

УДК 691.87, 693.554

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-105-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-105-116)

EDN: ORPAWU

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ КОРРОЗИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ АРМАТУРЫ НА СОВМЕСТНУЮ РАБОТУ С БЕТОНОМ

В.Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук

Н.А. СПИВАК[✉], канд. техн. наук

Е.Н. КОРОЛЕВА

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Статья посвящена исследованиям возможности использования стальной арматуры, содержащей следы коррозии, определению максимальной степени коррозионного поражения арматуры. Хотя многолетние исследования показали, что арматуру, пораженную коррозией, допустимо использовать при изготовлении железобетонных конструкций, в различных исследованиях и нормативных документах приводятся различные условия использования такой арматуры, установлен разный порог поражения (толщина слоя ржавчины на поверхности арматуры).

Целью работы являлось определение максимальной толщины слоя ржавчины на поверхности профилированной арматуры, при которой сохраняются физико-механические характеристики арматуры и не нарушается способность совместной работы с бетоном. Определение степени коррозионного поражения арматуры, при котором допустимо ее использование в железобетоне для уточнения действующих нормативных документов по защите строительных конструкций от коррозии.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились на образцах арматуры классов А500 и А800 с различной степенью коррозионного поражения, толщиной слоя ржавчины 0, 150, 250, 300 мкм. Для определения совместной работы с бетоном использовался бетон классов В15 и В20. Определение физико-механических характеристик арматуры с различной толщиной слоя ржавчины проводили по методике ГОСТ 12004-81 на образцах арматуры диаметром 12 мм, длиной 400 мм. Определение стойкости арматурной стали к коррозионному растрескиванию проводили по методике ГОСТ 31383-2008 на образцах арматуры диаметром 12 мм, длиной 400 мм. Определение пассивирующего действия бетона по отношению к стальной арматуре проводили по методике ГОСТ 31383-2008 на бетонных образцах-призмах размерами 70 × 70 × 140 мм с арматурой диаметром 12 мм, длиной 120 мм в центре. Определение сцепления арматуры с бетоном проводили по методике ГОСТ 31938-2012 на бетонных образцах-кубах с ребром 150 мм, с арматурой диаметром 12 мм, длиной 500 мм в центре.

Результаты. Результатом исследований являются экспериментальные данные по физико-механическим характеристикам арматуры с разной степенью коррозионного поражения, данные по стойкости арматурной стали к коррозионному растрескиванию, данные по пассивирующему действию бетона двух классов по отношению к стальной арматуре с разной степенью коррозионного поражения, данные по сцеплению арматуры разной степенью коррозионного поражения с бетоном двух классов.

Выводы. В рамках работы подготовлена и реализована программа экспериментальных исследований, которая включала изготовление и испытание образцов арматуры двух классов с четырьмя степенями коррозионного поражения с использованием бетона двух классов. По результатам экспериментальных исследований было определено влияние коррозионного поражения арматуры различной степени на характеристики железобетона.

Сделан вывод о том, что наличие слоя ржавчины на поверхности арматуры толщиной до 150 мм не ухудшает ее физико-механические характеристики, не снижает стойкость к коррозионному растрескиванию, не ухудшает совместную работу с бетоном. Дальнейшее увеличение толщины слоя ржавчины на поверхности арматуры снижает эти характеристики, кроме сцепления с бетоном. Зависимости напряжения сцепления бетона с арматурой от толщины слоя ржавчины не наблюдалось.

Ключевые слова: арматура, арматурная сталь, степень коррозионного поражения, допустимые параметры, сцепление с бетоном, долговечность железобетонных конструкций

Для цитирования: Степанова В.Ф., Спивак Н.А., Королева Е.Н. Влияние степени коррозионного поражения арматуры на совместную работу с бетоном. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;40(1):105–116. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-105-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-105-116)

Вклад авторов

Степанова В. Ф. – подготовка программы испытаний, анализ результатов исследований.

Спивак Н. А. – подготовка и проведение экспериментальных исследований, анализ результатов исследований.

Королева Е. Н. – анализ результатов исследований.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 04.12.2023

Поступила после рецензирования 26.12.2023

Принята к публикации 18.01.2024

EFFECT OF THE DEGREE OF CORROSION DAMAGE IN REINFORCING BARS ON COMPOSITE ACTION WITH CONCRETE

V.F. STEPANOVA, Dr. Sci. (Engineering)

N.A. SPIVAK✉, Cand. Sci. (Engineering)

E.N. KOROLEVA

*Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction,
2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation*

Abstract

Introduction. The article examines the possibility of using steel reinforcement with instances of corrosion and determines the maximum degree of corrosion damage in reinforcing bars (rebars). Although long-term studies show that corroded reinforcement can be used in the manufacture of reinforced concrete structures, some studies and regulatory documents provide different conditions for the use of such rebars, as well as establishing different corrosion thresholds (thickness of the rust layer on the rebar surface).

Aim. To determine the maximum thickness of the rust layer on the surface of corrugated rebars, at which the physicomехanical characteristics of reinforcement are preserved and the capability for composite action with concrete is not hampered; to determine the degree of corrosion damage in rebars at which its use in reinforced concrete is permissible in order to revise the existing regulatory documents on the protection of structures against corrosion.

Materials and methods. The experimental studies were conducted on rebar specimens of two classes (A500 and A800) exhibiting different degrees of corrosion damage (rust layer thickness of 0, 150, 250, and 300 μm). In order

to determine the composite action with concrete, B15 and B20 concrete was used. The physicommechanical characteristics of rebars with different rust layer thicknesses were determined on rebar specimens having a diameter of 12 mm and length of 400 mm according to the procedure specified in State Standard 12004-81. The reinforcing steel resistance to corrosion cracking was determined on rebar specimens having a diameter of 12 mm and a length of 400 mm as per the procedure given in State Standard 31383-2008. The passivating effect of concrete on steel reinforcement was determined on concrete specimens — $70 \times 70 \times 140$ mm prisms, with rebars having a diameter of 12 mm and a length of 120 mm in the center — according to the procedure given in State Standard 31383-2008. The bond between rebars and concrete was determined on concrete specimens-cubes (150 mm on edge), with rebars having a diameter of 12 mm and a length of 500 mm in the center — using the procedure specified in State Standard 31938-2012.

Results. The study yielded experimental data on the physicommechanical characteristics of rebars exhibiting different degrees of corrosion damage; on the resistance of reinforcing steel to corrosion cracking; data on the passivating effect of concrete of two classes on steel rebars exhibiting different degrees of corrosion damage; data on the bond between rebars corroded to various degrees and concrete of two classes.

Conclusions. As part of the work, an experimental research program was developed and implemented, which involved the production and testing of rebar specimens of two classes exhibiting four degrees of corrosion damage with the use of concrete of two classes and. The experimental study results were used to determine the effect of corrosion damage of varying degree in rebars on the characteristics of reinforced concrete.

The presence of a rust layer on the rebar surface of up to 150 mm in thickness was found not to degrade its physicommechanical characteristics, not to decrease its resistance to corrosion cracking, and not to reduce its composite action with concrete. Any further increase in the thickness of the rust layer on rebar surface reduces these characteristics, except for the bond to concrete. No dependence of rebar-concrete bond stress on the rust layer thickness was observed.

Keywords: reinforcement, reinforcing steel, corrosion damage degree, permissible parameters, bond to concrete, durability, reinforced concrete structures

For citation: Stepanova V.F., Spivak N.A., Koroleva E.N. Effect of the degree of corrosion damage in reinforcing bars on composite action with concrete. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;40(1):105–116. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-105-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-105-116)

Author contribution statements

Stepanova V.F. – test program development, analysis of study results.

Spivak N.A. – design and conduct of experimental studies, analysis of study results.

Koroleva E.N. – analysis of study results.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 04.12.2023

Revised 26.12.2023

Accepted 18.01.2024

Введение

В производстве железобетонных конструкций около 30 % по массе составляет арматура. Очень часто арматуру к месту строительства доставляют морским или речным транспортом и хранят на открытых складах. Такой транспорт и длительное хранение арматуры

на строительной площадке способствуют интенсивному развитию атмосферной коррозии. Интенсивность атмосферной коррозии зависит от продолжительности соприкосновения влаги с поверхностью, от метеоусловий, прежде всего от влажности воздуха, длительности пребывания электролита на металлической поверхности, состава атмосферы, температуры воздуха, физико-химических свойств продуктов коррозии. Разрушение арматуры в бетоне может иметь характер язвенного поражения ее отдельных участков либо равномерного уменьшения сечения по всей поверхности. Последнее более характерно и возникает вследствие перехода слоев металла в продукты коррозии в результате образования микропар, имеющих катодные участки меньшей площади, чем анодные. Такое явление наблюдается в карбонизированном бетоне или при воздействии на него других агрессивных сред. В тех случаях, когда площадь катодных участков превышает площадь анодных, на арматуре появляются отдельные пятна – язвы. Язвенная коррозия арматуры образуется при неравномерном проникновении в бетон хлоридов, разрушающих пассивирующую пленку на поверхности арматуры. Более опасна язвенная коррозия арматуры, так как при ней местное уменьшение сечения арматуры происходит значительно быстрее. Особенно опасна язвенная коррозия в предварительно напряженных конструкциях, где для армирования бетона используют высокопрочную арматуру [1–3].

Монолитное строительство, как правило, не имеет возможности организовать условия для хранения арматуры и не может прогнозировать длительность ее хранения. Такое положение приводит к развитию коррозии на стальной арматуре, что в свою очередь приводит к изменению ее состояния в зависимости от степени поражения. Изменение состояния поверхности арматуры, подвергшейся коррозии, играет большую роль в ее совместной работе с бетоном. Прочность сцепления между арматурой и бетоном в основном определяется химической адгезией, сцеплением и трением на поверхности арматуры. Когда арматура начинает подвергаться коррозии, на поверхности арматуры постепенно образуется ржавчина, которая изменяет характеристики поверхности гладкого арматурного стержня. Трение между арматурой и прочностью бетона значительно повышаются, поэтому адгезия может увеличиться в 2–3 раза после того, как арматура начнет подвергаться коррозии [4]. Также было установлено, что средний уровень коррозии не оказал существенного влияния на прочность сцепления, но имеет место существенное снижение сцепления, когда после этого коррозия увеличилась до более высокого уровня [5]. Неопределенность в определении безопасной степени коррозионного поражения арматуры просматривается, и разные трактовки этого отражены в нормативных документах. Так, в СП 229.1325800.2014 [2], СП 28.13330.2017 [6], ГОСТ 10922-2012 [7] установлены различные пределы степени коррозионного поражения стальной арматуры. В связи с этим проведение комплекса уточняющих исследований по данной тематике является актуальным и имеет значительный практический интерес.

Цель: проведение экспериментальных исследований по оценке влияния степени коррозионного поражения арматуры на совместную работу с бетоном, выявление предпосылок для совершенствования системы градостроительной деятельности в части уточнения и дополнения действующих нормативных документов по защите строительных конструкций от коррозии.

Материалы и методы

В 2023 году в НИИЖБ им. А. А. Гвоздева выполнена работа по исследованию влияния степени коррозионного поражения арматуры на свойства железобетона.

Для экспериментальных исследований были изготовлены и испытаны 60 образцов арматуры А500 и 60 образцов арматуры А800 с различной толщиной ржавчины (степенью коррозии): 0, 150, 250, 300 мкм. Так как в естественных условиях стальная арматура корродирует недостаточно быстро, для ускоренной коррозии была использована камера солевого тумана – модель DCTCT 1200P. На основании многолетнего опыта за величину поражения арматуры коррозией принята толщина слоя ржавчины на поверхности арматурного стержня. В проведенных исследованиях применен способ измерения слоя ржавчины на поверхности стальной арматуры периодического профиля без нарушения слоя с помощью прибора MT AKASCAN 20.07, область применения которого – измерение тонких диэлектрических пленок на поверхности электропроводных ферромагнитных материалов. Показания прибора MT AKASCAN 20.07 проверены и согласуются с показаниями нескольких методов определения толщины слоя ржавчины: механическая очистка, весовой метод с химической очисткой.

Определение физико-механических характеристик арматуры с различной толщиной слоя коррозии проводили по методике ГОСТ 12004-81 [8]. Для испытаний были изготовлены образцы арматуры одной партии класса А500 диаметром 12 мм, длиной 400 мм в количестве 12 шт. и образцы арматуры одной партии класса А800 диаметром 12 мм, длиной 400 мм – 12 шт. Три образца арматуры каждого класса, контрольные, не подвергали коррозии. Остальные подвергали ускоренной коррозии. Для каждого образца арматуры были определены физико-механические характеристики. Результаты испытаний приведены в табл. 1 и 2.

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что слой ржавчины на поверхности арматуры толщиной до 150 мкм не влияет на физико-механические характеристики арматуры. Увеличение толщины слоя ржавчины приводит к снижению физико-механических характеристик арматурной стали, по некоторым показателям – ниже нормативных.

Определение стойкости арматурной стали к коррозионному растрескиванию проводили по методике ГОСТ 31383-2008 [9]. Для испытаний были приготовлены образцы арматуры

Таблица 1

Физико-механические характеристики арматуры класса А500 с разной толщиной слоя коррозии

Table 1

Physicomechanical characteristics of A500 rebars with different corrosion layer thicknesses

Физико-механическая характеристика	Нормативное значение	Толщина слоя ржавчины, мкм			
		0	150	250	300
$\sigma_{0,2}$ – предел текучести (условный), Н/мм ²	≥ 500	589,8	585,7	537,8	520,7
σ_B – временное сопротивление, Н/мм ²	≥ 600	719,7	721,7	656,0	606,3
δ_s – относительное удлинение после разрыва, %	≥ 14	26	25,7	15,7	13,7
δ_p – равномерное относительное удлинение, %	≥ 2,0	10	9,7	5	4
δ_{max} – полное относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	≥ 2,5	10,4	10,3	6,7	4,7

Таблица 2

**Физико-механические характеристики арматуры класса А800
с разной толщиной слоя коррозии**

Table 2

Physicomechanical characteristics of A800 rebars with different corrosion layer thicknesses

Физико-механическая характеристика	Нормативное значение	Толщина слоя ржавчины, мкм			
		0	150	250	300
$\sigma_{0,2}$ – предел текучести (условный), Н/мм ²	≥ 800	1004,7	999,6	781,7	696,8
σ_b – временное сопротивление, Н/мм ²	≥ 1000	1134,3	1132,2	849,3	818,0
δ_s – относительное удлинение после разрыва, %	≥ 8,0	17,3	15,3	14,7	13,3
δ_p – равномерное относительное удлинение, %	≥ 2,0	4,7	4,3	3,3	2
δ_{max} – полное относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	≥ 2,5	5,3	5,0	3,7	2,5

одной партии класса А500 диаметром 12 мм, длиной 400 мм в количестве 12 шт. и образцы арматуры одной партии класса А800 диаметром 12 мм, длиной 400 мм в количестве 12 шт. Шесть образцов арматуры каждого класса, контрольные, не подвергали коррозии. Остальные подвергали ускоренной коррозии. Все образцы арматуры были испытаны на стойкость к коррозионному растрескиванию.

Контрольные образцы и образцы с толщиной слоя ржавчины 150 мкм арматуры класса А500 показали хорошую стойкость к коррозионному растрескиванию, все указанные образцы выдержали напряжение $R = 0,9 \times \sigma_{0,2}$ в течение 100 часов. Измерение прочностных показателей арматуры после испытаний показало, что слой ржавчины толщиной до 150 мкм не влияет на стойкость арматурной стали к коррозионному растрескиванию, временное сопротивление уменьшилось незначительно (1 %). Дальнейшее увеличение толщины слоя ржавчины привело к значительному уменьшению стойкости арматурной стали к коррозионному растрескиванию. По одному образцу с толщиной слоя ржавчины 250 и 300 мкм не выдержали 100 ч испытаний при напряжении $R = 0,9 \times \sigma_{0,2}$. У образцов, выдержавших 100 ч, прочностные показатели, определенные после испытаний, значительно снизились, временное сопротивление уменьшилось на 20–25 % по сравнению с контрольными образцами.

Контрольные образцы арматуры класса А800 с толщиной слоя ржавчины 150 мкм показали одинаковую стойкость арматурной стали к коррозионному растрескиванию – 46–48 ч. Образцы арматуры класса А800 с толщиной слоя ржавчины 250 и 300 мкм показали значительное снижение стойкости арматурной стали к коррозионному растрескиванию – 20–30 ч, что ниже контрольных образцов на 40–50 %.

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что слой ржавчины на поверхности арматуры толщиной до 150 мкм не влияет на стойкость арматурной стали к коррозионному растрескиванию. Увеличение толщины слоя ржавчины приводит к значительному снижению стойкости арматурной стали к коррозионному растрескиванию.

Определение пассивирующего действия бетона по отношению к стальной арматуре проводили по методике ГОСТ 31383-2008 [9]. Для испытаний были изготовлены образцы арматуры одной партии класса А500 диаметром 12 мм, длиной 120 мм в количестве 72 шт. и образцы арматуры одной партии класса А800 диаметром 12 мм, длиной 120 мм в количестве

72 шт. Восемнадцать образцов арматуры каждого класса, контрольные, не подвергали коррозии. Остальные подвергали ускоренной коррозии. Для испытаний были приготовлены два вида бетонной смеси. Из бетонной смеси двух составов были изготовлены контрольные образцы-кубы с ребром 100 мм по 6 шт. для испытаний по ГОСТ 10180-2012 [10] и образцы для испытаний по ГОСТ 31383-2008 [9] – призмы размерами 70 × 70 × 140 мм с арматурным стержнем в центре. Класс бетона был определен по ГОСТ 18105-2018 [11]. Таким образом были изготовлены образцы для испытаний. Все образцы были испытаны на пассивирующее действие бетона по отношению к стальной арматуре.

Результаты испытаний приведены в табл. 3–6.

Контрольные образцы (без следов коррозии) арматуры бетона обоих классов имеют на момент электрохимических испытаний неустойчивое пассивное состояние по плотности тока при потенциале +300 мВ и пассивное состояние по потенциалу через (60 ± 5) секунд после отключения тока.

Образцы арматуры обоих классов стали со слоем ржавчины 150 мкм в бетоне обоих классов на момент электрохимических испытаний имеют также неустойчивое пассивное состояние по плотности тока при потенциале +300 мВ и пассивное состояние по потенциалу через (60 ± 5) секунд после отключения тока.

Образцы арматуры обоих классов со слоем ржавчины 250 и 300 мкм в бетоне обоих классов на момент электрохимических испытаний имеют состояние интенсивной коррозии по плотности тока при потенциале +300 мВ и активное состояние коррозии по потенциалу через (60 ± 5) секунд после отключения тока.

Таблица 3

Характеристики пассивирующего действия бетона класса В15 по отношению к стальной арматуре А500 с разной толщиной слоя коррозии

Table 3

Passivating effect of B15 concrete on A500 steel rebars with different corrosion layer thicknesses

Характеристика пассивирующего действия бетона	Толщина слоя ржавчины, мкм			
	0	150	250	300
Плотность тока при потенциале +300 мВ, мкА/см ²	11,8	21,6	> 2000	> 2000
Потенциал через (60 ± 5) с после отключения тока, мВ	+261	+38	-46	-30

Таблица 4

Характеристики пассивирующего действия бетона класса В20 по отношению к стальной арматуре А500 с разной толщиной слоя коррозии

Table 4

Passivating effect of B20 concrete on A500 steel rebars with different corrosion layer thicknesses

Характеристика пассивирующего действия бетона	Толщина слоя ржавчины, мкм			
	0	150	250	300
Плотность тока при потенциале +300 мВ, мкА/см ²	12,4	19,6	> 2000	> 2000
Потенциал через (60 ± 5) с после отключения тока, мВ	+270	+39	-27	-31

Таблица 5

Характеристики пассивирующего действия бетона класса В15 по отношению к стальной арматуре А800 с разной толщиной слоя коррозии

Table 5

Passivating effect of B15 concrete on A800 steel rebars with different corrosion layer thicknesses

Характеристика пассивирующего действия бетона	Толщина слоя ржавчины, мкм			
	0	150	250	300
Плотность тока при потенциале +300 мВ, мкА/см ²	13,2	21,2	> 2000	> 2000
Потенциал через (60 ± 5) с после отключения тока, мВ	+307	+49	-46	-47

Таблица 6

Характеристики пассивирующего действия бетона класса В20 по отношению к стальной арматуре А800 с разной толщиной слоя коррозии

Table 6

Passivating effect of B20 concrete on A800 steel rebars with different corrosion layer thicknesses

Характеристика пассивирующего действия бетона	Толщина слоя ржавчины, мкм			
	0	150	250	300
Плотность тока при потенциале +300 мВ, мкА/см ²	11,4	18,9	> 2000	> 2000
Потенциал через (60 ± 5) с после отключения тока, мВ	+322	+53	-16	-26

Определение сцепления арматуры с бетоном проводили по методике ГОСТ 31938-2012 [12]. Для испытаний были изготовлены образцы арматуры одной партии класса А500 диаметром 12 мм, длиной 500 мм – 48 шт. и образцы арматуры одной партии класса А800 диаметром 12 мм, длиной 500 мм – 48 шт. Шесть образцов арматуры каждого класса, контрольные, не подвергали коррозии. Остальные подвергали ускоренной коррозии. Для испытаний были приготовлены два вида бетонной смеси. Из бетонной смеси составов № 1 и 2 были изготовлены контрольные кубы с ребром 100 мм по 6 шт. для испытаний по ГОСТ 10180-2012 [10] и образцы для испытаний по ГОСТ 31938-2012 [12] – кубы с ребром 150 мм с арматурным стержнем в центре. Класс бетона был определен по ГОСТ 18105-2018 [11]. Таким образом были изготовлены образцы для испытаний. Все образцы были испытаны на сцепление арматуры с бетоном. Результаты испытаний приведены в табл. 7–10.

Только образцы арматуры класса А500 с бетоном класса В20 имеют тенденцию к снижению сцепления при увеличении толщины слоя ржавчины на поверхности арматуры. В остальных трех сериях образцов зависимость между сцеплением и толщиной слоя ржавчины на поверхности арматуры не наблюдается.

По результатам испытаний на сцепление стальной арматуры с бетоном можно сделать вывод, что сцепление арматуры с бетоном остается на одном уровне для разных классов арматуры и бетона и не зависит от степени коррозионного поражения арматуры до толщины ржавчины 300 мкм.

Таблица 7

**Показатели сцепления арматуры класса А500 с разной толщиной слоя ржавчины
с бетоном класса В15**

Table 7

Bond between A500 rebars with different corrosion layer thicknesses and B15 concrete

Показатели сцепления	Толщина слоя ржавчины, мкм			
	0	150	250	300
Напряжение сцепления, МПа	17,4	17,8	16,1	18,3

Таблица 8

**Показатели сцепления арматуры класса А500 с разной толщиной слоя ржавчины
с бетоном класса В20**

Table 8

Bond between A500 rebars with different corrosion layer thicknesses and B20 concrete

Показатели сцепления	Толщина слоя ржавчины, мкм			
	0	150	250	300
Напряжение сцепления, МПа	17,5	17,9	16,3	16,3

Таблица 9

**Показатели сцепления арматуры класса А800 с разной толщиной слоя ржавчины
с бетоном класса В15**

Table 9

Bond between A800 rebars with different corrosion layer thicknesses and B15 concrete

Показатели сцепления	Толщина слоя ржавчины, мкм			
	0	150	250	300
Напряжение сцепления, МПа	12,8	16,4	17,2	13,7

Таблица 10

**Показатели сцепления арматуры класса А800 с разной толщиной слоя ржавчины
с бетоном класса В20**

Table 10

Bond between A800 rebars with different corrosion layer thicknesses and B20 concrete

Показатели сцепления	Толщина слоя ржавчины, мкм			
	0	150	250	300
Напряжение сцепления, МПа	13,5	15,6	16,9	15,8

Заключение

Проведены испытания арматуры с различной степенью коррозионного поражения, определена зависимость физико-механических свойств арматуры от степени ее коррозионного поражения и на зависимость сцепления с бетоном арматуры с различной степенью коррозионного поражения.

Показано, что слой ржавчины на поверхности арматуры толщиной до 150 мкм не влияет на физико-механические характеристики арматуры и стойкость к коррозионному растрескиванию, арматура в бетоне находится в неустойчивом пассивном состоянии. Увеличение толщины слоя ржавчины свыше 150 до 300 мкм приводит к снижению физико-механических характеристик и стойкости к коррозионному растрескиванию арматурной стали для двух исследованных классов арматуры А500, А800, также арматура переходит в активное состояние интенсивной коррозии. Экспериментально не установлено влияние степени коррозионного поражения арматуры на сцепление ее с бетоном.

Список литературы

1. СП 130.13330.2018. Производство сборных железобетонных конструкций и изделий. Москва: Стандартинформ; 2019.
2. СП 229.1325800.2014. Железобетонные конструкции подземных сооружений и коммуникаций. Защита от коррозии. Москва: Минстрой России; 2015.
3. Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. Москва: Изд. АН СССР; 1960.
4. Wong H.S., Karimi A.R., Buenfeld N.R., Zhao Y.X., Jin W.L. On the penetration of corrosion products from reinforcing steel into concrete due to chloride-induced corrosion. *Corrosion Science*. 2010;52(7):2469–2480. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.03.025>
5. Sulaimani G.J, Kaleemullah K., Basunbul I.A, Rasheeduzzafar M. Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete members. *ACI Structural Journal*. 1990;87(2):220–231. <https://doi.org/10.14359/2732>
6. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. Москва: Минстрой России; 2017.
7. ГОСТ 10922-2012. Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязанные и механические соединения для железобетонных конструкций. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2013.
8. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. Москва: Стандартинформ; 2009.
9. ГОСТ 31383-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ; 2010.
10. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ; 2013.
11. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ; 2019.
12. ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2014.

References

1. SP 130.13330.2018. Precast concrete production. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
2. SP 229.1325800.2014. Reinforced concrete structures of underground and utility systems. Protection against corrosion. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2015. (In Russian).

3. *Rosenfeld I.L.* Atmospheric corrosion of metals. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1960. (In Russian).
4. *Wong H.S., Karimi A.R., Buenfeld N.R., Zhao Y.X., Jin W.L.* On the penetration of corrosion products from reinforcing steel into concrete due to chloride-induced corrosion. *Corrosion Science*. 2010;52(7):2469–2480. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.03.025>
5. *Sulaimani G.J., Kaleemullah K., Basunbul I.A., Rasheeduzzafar M.* Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete members. *ACI Structural Journal*. 1990;87(2):220–231. <https://doi.org/10.14359/2732>
6. SP 28.13330.2017. Protection against corrosion of construction. Updated version of SNiP 2.03.11-85. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2017. (In Russian).
7. State Standard 10922-2012. Welded reinforcing products and inserts, welded, lap and mechanical joints for reinforced concrete structures. General specifications. Moscow: Standardinform Publ.; 2013. (In Russian).
8. State Standard 12004-81. Reinforcing-bar steel. Tensile test methods. Moscow: Standardinform Publ.; 2009. (In Russian).
9. State Standard 31383-2008. Protection against corrosion of concrete and reinforced concrete constructions. Test methods. Moscow: Standardinform Publ.; 2010. (In Russian).
10. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standardinform Publ.; 2013. (In Russian).
11. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules for control and assessment of strength. Moscow: Standardinform Publ.; 2019. (In Russian).
12. State Standard 31938-2012. Fibre-reinforced polymer bar for concrete reinforcement. General specifications. Moscow: Standardinform Publ.; 2014. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Валентина Федоровна Степанова, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: vfstepanova@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-75-80

Valentina F. Stepanova, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vfstepanova@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-75-80

Николай Александрович Спивак✉, канд. техн. наук, заведующий сектором лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: nisan.52@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-76-37

Nikolai A. Spivak✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Sector of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: nisan.52@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-76-37

Елена Никитична Королева, старший научный сотрудник сектора лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: tamaximova@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-75-77

Elena N. Koroleva, Senior Researcher, Sector of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: tamakximova@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-75-77

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author