

УДК 691.32; 691.714

***ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ МАСС***

Петровнина И.Н.,

к.т.н., доцент

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, г. Пенза*

Романенко И.И.,

к.т.н., доцент

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, г. Пенза*

Пинт Э.М.,

к.т.н., профессор

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, г. Пенза*

Аннотация

Рассмотрена коррозия стальной арматуры в железобетонных конструкциях на шлакощелочном вяжущем при воздействии агрессивной среды. Выявлено, что бетон с содержанием мицелиальных масс (структурообразующая добавка) в количестве 3 % от расхода гидравлического вяжущего выполняет роль ингибитора коррозии арматурной стали.

Ключевые слова: шлакощелочные бетоны, коррозия, арматура, щелочность среды, пассивация, ингибитор коррозии, мицелий.

***IMPROVEMENT OF REINFORCED CONCRETE LONGEVITY
USING MYCELIAL MASSES***

Petrovnina I.N.,

Ph.D., Associate Professor

Penza State University of Architecture and Construction

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Russia, Penza

Romanenko I.I.,

Ph.D., Associate Professor

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, Penza

Pint E.M.,

Ph.D., professor

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, Penza

Annotation

The corrosion of steel reinforcement in reinforced concrete structures on slag-alkaline binder under the influence of aggressive environment is considered. It was revealed that concrete with the content of mycelial masses (structure-forming additive) for 3% of the flow rate of the hydraulic binder plays the role of a corrosion inhibitor of reinforcing steel.

Keywords: slag concrete, corrosion, reinforcement, alkalinity, passivation, corrosion inhibitor, mycelium.

Армирование железобетонных конструкций направлено на повышение несущей способности и эксплуатационных свойств конструкции. При этом, стальная арматура из-за склонности ее к коррозии, снижает долговечность железобетона. Решению этой важной проблемы посвящен ряд исследований ученых разных стран [1-3].

Для защиты стальной арматуры от коррозионного разрушения в бетоне необходимо обеспечить постоянное значение щелочной среды $pH \geq 12,5$, что способствует образованию на поверхности стали защитных слоев – оксидной пленки [4].

Однако с течением времени из-за карбонизации бетона или проникновения ионов хлора значение pH снижается, что приводит к

возникновению и развитию коррозии металла, а это в последствии вызывает образование трещин и сколов бетона. Следовательно, необходимым условием для повышения долговечности бетона, является его непроницаемость, которая может быть обеспечена путем использования бесцементных вяжущих и подбором оптимального состава бетона [5, 6].

Проведенные исследования [7] показали, что на поверхности стали, помещенной в гидратирующую цементную пасту (на основе портландцемента), образуются тонкие слои (пленки). Эти слои образуют плотный, почти непроницаемый барьер, благодаря чему коррозия замедляется или полностью прекращается. Такое состояние стали известно, как процесс пассивации.

Коррозия арматурной стали в бетоне является электрохимической коррозией, которая возникает в результате контакта металла с электролитом. При этом ионизация атомов металла (анодная реакция) протекает не одновременно с восстановлением окислительного компонента коррозионной среды (катодная реакция), а их скорости определяются электродным потенциалом металла.

Превращение металлического железа в бурую ржавчину сопровождается увеличением объема, который может достигать от 40,0 до 60,0 % исходного металла. Считается, что именно увеличение объема металла при коррозии является основной причиной расширения и растрескивания бетона [8].

Возникновение и развитие коррозии арматурной стали в бетонах зависит от состава, пористости и прочности бетона, величины рН среды порового пространства бетона, наличия химических добавок, количества тонкомолотых наполнителей и других факторов [9]. Поэтому для обеспечения надежности и долговечности эксплуатационных свойств железобетонных конструкций в агрессивных средах, первую очередь, необходимо повышение плотности и водонепроницаемости бетонов. Это возможно при правильном подборе состава бетонов, наличии модификаторов-добавок и повышении трещиностойкости бетонов.

Защитное действие бетонов по отношению к арматуре определяется способностью шлакощелочного бетона (ШЩБ) пассивировать сталь [1, 4, 8]. В ШЩБ может применяться модифицирующая добавка – гидролизный мицелий. Введение мицелия в ШЩБ позволяет получить бетоны с высокой водонепроницаемостью, создать структуру камня с преобладанием мелких пор округлой формы.

Предполагается, что коррозия арматурной стали в бетоне с добавкой мицелия может протекать с меньшей скоростью, чем в бетоне без добавок равной плотности. В связи с этим необходимо провести экспериментальную оценку коррозионной стойкости арматурной стали в бетоне с различным количеством добавки мицелия при воздействии агрессивных сред.

Для испытания стали в ШЩБ на коррозионную стойкость использовались армированные образцы размером 40×40×160 мм. Образцы изготавливались из мелкозернистого бетона состава 1:3 с Р/Ш = 0,4. Арматурные стержни из стали Ст3 очищались, полировались и обезжиривались.

Перед укладкой в бетон стержни взвешивались. После тепловлажностной обработки бетонные образцы хранились в камере нормального твердения. В возрасте 28 суток образцы ШЩБ подвергали попеременному увлажнению и высушиванию (4 – часа увлажнение погружением в воду, 8 часов – высушивание при температуре 50°С и 12 часов – пребывание на воздухе). Через 6, 9, 12 месяцев испытаний, образцы ШЩБ подвергались разрушению. Стержни очищали, промывали водой, высушивали и взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,01 г. Интенсивность коррозионного разрушения оценивали по потере массы арматурной стали:

$$\Delta = \frac{P - P_1}{S}$$

где: Δ – потеря массы, г/м²;

P – масса металлического образца до помещения его в ШЩБ, г;

P_1 – масса металлического образца после извлечения из ШЩБ, г;

S – площадь поверхности образца, m^2 .

Коррозионную стойкость арматура в ШЩБ с добавкой мицелия изучали в лабораторных условиях при полном погружении образцов в 5 % растворы NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄. Свойства мицелия представлены табл. 1.

Таблица 1

Характеристика мицелиальной массы

Наименование	Остаточный антибиотик $\mu g/kg$	pH	Содержание органической части, % от сухого в-ва	Процент от органической части				Процент от неорганической части		
				Липиды	Углеводы	Аминокислоты	Белки	Хлориды	Фосфаты	Сульфаты
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мицелий от производства олеандомицина	2-3	6,1	86-90	18-20	17-21	4,0-4,5	24-28	30	10	60

Результаты коррозионных испытаний, проведенных по оценке потери массы металла, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Потери массы арматуры в ШЩБ

на щелочном компоненте + жидкое стекло (1:1), при хранении в агрессивных средах (плотность щелочного раствора $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$)

Вид вяжущего	Дозировка добавки, % от массы шлака	Потери массы арматуры в бетоне во времени, в воде и растворах, $г/м^2$														
		H ₂ O			5% раствор NaCl			5% раствор Na ₂ SO ₄			5% раствор MgSO ₄			циклическое высушивание, увлажнение		
		6 мес	12 мес	24 мес	6 мес	12 мес	24 мес	6 мес	12 мес	24 мес	6 мес	12 мес	24 мес	6 мес	12 мес	24 мес
Новолипецкий	-	0,48	0,56	0,69	0,41	0,49	0,58	2,90	4,44	6,00	0,40	0,52	0,61	6,56	8,61	11,83
-//-	3	0,27	0,28	0,31	0,36	0,41	0,49	2,20	3,12	4,36	0,23	0,25	0,35	4,81	6,72	9,55
-//-	10	0,51	0,61	0,82	0,47	0,60	0,79	3,31	5,60	7,15	0,49	0,60	0,78	7,20	9,96	14,68

Результаты испытаний показали, что наиболее интенсивно арматура разрушается при выдержке в 5 %-ном растворе Na₂SO₄: потери массы стали в бетоне с добавкой 3 % мицелия в данном растворе оказались больше в 8-14 раз (в зависимости от времени выдержки), чем потери массы арматуры в бетоне аналогичного состава при выдержке в воде, а потери массы металла в бетоне с 10 %-ной добавкой – в 7-9 раз выше.

Полученные данные позволяют оценить степень коррозионного повреждения стали в зависимости от содержания добавки в бетоне. Так, во всех

используемых агрессивных средах потеря массы арматурной стали в ШЩБ с 3 % добавки мицелия меньше, чем в бетоне без добавки и с дозировкой мицелия 10 % (см. табл.). Повышение коррозионной стойкости арматуры в образцах ШЩБ можно объяснить оптимальной поровой структурой цементного камня при дозировке мицелия 3 %. При увеличении содержания добавки до 10 % возрастает объем крупных пор [4], что негативно сказывается на коррозионной стойкости арматуры.

Кроме количественной оценки коррозионной стойкости стали проводилась и качественная оценка состояния металла после хранения образцов ШЩБ в агрессивных средах и в воде.

Визуальное обследование арматуры показало, что для всех составов с 3 % добавкой характерно образование на поверхности металла ингибирующей пленки черного цвета, под которой во всех средах (H_2O , $NaCl$, $MgSO_4$) не обнаружено коррозионного поражения стали. Потери массы арматуры составляют 0,31-0,49 г/м², что значительно меньше граничного значения 1,5-2,0 г/м², ниже которых в соответствии с исследованиями [1] бетон обладает высоким защитным эффектом по отношению к арматуре. В случае, когда потери равны 4,0 г/м² и более пассивирующее действие бетона на арматуру пропадает.

К концу 24 месяцев испытаний ШЩБ в среде Na_2SO_4 , образцы металла с добавкой 10 % мицелия оказались покрытыми очагами питтинговой коррозии. Потери массы металла составили 7,15 г/м².

В результате циклического высушивания и увлажнения прослеживается закономерность – потери массы арматуры в 14-18 раз больше коррозионных потерь металла при хранении образцов бетона в воде. Для составов бетона с добавкой 3 % мицелия, отмечается меньшая величина потерь массы металла (9,55 г/м²), чем для составов бетона с 10 %-ми (14,68 г/м²) и для бетона бездобавочного состава (11,83 г/м²). На поверхности арматуры выявлены отдельные язвенные поражения. Металл, находящийся в бетоне с 10 %

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

мицелия, поражен более глубокими язвами. Можно полагать, что циклическое воздействие приводит к нарушению целостности бетона и защитной пленки.

Эти предположения подтвердились в проведенных исследованиях. Пассивация металла возможна путем использования оптимального количества гидролизного мицелия в качестве ингибирующей добавки, которое составляет 3 % от массы шлака.

Визуальные наблюдения свидетельствуют о том, что введение добавки гидролизного мицелия в количестве 3 % от массы шлака приводит к появлению защитных пленок (от золотисто-коричневых до черных), что согласуется с данными, приведенными в табл. 2.

Таким образом, более агрессивным воздействием на металл, следует считать попеременное увлажнение и высушивание по сравнению с хранением арматуры в агрессивных растворах. Введение гидролизного мицелия в шлакощелочной бетон в количестве 3 % от массы шлака способствует повышению защитных свойств бетона.

Библиографический список

1. Алексеев С.Н. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. -М.: Стройиздат, 1976. -205 С.
2. Сикорский О.Н. Исследование коррозионной стойкости мелкозернистых бетонов на шлакощелочных вяжущих для сельского строительства: Автореф.дис.канд.техн.наук. - Киев. 1979- 20 С.
3. Poursaee A, Laurent A, Hansson CM. Corrosion of steel bars in OPC mortarexposed to NaCl, MgCl₂ and CaCl₂: macro- and micro-cell corrosionperspective. Cem Concr Res 2010; 40:4 pp. 26–30.
4. Романенко И.И. Влияние гидролизного мицелия на фазовый состав продуктов гидратации шлакощелочного вяжущего // 27-я Научно-техн.конф. Пензенского ИСИ: Тез.докл. Пенза, 1993, С. 27-28.

5. Bertolini, L.; Elsener, B.; Pedferri, P.; Redaelli, E.; Polder, R.B. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair, 2nd ed.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2013.
6. Бойко М.В., Булгаревич С.Б. Вероятный координационный механизм растворения оксидной пленки на поверхности железа в водных средах // VI Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике». - Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. - С. 20–22.
7. Бойко М.В., Булгаревич С.Б., Коган В.А. Улучшение эксплуатационных свойств конструкционных сталей за счет модификации их поверхностных оксидных пленок на наноуровне // Инженерный вестник Дона. - 2009. - № 3. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/146.
8. Смирнов Д.С., Камалова З.А., Рахимов Р.З. Оценка коррозионной стойкости стальной арматуры в модифицированном бетоне //Известия КГАСУ. - 2014. - №3 (29). - С. 133-139.
9. Романенко И.И., Пинт Э.М., Романенко М.И. Деформации цементного камня, приводящие к образованию поверхностных трещин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2012. - № 4. - С. 32-36.

Оригинальность 84%