливного типа при действии растягивающей нагрузки. Экспериментальный образец разрушился по основному



металлу арматурного стержня за пределами трубы. Равнопрочность клеевого соединения арматуры обеспечена.

References

- 1 Skriabin, A. S. (2021) Welded joint reinforced concrete columns. Advantage and disadvantages. *Young Scientist*, **393 (51)**, 72–73. <https://moluch.ru/archive/393/86993/>
- 2 Sokolov, B.S. (2016) Theoretical basis of calculation methods of plug joints of reinforced concrete structures of buildings and constructions. *Housing Construction*, **3**, 60-63. <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-osnovy-metodiki-rascheta-shtepselnyh-stykov-zhelezobonnyh-konstruktsiy-zdaniy-i-sooruzheniy>
- 3 Lizunova, N. S. (2014) Computer modeling of the stress-strain state of plug joints reinforced concrete columns under shear. *News Kazan State University of Architecture and Engineering*, **29 (3)**, 56–61. <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-shtepselnyh-stykov-zhelezobonnyh-kolonn-pri-sdvige>
- 4 Rong, Qiang and Luo, Qinger. (2020) Experimental Study on Seismic Performance of an Improved Precast Reinforced Concrete Column-to-Column Joint. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, **50(3)**, 1–18. <https://doi.org/10.1080/15397734.2020.1763183>
- 5 Lyublinskiy, V.A. and Mironova, J.V. (2022) Increasing the Resistance of the Plug Joint of Columns to Progressive Collapse. *Building and Reconstruction*, **5**, 57–66. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-103-5-57-66>
- 6 Sokolov, B.S., Troshkov, E.O., Pozdeev, V.M. (2016) Экспериментальные Исследования Сштепсельных Стыков 2 Типа На Сзхатие со Слухажным Экспентриситетом. *Mezhdunarodnaja nauchnaja konferentsiia, posviashchennaja 85-letiiu kafedry zhelezobonnykh i kamennykh konstruktsii i 100-letiiu so dnia rozhdeniia N.N. Popova*, 394–398. <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vxxktd>
- 7 Sokolov, B.S., Troshkov, E.O. (2017) Comparison of computer simulation and experimental studies of socket joints of precast reinforced concrete columns with floor slabs. *Housing Construction*, **7**, 41-46. <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnienie-rezultatov-kompyuternogo-modelirovaniya-i-eksperimentalnyh-issledovaniy-shtepselnyh-stykov-sbornyh-zhelezobonnyh-kolonn>
- 8 Bogdanova, D.I. (2021) Technical and economic comparison of precast-monolithic frames to the kub 2.5 and uifks systems. *Forum Molodykh Uchenykh*, **57(5)**. <https://cyberleninka.ru/article/n/tehniko-ekonomicheskoe-sravnienie-sorno-monolitnyh-karkasov-po-sisteme-kub-2-5-i-uikss>
- 9 Hu, Ju-Yun and Hong, Won-Kee. (2016) Experimental Investigation of Precast Concrete Based Dry Mechanical Column–Column Joints for Precast Concrete Frames. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **26(5)**. <https://doi.org/10.1002/Tal.1337>
- 10 Roberto, Guidotti and Fernández Ruiz, Miguel. (2021) Crushing and Flexural Strength of Slab-Column Joints. *Engineering Structures*, **33**, 855-867. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.12.007>
- 11 Zoubek, Blaž and Fischinger, Matej. (2015) Estimation of the Cyclic Capacity of Beam-to-Column Dowel Connections in Precast Industrial Buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **13(7)**, 2145–2168. <https://doi.org/10.1007/S10518-014-9711-0>
- 12 Mirsayapov, I.T., Gainetdinov, R.G., Salimzyanov, I.R. (2024) Connections of reinforced concrete columns with foundations. *News Kazan State University of Architecture and Engineering*, **68 (2)**, 124–135. <https://cyberleninka.ru/article/n/uzly-sopryazheniya-zhelezobonnyh-kolonn-s-fundamentami>
- 13 Uzun, M., Cogurcu, M. (2023) An Innovative Connection Proposal for the Precast Prestressed Column-Foundation Connection. *Materials and Structures*, **56(7)**. <https://doi.org/10.1617/s11527-023-02218-5>
- 14 Uzun, M., Cogurcu, M. (2022) Experimental Investigation of a New Precast Column-Foundation Connection under Cyclic Loading. *Journal of Building Engineering*, **50**. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104245>
- 15 Mironova, J.V., Suleymanov, A.M. (2023) Constructive solution of the joint of columns with the floor slab in a prefabricated-monolithic frame to increase resistance to progressive collapse. *News Kazan State University of Architecture and Engineering*, **65(3)**. https://doi.org/10.52409/20731523_2023_3_135

Ardeeva K.; Shkoliar, F.

Anchoring of a working rebar made with a plug connection;
2025; AlfaBuild; 33 Article No 3303. doi: 10.57728/ALF.33.3



- 16 Barsukov, V. G., Lezhava, A. G., Evseeva, E. A. (2024) Features of the stress state of composite reinforcement during tensile tests. *Science & Technique*, **23(6)**, 492–499. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-6-492-499>
- 17 GOST 8732–78. Truby stal'nye besshovnye goriachedeformirovannye. Sortiment – 1979. – 11 s. <https://www.krasn.eamt.k.ru/uploads/gost-8732-78.pdf>
- 18 Ardeeva, K.A., Shkoliar, F.S. (2023) Podgotovka Ėksperimenta Po Proverke Prochnosti Shtepsel'nogo Styka. *Nedel'ia Nauki ISl: Sbornik Materialov Vserossiiskoi Konferentsii. Tom Chast' 2*, 430–433. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=69183901&pff=1>
- 19 Shkoliar, F.S. (2019) Ėksperimental'noe Issledovanie Otsenki Tochnosti Izmereniia Deformatsii Konstruktsii Metodom Fotogrammetricheskoj s"emki. *PROEKTIROVANIE I STROITEL"STVO: sbornik nauchnykh trudov 3-ï Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov, magistrów i bakalavrov*, 386–389. <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qrxebv>
- 20 Kutilova, L., Chermoshentsev, A.Ī. (2020) Application of terrestrial photogrammetric survey to analyze the deformations of buildings. *Interexpo GEO-Siberia*, **6(1)**, 200–204. <http://dx.doi.org/10.33764/2618-981X-2020-6-1-200-204>
- 21 Donchenko, O. M., Suleymanova, L. A., Kryuchkov, A. A., Logachev, K. I. (2022) Universal analytical dependence of deformation-strength properties of reinforcing steels under force tension. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, **7(8)**, 27–34. <http://dx.doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-8-27-34>
- 22 Mirsayapov, I.T., Minzyanov, R.I., Zainutdinov, A.M. (2023) Numerical study of the stress-strain state in the contact zone of concrete and reinforcement under static loading. *News Kazan State University of Architecture and Engineering*, **3(65)**, 122–134. <https://cyberleninka.ru/article/n/chislennoe-issledovanie-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-v-zone-kontakta-betona-i-armatury-pri-staticheskom-nagruzhenii>
- 23 (2019) SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii. Osnovnye polozheniia. SNiP 52-01-2003. Moskva.: Standartinform, **118** <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293732/4293732352.pdf>
- 24 Krasnoshchekov, Y.V. (2021) Model of shear test for tearing strength of concrete. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, **18(2)**, 216–224. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-216-224>
- 25 Vedernikova, A.A. (2022) Finite element models of concrete filled steel tubes subjected to eccentric compression. *Engineering journal of Don*, **11(95)**, 16–32. <https://cyberleninka.ru/article/n/chislennye-issledovaniya-trubobetonnyh-elementov-pri-vnetsentrennom-szhatii>
- 26 Nikolyukin, A.N., Yartsev, V.P., Mamontov, S.A., Kolomnikova, I.I., Al Ward, A.M. (2019) Analysis of the stress-strain condition of concrete and reinforcement in the area of their engagement in the ansys software package. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, **11**, 43–41. <http://dx.doi.org/10.34031/2071-7318-2019-4-11-43-52>
- 27 Ovchinnikov, I.I., Ovchinnikov, I.G., Chesnokov, G.V., Mikhaldykin, E.S. (2015) About the problem of the analysis of tube-confined concrete structures with a shell made of different materials. Part 1. The application of tube-confined concrete with metal shell. *The Eurasian Scientific Journal*, **4(29)**. <https://cyberleninka.ru/article/n/chislennye-issledovaniya-trubobetonnyh-elementov-pri-vnetsentrennom-szhatii>