

АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ СТРОЯЩЕГОСЯ ЗДАНИЯ

Довгань И.В., Жудина В.И., Маковецкая Е.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

У роботі досліджувався склад висолів, що з'явилися на залізобетонних плитах перекриття недобудованої будівлі, і обговорюються можливі причини раннього руйнування цих плит.

1. Постановка задачи

Прочность и долговечность бетона и железобетона зависит от многих факторов. Если при проектировании и получении бетона учтены все эти факторы, то изделие со временем только набирает прочность [1]. В данной работе рассматривается факт прямо противоположный: уже в ходе строительных работ на железобетонных плитах перекрытия между подвалом и первым этажом строящегося здания наблюдается появление высолов, продольных трещин, затем отшелушивается поверхностный слой бетона и куски бетона отпадают, открывая железную арматуру, частично покрытую ржавчиной, т.е. наблюдается разрушение плиты. Первый этап разрушения – появление высолов обнаружено на 90% плит перекрытия.

По внешним проявлениям предположили, что разрушение бетонной плиты, которое сопровождается коррозией арматуры, может быть вызвано хлоридной коррозией бетона II вида. Если в бетон попадают хлориды, то усиливаются процессы растворения других составляющих. Гидроксид кальция выносятся по капиллярным порам на поверхность бетона. На поверхности бетона образуется налет карбоната кальция. Щелочность поровой жидкости бетона падает, начинается коррозия железной арматуры, хлориды ускоряют этот процесс. Для установления присутствия хлоридов в бетоне определяли их концентрацию в высолах и водной вытяжке трех образцов бетона.

Другой причиной появления высолов и трещин на бетоне может быть коррозия третьего вида, т.е. образование в бетоне кристаллогидратов. В бетоне создается напряжение, которое приводит к появлению трещин. Типичным примером коррозии третьего вида является сульфатная коррозия. Но не только сульфатная коррозия относится к третьему виду. Многие другие соли способны давать кристаллогидраты большого объема, чем исходные соединения. Для определения вероятности коррозии III вида анализировали высолы и водные вытяжки трех образцов бетона на присутствие сульфатов и карбонатов.

В литературе [2] описаны подобные случаи разрушения плит перекрытия строящихся зданий г. Москвы. Авторы считают, что разрушение может быть связано с загрязнением сырья при перевозке или нарушением технологии получения бетона. Имеются в виду три фактора.

Первое, бетон получали с использованием цемента или заполнителей, загрязненных инородными примесями. Например, чистые продукты перевозили в вагонах от удобрений, угля, извести, доломита и других веществ. Наличие инородных веществ нарушает процесс структурообразования. Размер «отстрелянных», вырванных кусков бетона в описанных случаях, также как и в нашем составил от 10 до 500 мм, число «отстрелов» достигало 50-60 единиц на площадь перекрытия. От количества и характера попавших примесей, считают авторы [2], зависит длительность процесса.

Второе, бетон получали с использованием заполнителей, содержащих активный кремнезем. Щелочи реагируют с SiO_2 , это приводит вначале к образованию мелких трещин, потом более крупных, а затем образуются сколы.

Третье, бетон – это неоднородное гетерогенное тело. Наличие пор и трещин в бетоне – неотъемлемая особенность строения материала. Формулы для расчета прочности бетона учитывают неоднородность и дефекты структуры материала. Заданная прочность достигается только при определенном соотношении однородности и неоднородности [3]. Авторы [2] считают, если смешивать цементы разных производителей, разных марок, то неоднородность и дефектность структуры достигают критического уровня. Например, нельзя смешивать цементы марки ПЦ400Д0, ПЦ400Д20, ПЦ400Д5. Схватывание различных цементов проходит с разной скоростью, темп набора прочности различается, поэтому структура бетона будет иметь дефекты. Это приведет к высолам и «отстрелам». То же самое наблюдается, если использовать смесь цемента ПЦ400Д0 разных производителей.

Кроме перечисленных факторов, на зарождение микротрещин оказывают влияние [1] объемные деформации, различие температурных и влажностных деформаций отдельных компонентов, температурные и влажностные градиенты, коррозионные воздействия среды эксплуатации и т.п. Процесс разрушения бетона можно рассматривать как развитие трещин, возникающих обычно по месту контакта цементного камня и заполнителя. Авторы [1,2] отмечают, что развитие микротрещин в бетоне со временем прекращается (эффект «самозалечивания»). В рассматриваемом случае процессы образования и развития трещин прекратились примерно через полгода.

Учитывая, что разрушению подвергались только плиты перекрытия между подвалом и первым этажом здания, хочется обратить внимание на следующую причину образования микротрещин – температурные и влажностные градиенты. Температура в подвальном помещении летом на несколько градусов ниже, а влажность воздуха выше, чем на открытом пространстве. При относительной влажности воздуха 70% и выше резко повышается агрессивность внешней среды, наблюдается увеличение скорости гидратации C_3S и продвижение образующегося гидроксида кальция к поверхности. Высолы наблюдались на плитах только со стороны подвала, что подтверждает возможность описанного процесса. Если уменьшается концентрация гидроксида кальция в бетоне, то снижается прочность цементного камня и бетона. Присутствие гидроксида кальция положительно влияет на прочностные свойства бетона непосредственно, а также является регулятором стабильности других продуктов гидратации. Например, $3CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$ устойчив в водном растворе, содержащем не менее 1,1 г СаО/л. При потере 10% СаО снижение прочности цементного камня достигает 10%, 20% потеря СаО – 25% потеря прочности, а при потере 33% СаО наступает разрушение цементного камня. Поэтому выход на поверхность гидроксида кальция на значительной части плит может способствовать потере прочности, появлению трещин и сколов. В будущем следует осуществлять проветривание подвальных помещений, чтобы избежать значительного повышения влажности.

В ходе выполнения данной работы нами определен химический состав высолов и сделан анализ водных вытяжек трех образцов бетона.

2. Методика и результаты исследования.

2.1 Исследование химического состава высолов на бетоне.

Высолы для анализа взяты в двух удаленных друг от друга точках на разных плитах перекрытия (образец №1 – сухие высолы, образец № 2 – мокрые высолы). Исследовали водные вытяжки высолов [4]. Определили содержание в фильтрате хлоридов, сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов, кальция, магния (табл. 1).

Таким образом, расчеты показывают, что растворимая в воде часть высола в обоих образцах представлена в основном гидрокарбонатами кальция и магния и гидроксидом кальция.

Таблица 1. Результаты анализа водной вытяжки высолов

№	Показатель	Образец 1	Образец 2
1	рН суспензии	7,92	7,75
2	SO_4^{2-} , мг/л	-	-
3	Общая жесткость, мг-экв/л	1,6	1,6
4	Ca^{2+} , мг-экв/л	1,2	1,2
5	Mg^{2+} , мг-экв/л	0,4	0,4
6	Cl^- , мг/л	-	-
7	CO_3^{2-} , мг/л	-	-
8	HCO_3^- , мг/л	79,3	79,3
9	Растворимая в воде часть высола, %	1,48	0,83

Затем исследовали солянокислую вытяжку высолов. Для этого часть высола, нерастворимого в воде, растворяли в 1н HCl. Наблюдали активное выделение углекислого газа. Разница нерастворившейся ни в воде, ни в HCl части высолов для образцов связана с различными условиями отбора проб. Сухие высолы снимали скальпелем с бетона, была вероятность попадания в образец песка из бетона, который в HCl не растворяется. В солянокислой вытяжке определяли сульфаты, силикаты, полуторные окислы, кальций, магний (табл. 2).

Таблица 2. Результаты анализа солянокислой вытяжки высолов

Показатель	Образец № 1	Образец № 2
Исходная навеска, г	0,8655	1,1027
Нерастворимая в воде часть высола, %	98,52	99,17
Растворимая в воде часть высола, %	1,48	0,83
Взято для анализа нерастворимого в воде высола, г	0,824	1,0746
Растворилось в HCl, г	0,6731	1,0734
Растворилось в HCl, % от исходной навеске	80,48	99,06
Солянокислая вытяжка:		
-объем, мл	250	250
-жесткость, мг-экв/л	54	86
-кальций, мг-экв/л	54	84
-кальций, г в 250 мл раствора HCl	0,2705	0,4208
-в пересчете на CaCO ₃ , г	0,6750	1,0521

Таким образом, если не учитывать песок, попавший в образцы при отборе проб, то 98,19 и 99,07% высолов образцов 1 и 2 растворимы только в HCl с выделением CO₂. Это карбонат кальция. Для проверки выводов сделанных о составе высола определяли потери при прокаливании образца № 2 при 950°С. Показатель п.п.п. равен 46,2%. Расчет показывает, что химически чистый гидроксид кальция должен давать п.п.п. 24%, карбонат кальция должен давать п.п.п. 44%, а гидрокарбонат кальция – 65,4%. Таким образом, полученный результат свидетельствует о том, что высол представлен карбонатом кальция с незначительной примесью гидрокарбоната (растворимая часть 1,48 и 0,83%), хлориды и сульфаты в составе высола отсутствуют.

2.2 Исследование образцов затвердевшего бетона

Определены потери при прокаливании и получены водные вытяжки трех образцов бетона:

проба № 1 – новая партия плит перекрытия, без повреждений;

проба № 2 – куски бетона, отвалившиеся от дефектных плит перекрытия;

проба № 3 – отшелушившийся верхний слой бетона дефектных плит перекрытия.

Образцы бетона предварительно разрушены, отобрана через сито мелкая цементно-песчаная фракция. Определены п.п.п. по общепринятой методике при 950°С [4].

Для получения водной вытяжки образцы были залиты водой и периодически перемешивались в течение суток. Взвесь отфильтровали. Анализ водной вытяжки приведен в табл. 3.

Таблица 3. Результаты анализа п.п.п. и водной вытяжки трех образцов бетона

№	Показатель	Проба		
		№ 1	№ 2	№ 3
1	п.п.п. цементно-песчаной составляющей бетона, %	7,42	10,25	12,67
2	Навеска пробы, г	1,0016	1,0025	1,0031
3	Объем фильтрата, мл	100	100	100
4	Хлориды, мг/л	-	-	-
5	Сульфаты, мг/л	35	30	20
6	Сульфаты, % от массы пробы	0,35	0,3	0,2
7	pH	10,15	9,64	8,24
8	Щелочность по фенолфталеину, мг-экв/л	3,28	2,75	0,9

Следует отметить, что чем больше разрушение бетона, тем ниже pH среды, меньше щелочность. Снижение pH среды приводит к образованию ржавчины на арматуре, что и наблюдается в действительности. Увеличение показателя «потери при прокаливании» можно объяснить карбонизацией гидроксида кальция: чем больше гидроксида кальция в бетоне, тем меньше п.п.п. В разрушенных образцах

гидроксид кальция карбонизован. Хлориды в водных вытяжках всех образцов отсутствуют, сульфаты присутствуют в незначительном количестве.

Выводы

- Высолы на бетонных плитах перекрытия почти на 99% состоят из карбоната кальция, что установлено двумя независимыми методами анализа.
- Хлориды отсутствуют как в составе высолов, так и в водной вытяжке бетона, что свидетельствует о том, что разрушение бетона не связано с хлоридной коррозией.
- Сульфаты отсутствуют в высолах, а в водной вытяжке образцов бетона присутствуют в количестве 0,2-0,35% от массы взятого цементно-песчаного раствора. Такое количество сульфатов не может вызвать сульфатную коррозию.
- Повышение потерь при прокаливании в разрушающемся бетоне по сравнению с обычным образцом и понижение pH водной вытяжки бетона и его щелочности свидетельствует о карбонизации гидроксида кальция в разрушающемся бетоне. О снижении концентрации гидроксида кальция в бетоне свидетельствует также появление ржавчины на арматуре.
- Карбонизация гидроксида кальция в разрушающемся бетоне, образование высолов на поверхности плит, появление трещин на бетоне и сколов – это последствия дефектов структуры бетона.
- Причиной нарушения структуры бетона может быть как нарушение технологии получения железобетонных плит, так и температурно- влажностные условия эксплуатации.

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетонирования. – Санкт-Петербург: ООО «Стройбетон», 2006. – 690 с.
2. Федотова В. Почему «стреляют» бетонные конструкции в зданиях. Строительная газета. 03.02.2005.
3. Макеев А.И. Концепция гармонии в проблеме управления однородностью/ неоднородность конгломеростных структур строительных композитов. Международный конгресс «Основные проблемы строительного материаловедения и технологии», т. 1, книга 1. – Воронеж, 2008. – с. 311-320.
4. Вернигорова В.Н. Современные химические методы исследования строительных материалов. / Вернигорова В.Н., Макридин Н.И., Соколова Ю.А. - М: Химия, 2003. – 224 с.