

30.00
Г13,
Министерство высшего и среднего специального
образования Узбекской ССР
ТАШКЕНТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Посвящается 50-летию ТашПИ

ГАЗИЕВ У. А.

КОРРОЗИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

(ЧАСТЬ I)

ТАШКЕНТ—1979



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
УЗБЕКСКОЙ ССР

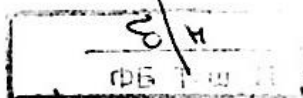
ТАШКЕНТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Посвящается 50-летию Ташки
ГАЗИЕВ У.А.

КОРРОЗИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ
ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

(Часть I)

Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования УзССР в качестве
учебного пособия для студентов строительных
специальностей высших учебных заведений.



Ташкент - 1979

А Н Н О Т А Ц И Я

Настоящее учебное пособие подготовлено в соответствии с программой курса: "Стойкость и долговечность бетонных и железобетонных конструкций", для студентов специальности 1207 - "Производство строительных изделий и конструкций".

В учебном пособии изложены вопросы теории коррозионных процессов различных строительных материалов. Приводится классификация агрессивных сред и их воздействие на изделия и конструкции. Рассмотрены способы защиты конструкций от коррозии и повышения их долговечности.

Ответственный редактор - к.т.н.проф. Ботвина Л.М.

© - Ташкентский политехнический институт
имени Абу Райхана Беруни - 1979.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы качества и долговечности строительных конструкций как в техническом, так и в экономическом аспекте привлекают все большее внимание ученых, проектировщиков и строителей. Во многих случаях экономически оправдано увеличение первоначальных затрат на изготовление конструкций и ее защиту, если это позволяет предотвратить преждевременный выход из строя и сократить число и стоимость ремонтов в процессе эксплуатации.

Важным фактором, снижающим эксплуатационные качества и долговечность зданий и сооружений, находящихся в агрессивных средах (особенно химическая, угольная, коксохимическая, металлургическая, мясо-молочная промышленности), является коррозия материалов строительных конструкций.

Размер ущерба, причиняемый народному хозяйству преждевременным выходом из строя зданий и сооружений вследствие развития процессов коррозии, определяется не только потерями от разрушения материалов конструкций и расходованием средств на восстановление. Значительная доля ущерба вызывается тем, что ухудшение качества и выход из строя строительных конструкций нарушает эксплуатационные условия производства. Поэтому общие потери от коррозии исчисляются миллиардами рублей. Так, в нашей стране из-за коррозии ежегодно выводится из употребления до 15% производимой стали.

В настоящее время около 25% зданий и сооружений эксплуатируются в условиях воздействия сред средней и сильной агрессивности. Стоимость конструкций в указанных условиях резко увеличивается. Например, антикоррозионная защита очистных сооружений достигает 40-50% от их общей стоимости, а защита зданий и сооружений в производстве серной и фосфорной кислот 20-25%. В этой связи вопросы надежной и экономически обоснованной защиты от коррозии строительных конструкций требуют самого пристального внимания и рассмотрения.

Большой вклад в исследования процессов коррозии и разработку мер борьбы с ней внесли С.Н.Алексеев, В.И.Бабushкин, Г.А.Бадалаев, И.М.Елшин, Ф.И.Иванов, В.М.Москвин, Н.А.Мошанский, А.И.Ми-

нас, О.П.Мечдлов-Петросян, В.В.Петуроев, А.Ф.Полак, В.Б.Ратинов и другие советские ученые.

Задачей данного учебного пособия является систематизированное изложение вопросов, связанных с коррозией и мерами защиты от нее различных строительных материалов. Освещены вопросы состояния агрессивных сред, физико-механических свойств материалов, видов защитных покрытий для повышения долговечности строительных конструкций.

ГЛАВА I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

§1. Конструкция и среда

Все конструкции применяемые в современном строительстве подвергаются воздействию окружающей среды. Это воздействие может быть механическим или физико-химическим.

Механические воздействия или нагрузки, а также возникающие в материале напряжения с достаточной надежностью определяются правилами сопротивления материалов и строительной механики.

Физико-химические воздействия весьма разнообразны и изменчивы. Так, например, воздух, окружающий изделия и конструкции, может иметь различную температуру и влажность, насыщен газами и парами. На конструкции возможно воздействие различных вод, кислот и щелочей. Поэтому от степени воздействия той или иной среды материал сохраняется и работает столетиями или же всего несколько лет и даже месяцев.

Процесс разрушения изделий и конструкций под воздействием агрессивной окружающей среды называется **коррозией**.

Химические растворы, газы и вода разрушающие строительные изделия и конструкции, называются **коррозийными** или **агрессивными средами**.

Под **долговечностью** изделий и конструкций понимают такой предельный срок службы, в течение которого они сохраняют свои свойства и требуемые эксплуатационные характеристики под действием агрессивных факторов.

Повышение долговечности строительных конструкций зданий и сооружений является одной из самых важных научно-технических задач, особенно применительно к условиям их эксплуатации на предприятиях с интенсивным выделением твердых, жидких и газовоздушных агрессивных сред. Это связано с тем, что износ зданий и сооружений предприятий с агрессивными средами в 2-8 раз выше, чем при нормальных условиях эксплуатации. Нередки случаи, когда капитальный ремонт зданий производят через 5-7 лет эксплуатации.

Долговечность бетонных и железобетонных конструкций может быть повышена за счет использования портландцементов сульфато-

стойких, с умеренной экзотермией, бариевых, а также введения полимерных, кремнийорганических, ингибирующих и других добавок и за счет применения высокопрочных бетонов марок 600-800 и выше.

Анализ проектных решений и обследования состояния строительных конструкций зданий и сооружений показывают, что применение совершенных средств и способов антикоррозионной защиты еще не может полностью обеспечивать их долговечность. Одной из главных причин преждевременного выхода из строя строительных конструкций является неправильный учет фактических агрессивных воздействий, температурно-влажностных факторов, объемно-планировочных и технологических решений.

§2. Атмосферное воздействие

Большое влияние на развитие коррозионных процессов изделий и конструкций оказывает характер газовой среды, в которой они работают.

В состав атмосферы, приведенной в табл. I входят и водяные пары, количество которых зависит от температуры и давления.

Состав атмосферы

Таблица I

Вещество	:Содержание в су- :хом воздухе в :объемных %	:Вещество	: Содержание в су- :хом воздухе в :объемных %
Азот	78,03	Неон	0,0018
Аргон	0,93	Гелий	0,0005
Водород	0,01	Криптон	0,0001
Кислород	20,99	Озон	0,0006
Диоксид угле- рода	0,08	Ксенон	0,000009

В промышленных районах воздух является носителем многочисленных газов и паров обладающих агрессивными свойствами. К наиболее распространенным относятся:

- окислы азота, сернистый газ, сероводород;
- хлор и хлористый водород, фтористый водород.

Все газы, за исключением аммиака и кислорода, являются **кислыми** или **кислотообразующими**.

Образование из этих газов кислот возможно лишь при наличии в воздухе или на поверхности конструкций влаги, т.е. усиливающим фактором коррозионных процессов является повышенная влажность воздуха.

Различают три степени влагонасыщения, разделяемые "порогом увлажнения" или фазовым переходом (рис. I):

1. относительная влажность до 60%;
2. повышенная влажность 60-75%;
3. агрессивная влажность 75-95%.

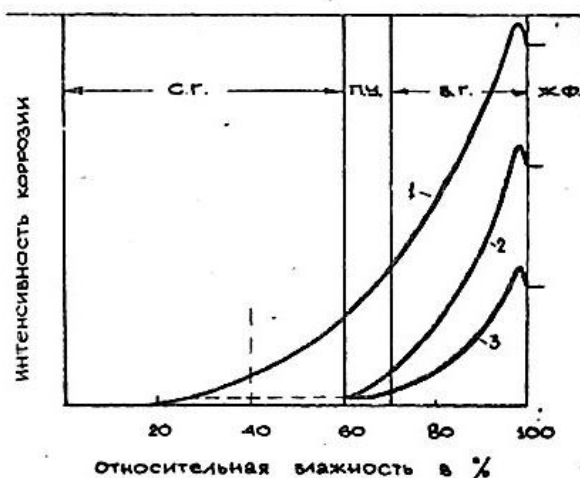


Рис. I. Влияние влажности газов на интенсивность коррозии.
с.г. — зона сухих газов; п.у. — порог увлажнения;
в.г. — зона влажных газов; х.ф. — жидкая фаза.
1, 2, 3 — степени агрессивности газов.

При первой степени влагосодержания кислые газы не оказывают разрушающего воздействия на бетонные и железобетонные конструкции, а во многих случаях даже повышают их плотность.

Вторая степень является агрессивной, а третья - наиболее агрессивной.

В зависимости от вида и концентрации газы подразделяют на пять групп (табл.2).

Таблица 2

Группы агрессивных газов в зависимости от их вида и концентрации.

Группа газов	Наименование	Концентрация, мг/м ³
А	Углекислый газ	≤ 1000
	Аммиак	< 0,2
	Сернистый ангидрид	< 0,5
	Фтористый водород	< 0,02
	Сероводород	< 0,01
	Оксиды азота	< 0,10
	Хлор	< 0,10
	Хлористый водород	< 0,05
Б	Аммиак	≥ 0,2
	Сернистый ангидрид	0,5-10
	Фтористый водород	0,02-5
	Сероводород	0,01-10
	Оксиды азота	0,1-5
	Углекислый газ	> 1000
	Хлор	0,1-1
	Хлористый водород	0,05-5
В	Сернистый ангидрид	II -200
	Фтористый водород	5,1 -10
	Сероводород	II -200
	Оксиды азота	5,1 -25
	Хлор	1,1 -10
	Хлористый водород	5,1 -10

1	2	3
Г	Сернистый ангидрид	20I-1000
	Фтористый водород	II-100
	Сероводород	20I-2000
	Окислы азота	26-100
	Хлор	5, I-10
	Хлористый водород	II-100
Д	Сернистый ангидрид	>1000
	Фтористый водород	>100
	Сероводород	>2000
	Окислы азота	>100
	Хлор	>10
	Хлористый водород	>100

Степень агрессивного воздействия газов на изделия и конструкции возрастает от А до Д и зависит от влажности среды. Так, например, нарастание коррозии стали в серном газе с увеличением влажности, но при одинаковой концентрации SO_2 приведено на рис.2.

Действие газов по глубине также различно для материалов. Если для металла и плотных камней (гранит, габбро, лабрадорит) оно характеризуется поверхностным воздействием, то в бетоны невысокой плотности (легкие и ячеистые) за длительный период возможно проникновение до 10 см, а в плотные бетоны - 1-2 см.

§3. Действие жидкой среды

Агрессивные свойства воды определяют степень ее минерализации, жесткости, кислотности или щелочности. На конструкциях и сооружениях из бетона и железобетона чаще всего воздействуют природные воды всех видов, промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды.

В связи с тем, что вода имеет очень большую диэлектрическую постоянную, она обладает высокой способностью растворять многие вещества, причем этому сопутствуют образования гидратов, т.е. химических соединений, содержащих молекулы воды, а также

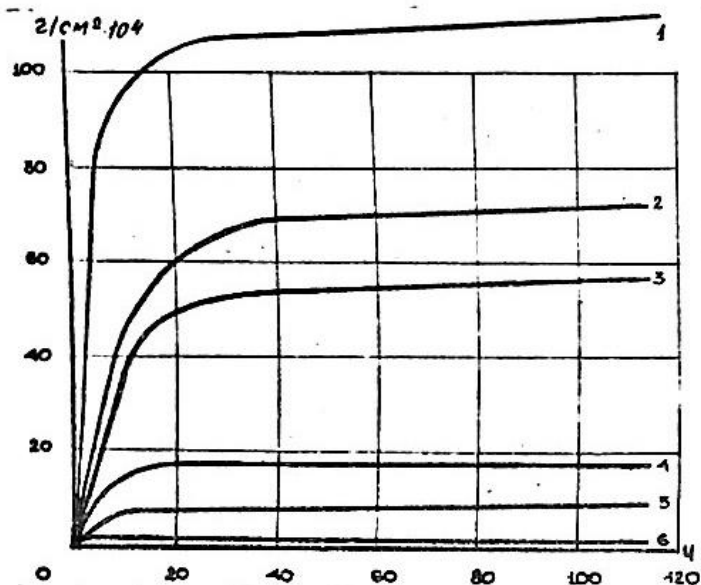


Рис.2. График нарастания коррозии стали в
с изменением влажности.

1 - 97%

3 - 91%

5 - 75%

2 - 94%

4 - 89%

6 - 65%

гидролиз приводящие к изменению ее активной реакции - pH. В водах, являющихся средой для бетона и железобетона, обычно, растворены неорганические соли: сульфаты, хлориды и карбонаты натрия, кальция, магния и калия.

Главнейшими ионами содержащимися в природных водах являются: H^+ ; K^+ ; Na^+ ; Ca^{++} ; Mg^{++} ; Cl^- ; SO_4^{--} ; HCO_3^- ; CO_3^{--} ; SiO_3^{--} . Эти ионы составляют 90-95% всех растворенных в воде солей.

Общее содержание солей в речных водах не превышает 0,8 - 0,5 г/л. Морская вода может содержать до 35 г/л. Промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды могут содержать самые различные примеси, в том числе кислоты и щелочи.

С повышением температуры растворимость большинства солей увеличивается ($NaCl$, Na_2CO_3), а некоторых падает (Na_2SO_4). Наличие в растворе одновременно нескольких солей сильно влияет на их взаимную растворимость. Так растворимость солей в присутствии другой соли с одноименным ионом понижается и, наоборот, ее растворимость повышается если эти ионы разные.

Большое значение для развития коррозионных процессов имеет способность воды растворять различные газообразные вещества. В таблице 3 приведены данные по растворимости O_2 , N_2 и CO_2 в воде при различных температурах.

Таблица 3
Растворимость некоторых газов в воде

Температура, °C	Растворимость газов, мг газа/л раствора		
	O_2	N_2	CO_2
0	48,9	-	1718
5	42,9	-	1432
10	38,5	19,5	1195
15	34,2	17,4	1005
20	30,8	16,0	870
25	28,2	14,8	757
30	26,8	13,8	665

Примечание: при переходе от объемных единиц в соответствующие весовые необходимо числа в таблице умножить на коэффициенты: для O_2 - 1,888, для N_2 - 1,25, для CO_2 - 1,964.

Активная концентрация ионов водорода в воде (рН) — одна из ее важнейших характеристик. По Перельману, исходя из условий формирования, природные воды по величине рН можно разделить на 4 группы:

1 группа — сильнокислотные рН менее 3 (наличие свободной серной или соляной кислоты);

2 группа — кислые и слабокислые рН = 3 — 6,5;

3 группа — нейтральные или слабощелочные рН = 6,5 — 8,5;

4 группа — сильнощелочные рН более 9.

Существующие нормы агрессивности воды-среды по отношению к бетону (СН249-63) разработаны и применяются в основном только для оценки агрессивности природных вод по показателю рН и жесткости (табл.4).

Таблица 4

Оценка агрессивности воды по рН и жесткости

рН	: Агрессивность : воды по рН :	:Содержание в 1л : воды солей Са или: :Мд, мг-экв.,	: Характеристика : по жесткости :
7	Нейтральная	Менее 3	Мягкая
<7	Кислотная	3 — 6	Средне-жесткая
>7	Щелочная	6 —10	Жесткая
		Более 10	Очень жесткая

По нормам СН249-63 можно оценивать только выщелачивающую, обескислотную, углекислотную, магниевую, аммонитную, сульфатную и щелочную коррозии. Действие других типов катионов и анионов, а также различных веществ, находящихся в неонизированном виде приходится определять экспериментальным путем. Объясняется это прежде всего сложностью проблемы из-за большого разнообразия составов водных растворов, соприкасающихся с бетонными и железобетонными конструкциями.

§4. Состояние проектирования и задачи в области борьбы с коррозией в строительстве

Вопросы защиты от коррозии зданий и сооружений становятся все более актуальными. Это связано с огромными потерями материа-

лов во всех отраслях народного хозяйства: интенсификацией технологических процессов; развитием производств с агрессивными средами; широким применением в строительстве различных материалов и конструкций с невысокой химической стойкостью (легкие, ячеистые, армированные бетоны, тонкостенные профили и т.д.); увеличением габаритов технологического оборудования, в первую очередь, емкостного; некачественным проектированием сооружений проектными организациями и т.д. Следует отметить также значительное увеличение стоимости зданий и сооружений в результате применения для защиты в условиях агрессивных сред дорогостоящих и остродефицитных материалов.

Например, антикоррозионная защита в сооружениях достигает 40-50% их общей стоимости.

Важное звено защиты от коррозии - проектирование конструкций с учетом воздействия агрессивных сред. Однако действующая система разработки проектно-сметной документации по защите уже не удовлетворяет задачам, стоящим перед народным хозяйством, в первую очередь, в части выполнения требований нормативов.

Одна из причин низкого качества проектной документации - отсутствие квалифицированных специалистов. Так в результате анализа типовых проектов зданий и сооружений, предназначенных для эксплуатации в средне- и сильно агрессивных средах, выпущенных Московским ЦИТИ за 1976-1977 гг., установлено, что в большом количестве проектов, разработанных без участия специалистов по защите от коррозии, не учтены воздействия агрессивных сред.

По данным специализированных трестов, выполняющих антикоррозионную защиту, по отдельным объектам переделывается до 60% проектной документации, что приводит к удорожанию стоимости строительства на десятки миллионов рублей.

В нашей стране насчитывается около 1500 проектных организаций. Большинству из них вопросы защиты от коррозии приходится решать периодически. Около 10% проектировщиков передают разработку раздела по защите в сильно агрессивных средах на выполнение в институт Проектхимзащита, и то лишь фрагментарно (например, только защиту полов или лишь часть сооружения).

В сложившихся условиях целесообразно:

- объединить специалистов по защите от коррозии и создать единый центр;

- наладить взаимоотношения между проектировщиками, учеными и производителями для быстрого внедрения новейших достижений по защите от коррозии;

- разработать инструктивно-нормативную документацию по проектированию защиты в особо сильных агрессивных средах;

- расширить ассортимент и увеличить количество химически стойких материалов;

- начать планомерный научно-обоснованный учет потерь, которые причиняет коррозия народному хозяйству.

Перед специалистами работающими в области борьбы с коррозией в строительстве стоят ответственные и сложные задачи, а именно:

1. Создание и сохранение зданий и сооружений различного назначения высокой степени стойкости и долговечности, когда по условиям эксплуатации на них действуют средне- и сильно агрессивные среды;

2. Снижение расходов на ремонтно-восстановительные работы по поддержанию зданий и сооружений в нужном для эксплуатации состоянии.

3. Осуществление мероприятий по экономии металла в конструкциях на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации их в агрессивных средах.

Эти экономические аспекты борьбы с коррозией строительных конструкций зданий и сооружений не должны выпадать из поля зрения научных работников, проектировщиков и строителей.

ГЛАВА П. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

§5. Виды коррозии металлов и условия их вызывающие

На нужды строительства ежегодно расходуются 20 млн. тонн стали; из них 60% на армирование и 40% на изготовление строительных конструкций. Поэтому борьба с коррозией является одним из важнейших факторов экономии металла. Коррозия ежегодно уничтожает миллионы тонн металла, в некоторых случаях приводит к разрушению целых сооружений.

Под коррозией металлов понимается процесс их разрушения вызванный химическим или электрохимическим воздействием среды.

К х и м и ч е с к о й к о р р о з и и относятся процессы, протекающие при непосредственном химическом взаимодействии между металлом и агрессивной средой, не сопровождающиеся возникновением электрического тока. При этом на металлические поверхности действуют сухие газы и пары, жидкие неэлектролиты (спирты, минеральные масла, различные органические соединения).

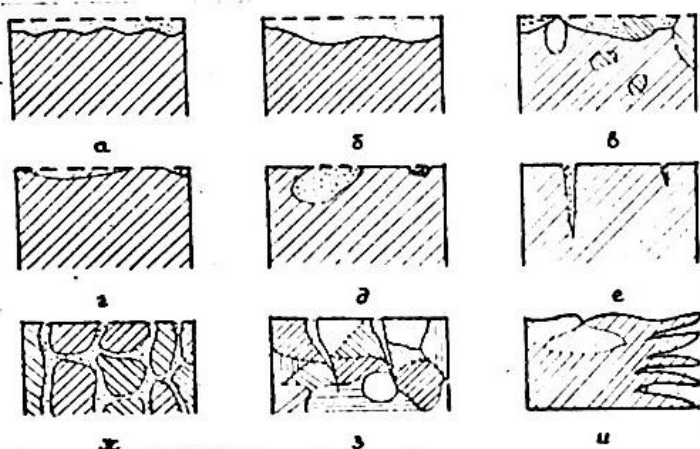
Э л е к т р о х и м и ч е с к а я к о р р о з и я протекает в воде, водных растворах электролитов, влажных газах, растворенных солях и щелочах. При этой коррозии процесс растворения металла сопровождается появлением электрического тока.

В отличие от химической коррозии электрохимическая сопровождается одновременно двумя процессами: окислительным - растворение металла на одном участке; восстановительным - выделение катиона из раствора, восстановление O_2 на другом участке. Следует также отметить, что возможен переход одного коррозионного процесса в другой. Например, электрохимическая коррозия железа в парах воды переходит при повышении температуры в химическую.

В зависимости от природы металла, агрессивной среды и условий протекания коррозионного процесса разрушение металлов носит различный характер. Основными видами коррозионных разрушений являются - местная и равномерная.

М е с т н а я к о р р о з и я образуется на отдельных участках поверхности металла, а р а в н о м е р н а я распределяется по всей поверхности. Так как прочность конструкции в основном зависит от прочности наиболее слабого сечения, то местная коррозия более опасна. Основные виды коррозионных разрушений приведены на рис.3.

Коррозионные разрушения видов а, б, в-наиболее опасны при работе металла на изгиб и кручение; г, д, е - ослабляют отдельные участки металла, но могут вызвать общее разрушение. Наиболее опасна межкристаллитная коррозия. Вследствие разрушения металла по границам кристаллов связь между ними нарушается, что приводит к резкому снижению механических свойств материала. При этом иногда происходит внезапное разрушение конструкции без изменения внешнего вида металла.



— Рис.5. Виды коррозионных разрушений.

а — равномерная коррозия; б — пitting-коррозия;
в — структурно-избирательная; г — коррозия пятнами;
д — коррозия язвками; е — коррозия точками;
ж — межкристаллитная; з — транскристаллитная;
и — подповерхностная коррозия.

Межкристаллитной коррозии подвержены металлы и сплавы: углеродистые и строительные стали, медные в медноалюминевые сплавы, нержавеющие высокохромистые и хромоникелевые сплавы и др.

§6. Электрохимическая коррозия металлов

Электрохимический процесс разрушения металлов рассматривается как результат работы множества микрогальванических элементов, возникающих на металлической поверхности вследствие неоднородности металла или окружающей среды. Образованию микрогальванических пар способствует также наличие на поверхности металла неровностей и царапин. Схема коррозионного процесса на стальном листе,

имеющем дефектный участок поверхности, приведена на рис.4.

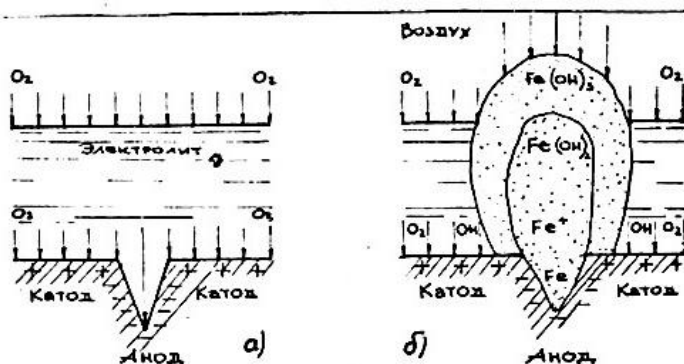


Рис.4. Схема коррозионного процесса на металле, имевшем дефектный участок поверхности.

- а - первоначальное распределение полярности коррозии пары;
б - развитие коррозии в анодной зоне и образование коррозионной язвы.

Электрохимическая коррозия характеризуется параллельным протеканием двух электродных процессов:

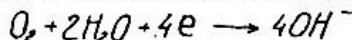
а) анодный - при котором металл переходит в раствор в виде ионов;



б) катодный - при котором наблюдается восстановление и поглощение выделившихся на аноде электронов: $e + D \rightarrow De$ где e - электрон, D - деполаризатор.

Наиболее важными разновидностями катодного процесса являются: катодная реакция восстановления иона водорода в газообразный водород.

$H + e \rightarrow H$ затем $H + H \rightarrow H_2$ и катодная реакция восстановления кислорода с превращением его в ион гидроксида.



В первом случае катодные процессы получили название коррозии с водородной деполяризацией, во втором – коррозии с кислородной деполяризацией.

В большинстве случаев коррозия металлических строительных конструкций протекает по механизму коррозии с кислородной деполяризацией, т.к. в основном разрушение углеродистых сталей в атмосферных и почвенных условиях, в морской воде и в нейтральных растворах электролитов вызывается присутствием кислорода в этих средах.

В промышленном строительстве встречается случай коррозии, причиной которой является образование гальванического элемента вследствие неравномерного омывания конструкций кислородом воздуха. Причина образования такого элемента неравномерной аэрацией воздуха заключается в том, что потенциал металла зависит от концентрации кислорода в растворе. С повышением концентрации кислорода потенциал электрода становится более положительным, а участки, к которым доступ кислорода меньше – более отрицательным.

Соприженность электрохимических реакций при растворении металлов и протекание их на различных участках напоминает работу гальванических элементов. Принципиальная схема электрохимического растворения металлов приведена на рис.5.

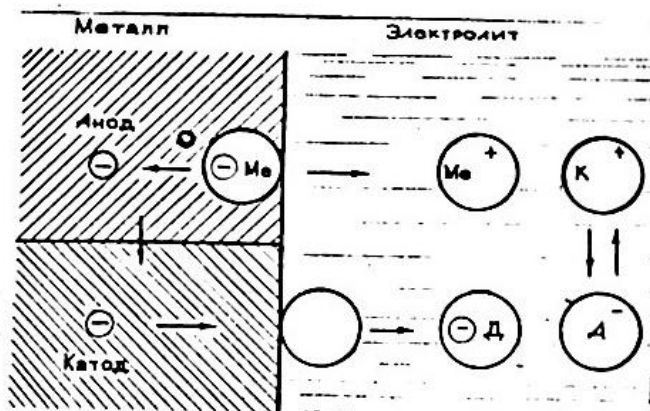


Рис.5. Принципиальная схема работы гальванического элемента.

§7. Влияние различных факторов на скорость электрохимической коррозии.

Помимо рассмотренных явлений поляризации и деполяризации влияющих на процессы коррозии следует еще отметить и другие факторы. На скорость электрохимической коррозии металла влияет концентрация водородных ионов. Так уменьшение pH, т.е. увеличение концентрации H^+ ионов способствует более легкому протеканию катодного процесса, повышению скорости коррозии. Примером такого влияния pH на скорость коррозии может служить сильное ускорение растворения строительных сталей, цинка и других металлов в неокислительных минеральных кислотах с увеличением концентрации H^+ ионов.

Растворы с высокими значениями pH — щелочные среды растворяют алюминий, цинк, свинец, олово и некоторые другие, т.к. окислы их амфотерны т.е. растворимы в кислотах и щелочах.

Зависимость скорости коррозии от pH среды можно проследить на графиках приведенных на рис.6.

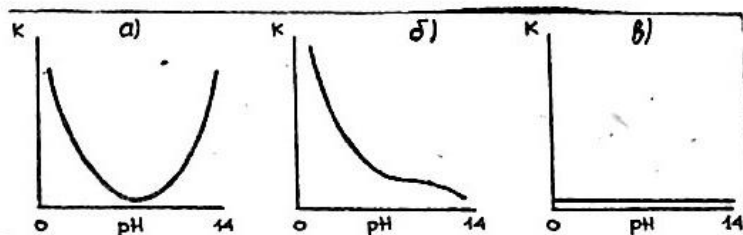


Рис.6. Основные типы кривых зависимости скорости коррозии от pH среды

- а — металлы стойкие в нейтральной среде;
- б — металлы малостойкие в кислых растворах;
- в — металлы стойкие полностью.

В большинстве случаев каждому металлу соответствует определенное значение pH электролита, при котором скорость растворения будет минимальной (табл.5).

Таблица 5

Значение pH для развития минимальной коррозии металла

Виды металлов	: Al	: Fe	: Zn	: Sn	: Pb
Значение pH для минимальной коррозии	6,5	14	11	8,5	8

Скорость коррозии зависит также от концентрации солей в растворе и от их природы. Так, растворы солей, не обладающих окислительными свойствами ($NaCl$, KCl и др.), с повышением их концентрации вначале увеличивают скорость коррозии углеродистых сталей (в результате возрастания электропроводности раствора и концентрации хлор-ионов), а затем скорость коррозии понижается (вследствие уменьшения растворимости деполяризатора-кислорода в коррозионной среде). Повышение концентрации окисляющих солей, как правило, уменьшает скорость коррозии.

С повышением температуры скорость коррозии металлов, как правило, возрастает. Однако, как видно из рис.7, в закрытых системах, где содержание кислорода в воде постоянно, скорость коррозии стали с повышением температуры увеличивается. В открытой системе с повышением температуры содержание деполяризатора-кислорода понижается в связи с его удалением и скорость коррозии уменьшается.

Таким образом, скорость коррозии зависит не только от разности потенциалов, но и ряда других факторов: pH агрессивной среды, концентрации растворов и природы солей, температуры, давления и скоростей движения коррозионной среды.

Влияние на скорость коррозии металлов могут оказывать также факторы биологические (бактерии) и электрические (блуждающие токи).

§8. Методы оценки стойкости металлов

Выбор метода оценки химической стойкости металлических материалов зависит от характера коррозионного разрушения.

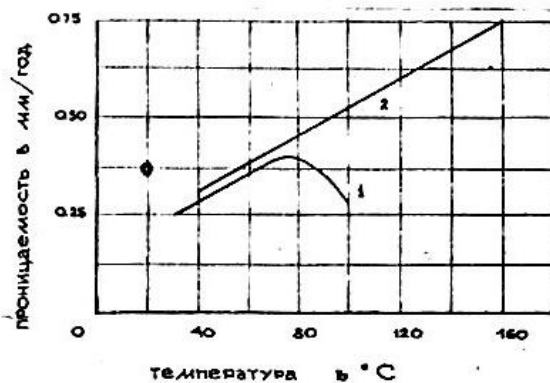


Рис.7. Влияние температуры на коррозию металла в воде.

- 1 - коррозия в открытой системе.
- 2 - коррозия в закрытой системе.

Для оценки местной коррозии определяют степень снижения механической прочности и других свойств. Величину коррозии оценивают путем измерения предела прочности и относительного удлинения образцов до и после коррозии.

При оценке скорости равномерной коррозии применяют весовой метод. Этот метод основан на определении изменения массы образца после воздействия агрессивной среды. Задача заключается в определении прибыли или убыли массы образца.

В первом случае после действия агрессивной среды взвешивают образцы, собрав все продукты коррозии. Во втором случае необходимо все продукты образовавшейся коррозии удалить.

Показателем при определении коррозии весовым методом является величина K , представляющая собой отношение разницы между массой металла в первоначальном состоянии m_0 и после коррозии m , к единице исследуемой поверхности F и времени воздействия агрессивной среды τ .

$$K = \frac{m_0 - m}{F \cdot \tau}$$

Скорость растворения металла при равномерной коррозии определяют по изменению массы образца, отнесенной к единице поверхности (м^2 , см^2) и к единице времени (час, сутки, год).

Ввиду того, что скорость коррозии для различных металлов неодинакова (из-за различной плотности их), то вводится так называемый глубинный показатель Π , который характеризует уменьшение толщины металла (мм/год).

Перевод показателя потери массы образца на глубинный показатель осуществляется по следующей формуле:

$$\Pi = 8,76 \frac{K}{\rho}$$

где: K - потери массы, $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$;

ρ - плотность металла, г/см^3 ;

8,76 - коэффициент для приведения времени воздействия агрессивной среды к одному году.

В зависимости от скорости коррозии оценку коррозионной стойкости металлов и сплавов можно определять (табл.6) по десяти-

тибальной шкале (более точная оценка) или группой стойкости (грубая оценка коррозионной стойкости).

Таблица 6.

Оценка коррозионной стойкости металлов
и сплавов

Группа стойкости	Скорость коррозии, мм/год	Балл коррози- онной стойкости
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	от 0,001 до 0,005	2
	от 0,005 до 0,001	3
Стойкие	от 0,001 до 0,05	4
	от 0,05 до 0,1	5
Пониженно стойкие	от 0,1 до 0,5	6
	от 0,5 до 1,0	7
Малостойкие	от 1,0 до 5,0	8
	от 5,0 до 10,0	9
Нестойкие	Свыше 10	10

§9. Подготовка к защите металлических поверхностей и защита от коррозии.

Перед нанесением защитных покрытий металлические поверхности подвергаются очистке от ржавчины, окислы, старой краски, грязи, а также от масляных и жировых пятен.

В зависимости от характера и количества загрязнений, формы и размеров очищаемой строительной конструкции, а также от вида защитного покрытия очистку металлической поверхности производят механическим, термическим или химическим способами.

О ч и с т к а м е х а н и ч е с к и м с п о с о б о м осуществляется при помощи пескоструйных или дробеструйных аппаратов, электрических и пневматических ручных инструментов. Сущность процесса пескоструйной очистки состоит в том, что струя просушенного и просеянного кварцевого песка направляется сжатим воздухом, через специальное сопло, на очищаемую поверхность. Песок (размер зерен 0,5-1,5 мм) ударяясь о поверхность, очищает и придает ей равномерную шероховатость, которая обеспечивает хоро-

ную адгезию лакокрасочных материалов, клеев, грунтовок и других покрытий защищаемой поверхности.

Для уменьшения пыли, которая образуется при использовании кварцевого песка, применяют гидropескоструйный метод очистки. Он отличается от обычного способа тем, что вместо сухого песка применяют смесь песка с водой.

С целью предупреждения коррозии металла после очистки к воде добавляют ингибиторы — замедлители коррозии (нитрит натрия, уникол и др.). Это позволяет предохранить очищенную поверхность от атмосферной коррозии на время необходимое для нанесения грунтового или клеевого слоя.

После очистки поверхностей механическим способом они должны быть обеспылены, а после гидropескоструйной очистки — промыты и просушены.

Термическая очистка поверхности.
Для удаления окислины, ржавчины и загрязнений с металлических поверхностей используют ацетилено-кислородные горелки или паяльные лампы. Термический способ применяют для очистки металлических поверхностей с толщиной стенок не менее 5 мм.

Очистка химическим способом. Заключается в том, что очищаемую поверхность обрабатывают водными растворами минеральных кислот: серной — 15-20%, соляной — 10-12%, фосфорной — 10-15%.

Для обработки металлической поверхности от продуктов коррозии применяют раствор состоящий из следующих материалов: ацетона — 25 в.ч., ортофосфорной кислоты — 85 в.ч., стирального порошка или кальцинированной соды — 1 в.ч., и воды — 39 в.ч.

Приготовленный раствор может храниться неограниченное время и многократно использоваться. После удаления ржавчины, поверхность конструкций высушивается и считается готовой к нанесению защитного покрытия.

Существующие методы защиты металлов от коррозии можно условно разделить на три группы:

- а) воздействие на металл;
- б) воздействие на агрессивную среду;
- в) создание на поверхности металла особых условий, затрудняющих растворение металла.

Воздействие на металл или сплав сводится, в основном, к повышению его химической устойчивости путем введения компонентов, повышающих эту устойчивость. Например, введение хрома и никеля в сталь не ржавеющей в атмосферных условиях.

В ряде случаев, особенно при локальной коррозии, сильно влияют на процесс такие факторы, как термообработка металла, наличие в нем нежелательных примесей и т.д. Поэтому очистка металла от вредных примесей также важный метод повышения его коррозионной стойкости.

Воздействие на коррозионную среду может существенно изменить стойкость металла или сплава. Один из таких методов — введение ингибиторов. Известны летучие ингибиторы: помещая небольшое количество такого ингибитора в упаковку с металлическими изделиями, можно защитить эти изделия от коррозии при хранении.

Весьма желательно удалять из агрессивной среды компоненты участвующие в коррозионном процессе и приводящие к значительному его ускорению. Например, удаляют кислород из воды в теплоэнергетических установках, уменьшают содержание хлор-ионов в химических агрессивных средах, стремятся удалить влагу из замкнутых объемов при атмосферной коррозии металла.

В определенных условиях поверхность металла может быть пассивирована — создаются стали и сплавы, покрывающиеся стойкой к атмосферной коррозии пленкой; пассивность может быть создана искусственно — обработкой поверхности или введением в жидкую среду пассиватора.

Металлические покрытия применяют для наиболее ценных изделий и конструкций эксплуатируемых в наиболее агрессивных средах.

Лаки, краски и различные смазки частично проникаемы для воздуха и жидкости, но они создают у поверхности металла условия, резко отличающиеся от условий в отсутствии такого покрытия. Окрашивание — самый распространенный вид антикоррозионной защиты применяемый во всех отраслях техники.

При электрохимической защите изменяют строение двойного слоя зарядов на поверхности раздела металл-среда и потенциал металла (за счет внешнего источника или соединением с другим металлом). При этом тормозится переход катионов металла в раствор через двойной слой (катодная защита) или создается пассивная анод-

ная пленка (анодная защита), что также уменьшает скорость растворения металла.

ГЛАВА III. КОРРОЗИЯ БЕТОНА И ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

§10. Виды агрессивных воздействий и структурных дефектов.

Наука о коррозии бетона относится к той почти необозримой области знаний, предметом изучения которой являются разнообразные химические и физико-химические процессы. Трудно назвать вторую такую актуальную проблему, решение которой потребовало бы столь же непосредственной связи теории с практикой.

В зависимости от состава и структуры бетона, вида конструкции, характера и величины рабочих нагрузок и условий эксплуатации разрушающее действие на бетон оказывают:

- сульфатная коррозия,
- коррозия выщелачиванием,
- окислительная коррозия,
- магnezийная коррозия,
- коррозия за счет подосов и кристаллизации солей,
- микробиологическая коррозия,
- попеременное замораживание и оттаивание,
- коррозия под действием органических соединений,
- усадка и набухание цементного камня,
- химическое воздействие агрессивных газов,
- контракционные явления,
- осмотическое давление на пленки гелей,
- электрохимические процессы коррозии арматуры,
- механические воздействия.

Сложность изучения процессов разрушения бетона объясняется тем, что в зависимости от условий службы на сооружения действуют одновременно очень много вышеуказанных факторов.

Известно, что бетон разрушается по наиболее опасным местам дефектов структуры. В структуре бетона можно условно выделить

следующие основные типы дефектов.

И в к р о п о л о с т и образуются за счет избыточной воды затворения, т.к. для удобоукладываемости бетонных смесей воды берут на 25-30% больше, чем необходимо для гидратации цемента.

И и к р о п о л о с т и образуются, в основном, за счет контракционных процессов, возникающих при гидратации цемента. Явление контракции заключается в том, что в процессе гидратации цемента суммарный объем, занимаемый твердой и жидкой фазами, уменьшается. Сжатие суммарного объема происходит внутри системы и мало отражается на внешнем объеме твердеющего цементного камня и бетона.

У с а д к а и н а б у х а н и е бетона представляют собой физико-химический процесс, связанный с высыханием или увлажнением бетона при отсутствии гидрометрического равновесия с окружающей средой. Наибольший вред от усадочных явлений наблюдается при интенсивном процессе сушки бетона.

Процесс усадки является частично обратимым: погруженный в воду бетон может восстановить часть своих первоначальных размеров. Однако величина деформации набухания значительно меньше деформации усадки.

Таким образом, в бетоне еще до приложения нагрузок практически имеются структурные дефекты, обуславливающие пониженную его прочность по сравнению с теоретически возможной.

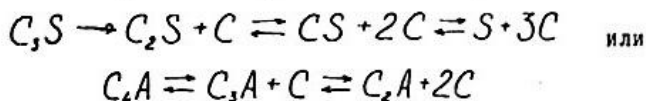
§II. Основные виды коррозии бетона

Многообразие свойств агрессивных сред и процессов коррозии затрудняет выбор эффективного метода борьбы с коррозией. На основании результатов изучения коррозионных процессов и характера разрушения эксплуатируемых конструкций В.М.Москвин выделил три основных вида коррозии.

К о р р о з и я п е р в о г о в и д а. К этому виду относятся процессы коррозии бетона происходящие под действием вод с малой временной жесткостью (пресные воды). Причиной коррозии является растворение в пресных водах отдельных компонентов цементного камня и вынос их протекающей водой. Наиболее растворимым ком-

понентом является гидрат окиси кальция, образующийся при гидролизе C_3S .

Теоретически, если производить обработку отдельных измельченных минералов цементного камня или их кристаллогидратов проточной водой, можно получить полный гидролиз



Выделяющаяся при гидролизе известь удерживается с водой, при этом ослабляется структура бетона.

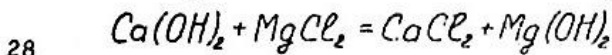
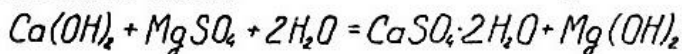
Первый вид коррозии бетона особенно прогрессирует в условиях воздействия проточной воды, фильтрующей через бетон, т.е. скорость процессов коррозии прямо пропорциональна скорости течения воды.

Для повышения долговечности бетона от воздействия коррозии первого вида в цемент вводят гидравлические добавки, которые связывают $Ca(OH)_2$ в малорастворимый гидросиликат кальция. Эти добавки не только связывают гидрат окиси кальция, но и значительно повышают плотность бетона, снижая его водопроницаемость.

К о р р о з и я в т о р о г о в и д а. Под ним понимают процессы коррозии, развивающиеся в результате обменных реакций между компонентами цементного камня с кислотами и солями, содержащимися в окружающей среде. В результате образуются продукты, которые либо выделяются в виде аморфной массы, либо легко растворяются. Вследствие этого прочность цементного камня снижается, пористость возрастает, обнажаются внутренние слои бетона и процесс коррозии протекает до полного разрушения бетона.

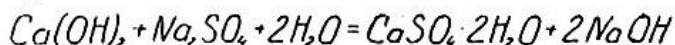
Обменные реакции чаще всего протекают в бетоне под действием сернокислых и хлористых солей. Эти соли имеются в морских и грунтовых водах.

Сернокислый и хлористый магний взаимодействуют с гидратом окиси кальция по схемам:



Образующееся труднорастворимое аморфное вещество – гидрат окиси магния – либо выпадает в осадок, либо выщелачивается из цементного камня.

Коррозия возникает также при действии на бетон сернокислого натрия:



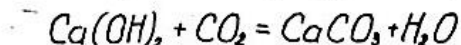
Гидрат окиси натрия – хорошо растворимое вещество, оно легко вымывается водой из цементного камня.

Содержание ионов Cl^- и SO_4^{2-} в воде – среде для бетона должно быть ограниченным. При этом допустимое количество сульфатов возрастает с увеличением концентрации хлоридов (табл. 7), объясняется это тем, что ион хлора переводит трехкальциевый гидросульфат в труднорастворимый гидрохлоралюминат кальция.

Таблица 7.
Допустимое содержание ионов SO_4^{2-} от наличия
в воде – среде ионов Cl^- .

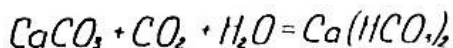
Содержание ионов Cl^- , мг/л		Содержание ионов SO_4^{2-} , выше которого вода считается агрессивной, мг/л
0	– 3000	250
3000	– 5000	500
свыше	– 5000	1000

На практике происходит также коррозия бетона под воздействием углекислых вод. В начале растворения цементного камня углекислота взаимодействует с $Ca(OH)_2$ и образует $CaCO_3$.



Этот процесс в начальный период имеет для бетона положительное значение, т.к. хорошо растворимый $Ca(OH)_2$ переходит в труднорастворимый $CaCO_3$.

При увеличении содержания CO_2 сверх равновесного вода растворяет карбонатную пленку. При содержании CO_2 в воде порядка 280–300 мг/л образуется бикарбонат:



который хорошо растворяется и вымывается водой из цементного камня.

При фильтрации воды, содержащей уголекислоту, через бетон (рис.8) можно наблюдать развитие коррозионных процессов по следующей схеме:

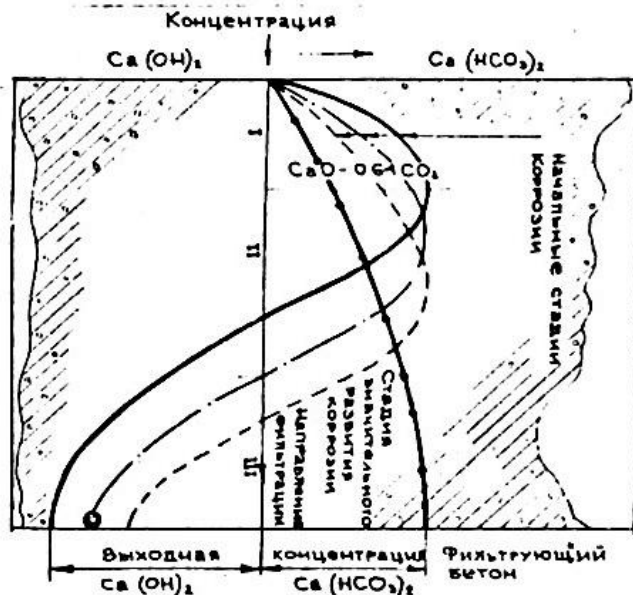


Рис.8. Схема развития коррозии при фильтрации уголекислых вод через бетон:

I - зона разрушения; II - зона уплотнения;
III - зона выщелачивания.

I. Постепенное насыщение бикарбонатом кальция т.е. разрушение бетона, так как бикарбонат уносится водой (зона разрушения).

2. Насыщение раствора бикарбоната встречающимся на пути гидратом окиси кальция и выпадения в осадок карбоната кальция (зона уплотнения).

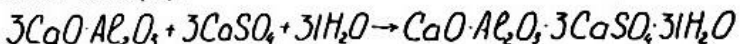
3. Растворение цементного камня фильтрующей водой, лишенной полностью углекислоты (зона выщелачивания).

Эффективными средствами защиты бетона от коррозии второго вида служат применение цементов определенного состава, введение гидравлической добавки, получение плотных бетонов и другие.

К о р р о з и я т р е т ь е г о в и д а. Это процессы разрушения бетона в результате отложения и кристаллизации в порах, капиллярах и пустотах малорастворимых солей. Процессы коррозии протекают при воздействии на бетон минерализованных вод.

В результате увеличения количества кристаллов солей возникают значительные растягивающие усилия в стенках пор и капилляров — под действием этих усилий они разрушаются. В процессе развития коррозии третьего вида структура бетона претерпевает значительные изменения. Уменьшается пористость, появляются трещины параллельно поверхности, заполненные преимущественно гипсом или гипсом с сульфаталюминатом кальция. Гипсовая коррозия начинается при концентрации SO_4^{--} свыше 1000 мг/л. Предельно допустимая концентрация SO_4^{--} для портландцемента — 250 мг/л независимо от состава находящейся в воде сернокислой соли.

Кроме того, между сульфатами и трехкальциевым алюминатом происходит реакция образования труднорастворимого гидросульфаталюмината кальция:



Объем гидросульфаталюмината увеличивается примерно в 2,5 раза и, вследствие этого, цементный камень сильно разрушается.

С увеличением содержания C_3A резко возрастает сульфатная коррозия. Поэтому при изготовлении сульфатостойкого цемента содержание C_3A в нем не должно быть более 5%.

ГЛАВА IV. ВЛИЯНИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОНА РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ КОРРОЗИИ.

§12. Физические факторы коррозии

В зависимости от вида агрессивных сред и других воздействий на бетонные и железобетонные конструкции могут влиять следующие

физические факторы.

Температурные воздействия. до последнего времени на физических факторов, воздействующих на бетонные и железобетонные конструкции, основное внимание уделялось чисто температурным воздействиям, приводящим к появлению только термических напряжений. Но помимо этих напряжений на тепловой обмен между средой и конструкцией влияют и процессы массообмена, а также фазовые превращения, происходящие в бетоне.

Температурные деформации неизбежны в массивных гидротехнических конструкциях (за счет внутренней экзотермии), а также присущи всем конструкциям, работающим в специфических атмосферных или промышленных условиях, когда изменения температуры среды носят циклический характер.

Величина свободных температурных деформаций характеризуется коэффициентом линейного расширения бетона α . Величина α зависит от состава и возраста бетона, вида заполнителя и влажностного режима.

Экспериментально установлено, что изменение температуры в пределах 4-55°C существенно не влияет на величину коэффициента линейного расширения бетона, хотя местные внутренние напряжения за счет различия в величинах коэффициента температурного расширения отдельных составляющих бетона и могут возникать.

Тепловое воздействие окружающей среды на бетон приводит к появлению в нем нестационарных потоков тепла и вещества, включая поток газов (в том числе водяного пара) и жидкости (парового электролита). Явления эти осложняются фазовыми превращениями и химическими реакциями.

Деформации усадки и набухания. При нарушении влажностного равновесия между бетоном и средой из-за неравномерного протекания диффузии влаги в объеме бетона в нем также могут возникнуть значительные градиенты влажности, что приводит к появлению усадочных деформаций (при высушивании) или деформации набухания (при насыщении бетона водой).

При твердении бетона в воде вначале объем его несколько увеличивается, а в воздушно-сухих условиях бетон дает усадку. Более значительную усадку имеют бетоны из жидких смесей (с бо-

льшим расходом цемента, а также водоцементным отношением). Наибольшая усадка в бетоне происходит в начальный период твердения — за первые сутки она составляет до 60–70% от величины месячной усадки. Объясняется это тем, что в указанный период особенно интенсивно обезвоживаются тесто вследствие испарения и поглощения влаги гидратирующимися зернами цемента. В результате обезвоживания частицы сближаются между собой и цементный камень дает усадку.

Объемные изменения бетона могут вызвать значительные деформации конструкций и даже появление трещин. Для предотвращения их в массивных конструкциях устраивают специальные температурные швы. Чтобы уменьшить экзотермию бетона, применяют цементы с малым выделением тепла. Величина усадки бетона на портландцементе зависит от минералогического состава и тонкости помола цемента. Усадка бетона возрастает с увеличением удельной поверхности цемента.

В бетоне усадка снижается за счет "армирующего эффекта" заполнителя, и тем значительнее, чем ближе взаиморасположение зерен. В цементном камне в местах их наибольшего сближения растягивающие напряжения повышаются и возможно образование микротрещин. В заполнителе при этом возникают сжимающие напряжения.

Бетоны на пористых заполнителях имеют большую усадку, так как плотный заполнитель имеет меньшую деформативность. Полная усадка легких бетонов плотного строения обычно на 15–25% больше, чем тяжелых, и может достигать 1,5 мм/м. Предельная величина усадки у легких бетонов достигается в сроки более длительные, чем у тяжелых бетонов. Значительное влияние на величину усадки легких бетонов оказывают вид мелкого заполнителя и условия твердения. Так, в результате применения плотного кварцевого песка усадка снижается на 40%, а пропаривание при температуре 95°C уменьшает усадку по сравнению с естественными условиями твердения на 20–25%, при автоклавной обработке усадка может быть уменьшена почти в 2 раза.

Следует, однако, учитывать не только чисто влажностную усадку. Общая величина усадки включает в себя усадку за счет контррационных явлений и процессов химического взаимодействия составных частей бетона и среды (например, за счет карбонизации).

Величина контрактционной усадки цементного камня через 40-50 суток твердения достигает $20 \cdot 10^{-5}$ мм/мм. Общая же усадка цементного камня, хранившегося на воздухе составляет $(50-107) \cdot 10^{-5}$ в зависимости от вида цемента, водоцементного отношения, вида заполнителей и других факторов.

Карбонизационная усадка может быть довольно значительной и достигать величин, близких для влажностной усадки. Следует иметь в виду, что при образовании CaCO_3 из извести и CO_2 уменьшается твердая фаза. Переход ионов кальция из раствора в кристаллическую решетку приводит к освобождению осмотически связанной воды и некоторому перемещению влаги из макропор в гель. Суммарные объемные изменения являются усадочными.

Физическая сущность всех видов усадочных явлений еще полностью не раскрыта, так как роль каждого вида воздействий оценить довольно трудно. Рекомендации, направленные на снижение усадки, в значительной степени основываются на опытных данных.

Деформации набухания в чистом виде происходят при увлажнении бетона. Установлено, что при разной степени увлажнения геля величины деформаций набухания будут различны. Более жирные составы бетона способны сильнее набухать, но с повышением расхода цемента при одном и том же изменении влажности степень увлажнения геля меньше. Влияние вида заполнителей на влажностные деформации бетона показано в табл. 8.

Таблица 8.
Влияние вида заполнителя на деформации
усадки и набухания

Вид заполнителя	: Усадка бетона на воздухе мм/мм, 10^{-5}	: Набухание бетона в воде мм/мм, 10^{-5}
Гравий	79	7,4
Гранит	37	13,1
Известняк	39	5,0
Песчаник	75	5,5

Для расчета деформаций, связанных с изменением влажности бетона приняты коэффициенты линейной усадки β и линейного набухания γ с размерностью $\frac{\text{мм}}{\text{мм}}$. Они представляют собой

относительно деформации бетона (мм/мм), вызываемые изменением его массовой относительной влажности (г/г) на единицу при равномерном высыхании или увлажнении.

для обычного тяжелого бетона средняя величина

$$\beta = 3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{мм/мм}}{\text{г/г}} \quad \text{и} \quad \gamma = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мм/мм}}{\text{г/г}}$$

т.е. величины деформации набухания бетона значительно меньше деформаций его усадки.

П о п е р е м е н н о е з а м о р а ж и в а н и е и о т т а в и в а н и е. Образцы бетона, изготовленные на различных видах цемента (портландцементе, пуццолановом портландцементе, шлакопортландцементе, глиноземистом и др.), имеют различную морозостойкость из-за различия их водоудерживающей способности, капиллярных свойств, контракции и ряда других характеристик.

Разрушению строительных конструкций под действием попеременного замораживания и оттаивания характерно для всех открытых сооружений, работающих в условиях атмосферных воздействий с одновременным насыщением их влагой. В этом случае на бетон воздействуют не только температурное и влажностное поля, но и фазовые превращения воды и осмотические силы.

Многочисленные циклы замораживания и оттаивания приводят к постепенному расшатыванию структуры цементного камня и бетона, объемному расширению, появлению трещин и снижению прочности.

Работами ряда исследователей установлено, что основную роль в развитии процессов разрушения при воздействии мороза играет характер капиллярно-пористой структуры материалов, влияющих на скорость тепло- и массообмена с окружающей средой. Доказано ими также, что в общем спектре пор есть наиболее опасные, играющие решающую роль в развитии процессов разрушения материалов.

Вода, взаимодействующая с цементным камнем, начинает переходить в лед, в первую очередь, в крупных порах, и полостях при температуре 0 и -1°C . При дальнейшем понижении температуры системы лед начинает образовываться в капиллярах все меньшего диаметра. В наиболее тонких из них вода замерзает при -25°C , а в гелевых порах лишь при -70°C . Под давлением замерзающей воды и льда на стенках пор и капилляров цементный камень значительно

увеличивается в размерах. Это увеличение, особенно в области температур от -5 до -20°C , достигает примерно $1-2$ мм/м в зависимости от свойства цемента и водоцементного отношения.

При циклическом воздействии влаги и мороза необходимо отметить, что из-за неравномерности распределения температур по объему бетона в нем появляется осмотическое давление, которое при промерзании будет способствовать перемещению воды от центра конструкции к периферии.

Величину осмотического давления можно подсчитать по формуле:

$$p = \frac{cRT}{M}$$

где: R — газовая постоянная;
 M — молекулярный вес растворенного вещества;
 c — концентрация;
 T — температура.

С изменением температуры осмотическое давление достигает значительных величин. Так, при 0°C оно равно $10,6$ кгс/см² (≈ 1 МПа), а при -10°C — $20,4$ кгс/см² (≈ 2 МПа).

Крупные поры, а также очень мелкие поры (особенно поры геля) в осмотическом отношении практически не опасны. Так как у первых емкость всего порового электролита намного больше количества образующегося льда, у вторых — вода замерзает при более низких температурах, чем обычно.

Для замкнутых пор величина давления льда при -20°C может достигать 2740 кгс/см² (274 МПа), а в тех случаях когда воде при замерзании имеет возможность свободно вытекать из пор, максимальное давление на их стенки при -20°C составляет 200 кгс/см² (20 МПа) и в основном зависит от радиуса и длины капилляров.

Особенно интенсивно разрушается бетон при одновременном воздействии на него низких температур и растворов солей. Этот вид физической коррозии особенно характерен для морских сооружений и химических предприятий. При температурах, близких к температуре замерзания насыщенного раствора поваренной соли (ниже 25°), становится достаточно одного цикла замораживания и оттаивания, чтобы

практически полностью разрушить насыщенную этим раствором железобетонную конструкцию.

В л и я н и е к р и с т а л л и з а ц и и с о л е й. Разрушение бетонных и железобетонных конструкций из-за кристаллизации солей в результате капиллярного подсоса и испарения минерализованных вод (3-й вид коррозии по В.М.Москвину) особенно характерно для районов с сухим и жарким климатом.

Возникающее давление при кристаллизации солей зависит от температуры окружающей среды, влажности воздуха, времени образования солей, а также вида соли. Так при температуре 20-30°C и относительной влажности воздуха 40-45% через 120 дней давление возникающее при кристаллизации может достигать: при сульфате натрия (Na_2O_4) - 0,44 МПа, сульфате магния ($MgSO_4$) - 0,35 МПа, хлориде натрия ($NaCl$) - 0,27 МПа и сульфате кальция ($CaSO_4$) - 0,09 МПа.

При особенно неблагоприятных температурах и влажностных условиях в порах бетона Na_2SO_4 , $MgSO_4$ и другие соли из безводных или маловодных форм могут переходить в соединения с большим количеством молекул воды ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ в Т.П.). Такой переход сопровождается увеличением объема твердой фазы в 1,5-3 раза и возникновением напряжений в теле бетона в десятки МПа, вызывающие большие напряжения.

К перечисленным выше физическим факторам влияющим на прочность и долговечность строительных конструкций следует отнести также все виды механических воздействий: удары волн, истирающее действие взвешенных частиц, ударные и вибрационные нагрузки и т.д.

§18. Физико-химические факторы

Из них особенно следует отметить коррозионные процессы происходящие по первому виду коррозии (коррозия выщелачивания), так и вследствие чисто осмотических и контракционных явлений.

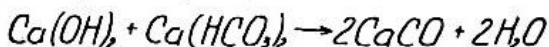
Главнейшие компоненты цементного камня - гидросиликаты, гидрoалюминаты, гидроферриты, гидросульфoалюминаты и гидрат окиси кальция - стабильны только в контакте с поровой жидкостью, в которой растворена в определенной концентрации известь. При эксплуатации конструкции, омываемого водой, или при фильтрации воды

через бетон под давлением происходит постепенное выщелачивание извести из бетона. для восполнения этого количества извести составные части цементного камня подвергаются ступенчатому гидролизу, что приводит к постепенной его деструкции.

длительное воздействие мягких вод на бетон может привести к полному вымыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с разложением остальных гидратных соединений до аморфных рыхлых гидратов кремнезема, глинозема и окиси железа. Но даже и частичное вымывание гидроокиси кальция из бетона и железобетона приводит к значительному снижению прочности. Так, выщелачивание CaO из бетона в количестве 15-30% (от общего его содержания в цементе) сопровождается уменьшением марочной прочности бетона на 40-50%.

Скорость коррозии бетона и железобетона при выщелачивании зависит не только от скорости растворения составных частей цемента, но и от химического состава воды, скорости ее движения, плотности бетона и степени связанности $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне. Наиболее интенсивно растворяется гидроокись кальция в мягкой воде, близкой по составу к дистиллированной. Наличие в воде NaCl и Na_2SO_4 повышает растворимость $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а наличие гидрокарбонатов кальция ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) и магния ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) способствует уменьшению растворимости гидроокиси кальция, причем тем значительнее, чем больше их в растворе.

При высокой временной жесткости воды в бетоне может образоваться малорастворимый карбонат кальция по схеме:



Наличие CaCO_3 способствует повышению плотности бетона и коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций.

Скорость выщелачивания извести из бетона можно определить по следующей формуле:

$$V_k = \frac{m d^2 P F c}{16 \mu \beta^2 l}$$

где: m — пористость фильтрующего бетона;
 d — диаметр капилляра;
 P — падение давления в г/см^2 на пути длиной l ;
 μ — вязкость жидкости, сек/см^2 ;
 β — коэффициент равный 1,37.

Эта формула верна для случаев, когда время фильтрации равно или больше времени диффузии.

При агрессивном выщелачивании необходимо:

- выбрать наиболее подходящий вид цемента (лучше портландцемент с гидравлическими добавками);
- применять бетоны с плотной структурой;
- учитывать скорость обновления воды у поверхности бетонных и железобетонных конструкций;
- принимать во внимание величину гидростатического напора воды и вид конструкции;
- учитывать жесткость воды.

Чисто осмотические явления, определяют процессы разрушения бетона за счет реакций взаимодействия щелочей цемента с заполнителями, содержащим кремнезем в активной форме. Поэтому для борьбы с коррозией подобного вида необходимо, чтобы содержание щелочей в цементах не превышало 0,3% в пересчете на Na_2O . В тех случаях, когда это невозможно, рекомендуются тонкомолотые гидравлические добавки (не менее 15% по отношению к цементу) и регулирование пористости путем введения химических добавок.

На прочность и долговечность бетона влияют и контракционные процессы, возникающие при гидратации минералов цементного клинкера. Так как процессы гидратации в бетоне продолжаются в незначительной степени и с малой скоростью в течение всего срока эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций, то контракционные явления будут в той или иной мере влиять на свойства цементного камня и бетона. В результате контракционных явлений в цементном камне появляются растягивающие усилия, которые сосредоточиваются на перемычках между микрополостями и приводят к разрыву пленок цементного камня, что вызывает понижение физико-механических свойств цементного камня и бетона по сравнению с теоретически возможными.

§14. Химические факторы коррозии

К ним следует отнести коррозии строительных конструкций из бетона и железобетона кислотами, щелочами, растворами солей, различными органическими соединениями, всеми видами агрессивных га-

зов, а также разрушение за счет электрохимических и биохимических процессов.

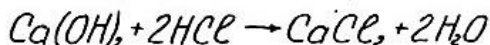
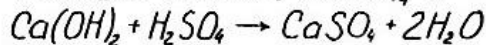
При изучении химических факторов коррозии бетона и железобетона необходимо рассматривать явления, лежащие в их основе, с двух позиций. С одной стороны, следует учитывать химический и минералогический состав компонентов бетона, что определяет химизм и термодинамику коррозионных процессов, а с другой — капиллярнопористую структуру бетона, от которой во многом зависит кинетика коррозионных процессов.

Кислотная коррозия бетона возникает под действием различных неорганических и органических кислот, вступающих в химическое взаимодействие с $Ca(OH)_2$, а также с другими составляющими цементного камня.

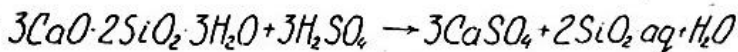
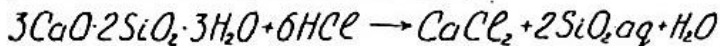
Процесс разрушения бетона в кислой среде протекает в форме реакций замещения. Образующиеся при этом продукты реакции непрочны, они легко растворяются и уносятся водой или выделяются в аморфном состоянии. Наиболее часто наблюдается коррозия бетона под действием углекислых вод, т.к. углекислый газ присутствует во многих природных водах. При этом вначале идет реакция между $Ca(OH)_2$ цементного камня и углекислотой с образованием малорастворимого в воде карбоната кальция.

Дальнейшее воздействие углекислого газа на бетон приводит к образованию более растворимого гидрокарбоната. (см. § II, гл. III).

Кроме углекислого газа сильной коррозионной активностью обладают серная, соляная, азотная и другие неорганические кислоты. Под действием этих кислот на цементный камень образуются кальциевая соль и аморфные бесвязные массы $SiO_2 \text{ аq}$, $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$. Так серная и соляная кислоты вступая в реакцию с $Ca(OH)_2$ образуют легко растворимые соли в виде хлорида кальция ($CaCl_2$) и сульфата кальция ($CaSO_4$):



С основным гидросиликатом цементного камня ($C_3S_2H_3$) реакции указанных кислот протекают по схеме:



Из органических кислот очень активно влияют на цементные бетоны уксусная, молочная и яблочная, содержащиеся обычно наряду с другими в пищевых продуктах и отходах их изготовления. При взаимодействии этих кислот с гидратом окиси кальция, образуются ацетат кальция $Ca(C_2H_3O_2)_2$, лактат кальция $Ca(C_3H_5O_2)_2$ и бугерат кальция $Ca(C_4H_7O_2)_2$ по реакциям:



По оксидокислотной схеме идет процесс коррозии бетона и железобетона в растворах некоторых типов солей, образованных катионом слабого основания и анионом сильной кислоты. К таким солям относятся: сульфат алюминия ($Al_2(SO_4)_3$), хлорид железа ($FeCl_2$), сульфат аммония ($(NH_4)_2SO_4$) и другие гидролизующиеся с образованием кислот.

Растворы щелочей с концентрацией более 5000 мг/л являются коррозионной средой для бетонных и железобетонных конструкций. При их действии растворимость $Ca(OH)_2$ значительно понижается, но одновременно резко возрастает растворимость кремнезема и полуторных оксидов. Наиболее агрессивно действуют из бетон растворов едкого натра, затем следуют едкий калий, аммиак и сода.

В сточных и грунтовых водах присутствуют сульфат и хлорид магния которые придают им агрессивные свойства. В основе процессов, которые протекают в цементном камне в присутствии этих соединений, лежат реакции их взаимодействия с $Ca(OH)_2$, в результате которых образуется малорастворимый гидрат окиси магния $Mg(OH)_2$ (см. §II, гл. II). Связывание OH -ионов в $Mg(OH)_2$ сопровождается понижением pH поровой жидкости до 10, что создает благоприятные условия для растворения и гидролиза гидратных новообразований в цементном камне. Коррозия под действием $MgCl_2$ становится значительной, если концентрация его в воде превышает 1,5-2%, а $MgSO_4$ - при концентрации ее в водном растворе 0,5-0,7%.

Химическая коррозия бетона и железобетона включает в себя и реакции их взаимодействия с газами. Коррозия этого типа разрушает бетон в условиях промышленных воздушно-газовых сред. Действие га-

зов на бетон в воздушно-сухих условиях обычно незначительно, но при повышенной влажности и температуре агрессивность их резко возрастает.

Коррозия в газовых средах встречается довольно часто и не менее опасна, чем влияние агрессивных жидких сред. При воздействии на железобетонные конструкции агрессивных жидких сред процессы разрушения определяются в большинстве случаев скоростью коррозии самого бетона, а коррозия арматуры начинает проявляться уже после разрушения защитного слоя бетона. В отличие от этого в воздушно-газовой среде на первое место, как правило, выступают процессы коррозии арматуры, которые и определяют скорость развития коррозии конструкций, работающих в этих условиях. Нижняя граница относительной влажности, при которой взаимодействие газов с бетоном практически не протекает, соответствует 40-50%.

§15. Микробиологические факторы коррозии

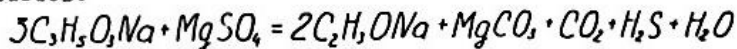
В биоповреждениях бетонных и железобетонных конструкций принимают участие как животные, так и растительные организмы.

Из микроорганизмов по отношению к бетону наибольшую коррозионную деятельность проявляют нитрификаты, серобактерии, плесневые грибы, придающие конструкциям нежелательную окраску (черную, зеленую, желтую). Глубина проникновения нитрифицирующих бактерий может быть от 1,5 до 2,5 см. В результате деятельности серобактерий (динитрифицирующие) образуется серная кислота, которая также разрушает цементный камень.

Помимо растворяющего, разрушительного воздействия бактериальными кислотами, микроорганизмы способны вызывать разрушение материала физическим путем за счет изменения объема бактериальных слизей при их высыхании или набухании внутри неплотностей структуры бетона. Следует также отметить фитогенную коррозию, вызываемую растительными организмами. Они оказывают разрушительное воздействие кислотами и ферментами корневой системы.

Бактерии могут активно воздействовать не только на бетон, но и на стальную арматуру, и вообще на металлы. В этом случае действие микроорганизмов будет носить биоэлектрохимический характер.

Наибольшее воздействие на сталь могут оказывать бактерии, образующие кислоты. К таким бактериям относятся: сульфатредуцирующие (сероводородная кислота), нитрифицирующие (азотная кислота) и тионовокислые (серная кислота). Так, сульфатредуцирующие бактерии, размножающиеся при полном отсутствии свободного кислорода в питательной среде, создают окислительно-восстановительный процесс. При этой реакции сульфаты восстанавливаются до сероводорода, а органические соединения окисляются до CO_2 и карбонатов:



Степень воздействия микроорганизмов вызывающих коррозию бетона находится в зависимости от условий внешней среды: температуры, аэрации, pH и засоленности воды и почвы.

Повышение биосопротивляемости бетона и железобетона решается повышением уплотнения их структуры, инъектированием антибиотиков с последующим нанесением на поверхность конструкций плотного пленочного покрытия.

ГЛАВА V. КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

§16. Возникновение коррозии арматуры в различных бетонах

Применяемая для изготовления железобетона арматурная сталь представляет собой твердый раствор железа с углеродом и примесью некоторых элементов (марганца, кремния, серы и фосфора). При действии на нее растворов электролита в силу неоднородности отдельных структурных составляющих на поверхности арматуры возникает множество микроэлементов, состоящих из анодов и катодов.

При исследовании влияния на прочность сцепления с бетоном, вывертку и несущую способность железобетонных конструкций процесс коррозии арматуры целесообразно разделить на три стадии.

Первая стадия начинается с образования ржавчины на арматурных стержнях. При достижении предельных растягивающих напряжений

в бетоне защитного слоя вдоль арматурных стержней образуются трещины и наступает вторая стадия. С этого момента благодаря более свободному доступу агрессивных компонентов к арматуре коррозионные процессы интенсифицируются и растягивающие напряжения в образованных первичными продольными трещинами бетонных элементах защитного слоя возрастают, достигая предельной величины. Сопровождается это отслоением защитного слоя и наступлением третьей стадии.

Толщину слоя продуктов коррозии из стержней, при которой образуются трещины и наступает вторая стадия коррозионного повреждения арматуры можно определить расчетным путем, выразив ее как $\Delta Z = \Delta Z_1 + \Delta Z_2$, где ΔZ_1 — толщина продуктов коррозии, уплотняющих бетон в контактной слое с арматурой, а ΔZ_2 — вызывающих распор и возникновение растягивающих напряжений в бетоне.

С использованием формулы для расчета толстостенных труб и допущения об упругой работе бетона после его уплотнения продуктами коррозии арматуры получена формула для определения ΔZ_2

$$\Delta Z_2 = \frac{(1-\mu)R_p}{4E_s} \left[\frac{Z^2 + (Z-a)^2}{Z} \right]$$

где: Z — диаметр арматуры, a — толщина защитного слоя бетона, R_p, E_s, μ — характеристики бетона. Ввиду малого значения ΔZ_2 (десятки микрон) им можно пренебречь при определении ΔZ .

Для конструкций из обычного тяжелого бетона величина ΔZ_1 составляет 0,2 — 0,5 мм в зависимости от плотности бетона в защитном слое и диаметра стержней. При $\Delta Z_1 = 0,2 - 0,5$ мм растягивающие напряжения в бетоне защитного слоя достигают предельной величины и в нем образуются трещины.

При толщине слоя продуктов коррозии в 2 — 8 мм начинается отслоение защитных слоев бетона вследствие образования вторичных трещин вдоль арматурных стержней.

Изучение вопроса о сохранности стальной арматуры в цементном бетоне показывает, что защитные свойства его по отношению к арматуре могут быть весьма разнообразными. Они зависят от хими-

ческой природы бетона и его проницаемости для агрессивных веществ. Химическая природа бетона зависит от вида вяжущего, заполнителей, добавок и режима твердения, а проницаемость — толщины и плотности защитного слоя бетона, ширины образующихся в нем трещин.

Следует отметить, что если прочность бетона во времени возрастает, то его защитная способность, как правило, падает. Это связано с естественной карбонизацией бетона в результате поглощения им углекислоты воздуха, а также проникновением к арматуре хлор-ионов и других агрессивных веществ. Влага, благоприятная для дальнейшего роста прочности бетона, в определенных условиях способствует возникновению и развитию коррозии арматуры.

Для стальной арматуры в бетоне, также как и для открытого металла, существует некоторая критическая влажность воздуха, ниже которой пленки влаги не могут обеспечить перемещение ионов между анодными и катодными участками ее поверхности. Это значительное относительной влажности находится в пределах 50–60%.

Наиболее интенсивно развивается процесс коррозии при повышенной влажности составляющей 80%. При этом пленки адсорбционной влаги на поверхности арматуры и прилегающих порых бетона обладают недостаточной ионной проводимостью, а электрохимические реакции коррозии начинают протекать с диффузионным контролем катодного процесса ионизации кислорода. При насыщении бетона влагой диффузия кислорода к катодным участкам сильно замедляется.

В плотном бетоне при влажности воздуха близкой к 100% процессы коррозии арматуры практически останавливаются. В легком и ячеистом бетонах многочисленные крупные сквозные поры не закрываются сорбционной влагой, кислород продолжает свободно поступать к поверхности арматуры и процесс коррозии не замедляется. Таким образом, в бетоне почти всегда достаточно влаги, необходимой для развития коррозии арматуры.

Отсутствие коррозии арматуры в бетоне объясняется пассивностью стали в щелочной среде. Основным условием пассивности стали в бетоне является ее постоянный контакт с поровой жидкостью, щелочность которой характеризуется величиной $\text{pH} \approx 12\text{--}12,5$.

§17. Факторы, влияющие на состояние стальной арматуры в бетоне

Как уже указывалось, что основой защитного действия цементных бетонов на стальную арматуру является щелочной характер влаги в теле бетона, способствующий сохранению пассивного состояния поверхности стали. Однако бетон находится в постоянном взаимодействии со средой, которая может либо способствовать его упрочнению и уплотнению, либо разрушать его структуру и понижать прочность, а также уменьшать способность защищать арматуру. Все эти изменения свойств бетона являются результатом действия на него кислых газов, жидкостей и сред, содержащих хлориды.

Наибольшее воздействие из кислых газов оказывает углекислый газ, концентрация которого в промышленных районах и в воздухе цехов намного превышает его содержание чем в сельской местности. Углекислота активно поглощается пористым телом бетона, так как между фронтом карбонизации и поверхностью бетона создается постоянная разность парциальных давлений углекислого газа, поддерживающая его диффузию. Скорость карбонизации зависит от плотности бетона и его влажности, а также от концентрации углекислоты.

Процесс карбонизации практически начинается при относительной влажности воздуха выше 45%, а при влажности, близкой к полному насыщению водой, карбонизация плотных бетонов почти прекращается.

Экспериментальные исследования показывают зависимость карбонизации от различных факторов: от температуры и относительной влажности воздуха, вида и расхода цемента, состава бетона, водоцементного отношения, времени и других. Данные таблицы 9 показывают, что в образцах с $B/C = 0,45$ карбонизация практически отсутствовала, в остальных она была тем больше, чем ниже расход цемента и выше B/C . Образцы хранились при нормальной температуре и относительной влажности воздуха 65%.

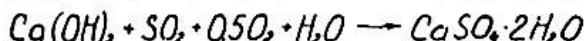
Воздействие сернистого газа на бетон принципиально не отличается от действия CO_2 . Продукты гидратации клинкера термодинамически не устойчивы к действию SO_2 , причем наименее устойчив гидрат окиси кальция.

Таблица 9

Влияние различных факторов на карбонизацию

В/Ц	:Содержание :цемента, кг/м ³ :	:Срок хранения, :месяцы :	:Толщина карбони- :зированной :слоя, мм
0,45	350	68	0
0,55	340	48	5
0,62	340	48	6
0,65	300	60	6
0,78	300	78	7
0,83	250	27	7
0,85	240	39	16
0,92	250	36	12
0,92	250	72	16
1,33	150	27	18

Продуктом реакции является обычный двуводный гипс



Известно, что образование гипса сопровождается увеличением объема твердой фазы. Первоначально гипс, заполняя поры, уплотняет структуру бетона и вызывает некоторое увеличение прочности на сжатие. Затем под давлением увеличивающихся кристаллов гипса структура бетона разрушается, что наблюдается в виде шелушения его поверхности. Скорость сульфатации зависит от концентрации SO_2 , влажности воздуха, плотности бетона и других факторов.

Ионы хлора являются наиболее агрессивными коррозионными агентами. Они могут затруднять или вообще исключать наступление пассивного состояния стали в бетоне. Ибо в присутствии хлоридов для наступления пассивирования требуется более высокая концентрация гидроксильных ионов. Если обычно пассивирующий слой образуется на стали при pH порядка 12, то в присутствии ионов хлора пассивирование наступает при значительно большей величине pH.

Известно, что ионы хлора не представляют особой опасности для самого бетона, т.к. они не взаимодействуют с гидратными но-

вообразованиями цементного камня. Поэтому агрессивное действие ионов хлора на железобетонные сооружения следует связывать с коррозионным разрушением арматуры.

Влажность воздуха, играющая решающую роль в сохранении защитных свойств бетона, оказывает большое влияние и на развитие процесса коррозии арматуры в бетоне, если ее поверхность по той или иной причине перестает быть пассивной. Опыт эксплуатации железобетонных конструкций показывает, что при сухой воздушной среде в карбонизированном бетоне коррозия арматуры не развивается. Не возникает она и при постоянно и полностью насыщенном водой бетоне, даже если это морская вода, содержащая хлориды.

Данные приведенные на рис.9 показывают развитие коррозии арматуры в различных бетонах (обычном нормального твердения, автоклавном пенобетоне и автоклавном пеносиликате).

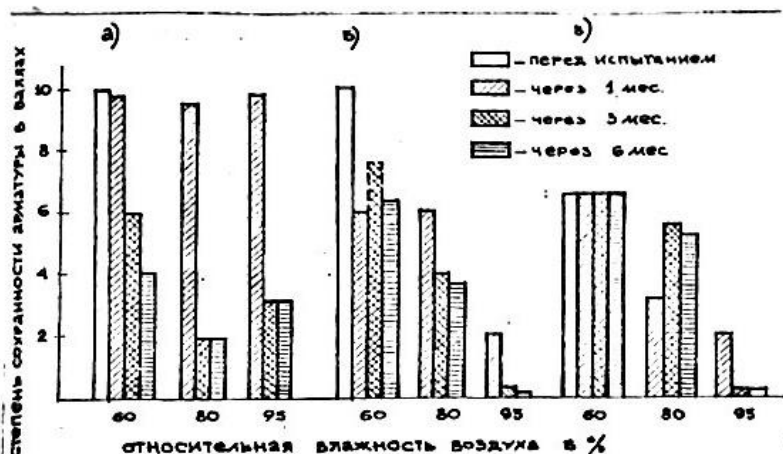


Рис.9. Сохранность арматуры в зависимости от влажности воздуха.
 а — обычный бетон нормального твердения,
 б — автоклавный пенобетон,
 в — автоклавный пеносиликат.

Оценка состояния арматуры приводится в баллах исходя из площади поверхности, свободной от коррозии: отсутствию коррозии отвечает балл 10, полному ржавлению — балл 0.

Плотность структуры и защитный слой бетона оказывают существенное влияние на долговечность сохранения арматуры в конструкциях.

Чем менее плотен бетон и чем тоньше его слой у арматуры, тем быстрее он теряет первоначальную способность пассивировать поверхность стали. Очевидно также, что начавшийся процесс коррозии будет протекать быстрее в более проницаемом для влаги и кислорода бетоне.

Повышенная проницаемость бетона может быть в известной мере компенсирована увеличенной толщиной защитного слоя. Ранее было указано, что время распространения в глубь бетона процесса карбонизации пропорционально квадрату толщины его слоя. Сопротивление диффузии кислорода также возрастает с толщиной слоя бетона.

Проницаемость бетона, которая определяется его структурой, зависит от ряда факторов существенными из которых являются: гранулометрический состав заполнителей, количество цементного теста, водоцементное отношение, подвижность и способы уплотнения бетонной смеси, режим твердения, вводимые добавки и другие.

В таблице 10 приводятся данные о влиянии расхода цемента и толщины защитного слоя на состояние арматуры в бетоне.

Таблица 10

Состояние арматуры в бетоне

Толщина защитного слоя, мм	: Расход цемента, кг/м ³	: Площадь коррозии, %	: Глубина коррозии, мм	: Потери в массе, г
15	220	10	360	0,21
15	270	1,0	80	0,0024
15	320	0	0	0
25	220	0	0	0

Следует отметить, что бетоны имели одинаковую подвижность смеси, хранились в течение двух лет при температуре 30°C и отно-

онительной влажности воздуха 80%.

Изложенное показывает, что проницаемость бетона, зависящая от толщины защитного слоя и плотности бетона определяет не только длительность сохранения им защитных свойств по отношению к арматуре, но и в случае возникновения коррозии, интенсивность ее развития.

§18. Защита арматуры от коррозии в железобетонных конструкциях

Основным материалом для современного строительства остается железобетон. В настоящее время потребление разных видов арматурной стали достигло 12 млн. тонн в год. Сокращению ее расхода за счет повышения коррозионной стойкости является одной из актуальных задач в капитальном строительстве. Надо учесть, что в отличие от стальной конструкции, которая после замены идет на переплавку, железобетонная отправляется на свалку. Значит увеличение срока службы железобетона, т.е. его долговечности, сокращает потребность страны в цементе и металле, не считая затрат других материалов, энергии, труда и денежных средств.

Другой особенностью металлоконструкций, в отличие от железобетонных, является возможность неоднократного возобновления защитных покрытий в зависимости от их фактического состояния. Судить же о состоянии арматуры железобетонных конструкций можно лишь по косвенным признакам. Если она корродирует в бетоне, то до определенной стадии развития коррозии это происходит без внешних признаков. Обычно коррозия становится заметной, когда под давлением ржавчины образуются трещины в бетоне.

Длительность сохранения первоначального защитного действия бетона определяется толщиной и проницаемостью защитного слоя в условиях конкретной среды. В настоящее время наиболее разработаны методы оценки диффузионной проницаемости бетона для кислых газов и хлоридов.

Толщину защитного слоя обычного бетона у арматуры назначают в зависимости от влажности и агрессивности среды, диаметра арматуры и вида конструкции. Так, толщину защитного слоя бетона стержневой арматуры при влажности воздуха 61-75%, слабой и сред-

ней агрессивной среде принимает равной 15-20 мм, а при сильно-агрессивной среде - 20-25 мм. Как правило, увеличению толщины защитного слоя не дает желаемого результата по защите от коррозии, так как утяжеляет конструкцию в целом, и приводит к увеличению раскрытия трещин.

Согласно СНиП П-28-73 толщина защитного слоя от поверхности бетона до поверхности любой арматуры, а также плотность бетона в газовой среде должна приниматься согласно данных приведенных в таблице II.

Таблица II
Требования к железобетонным конструкциям,
эксплуатируемым в газовой среде

Характеристика среды	Толщина защитного слоя в мм для сборных конструкций и их элементов			Плотность бетона конструкций, армированных сталью класса		
	Плит, балок, ферм, колонок, ребер, плит, приставок и других плит, армированных стальной, не менее	Балок, колонн, ребер, плит, приставок и других плит, армированных стальной, не менее	Стеновых А-П, панелей А-П, не менее	А-I, А-II, А-III, А-IV, В-I	А-У, Ат-IV, Ат-V, Ат-VI	В-II, Вр-II и изделия из них
Слабоагрессивная	15	20	25	Нормальная	Повышенная	Повышенная
Среднеагрессивная	15	20	25	Повышенная	Особоплотная	Особоплотная
Сильноагрессивная	20	25	25	Особоплотная	Не допускается	Особоплотная к применению

Для монолитных конструкций из тяжелого бетона толщину защитного слоя следует увеличивать не 5 мм по сравнению с приведенными в таблице величинами.

Для несущих конструкций из легких бетонов с показателями водопоглощения не более 10% (по массе), толщина защитного слоя бето-

на должна приниматься увеличенной по сравнению с данными приведенными в таблице II:

- в слабоагрессивной среде на 10 мм;
- в среднеагрессивной среде на 15 мм.

Не допускается применение в агрессивных средах несущих конструкций из легких бетонов, если величина водопоглощения более 10% (по массе).

Если защитные свойства бетона окажутся недостаточными, то применяют методы защиты самой арматуры. Одним из способов повышения долговечности железобетонных конструкций является применение оцинкованной арматуры. При сопоставлении с другими методами защиты арматуры от коррозии, например, нанесением полимерных покрытий на арматуру, оцинкование имеет преимущество по длительности и надежности защиты, покрытие обладает достаточной прочностью, хорошим сцеплением с арматурой и бетоном, эластичностью. Обычно толщина цинкового покрытия составляет от 10 до 30 мк.

Помимо защиты арматуры в бетоне оцинкованием эффективным является смазка ее растворами на основе портландцемента. Наиболее доступными считаются следующие составы:

- цементно-битумная мастика;
- цементно-казеиновая смесь;
- цементно-полистирольная обмазка;
- цементно-перхлорвиниловая обмазка.

Обмазки проверяют на эластичность, адгезию, прочность на удар и другие физико-механические характеристики. Толщина покрытий этих обмазок 0,3 - 0,6 мм.

Одним из способов защиты арматуры в железобетонных конструкциях является снижение степени агрессивности среды путем уменьшения вредных выделений газов, паров и аэрозолей в атмосферу цеха, а также агрессивных растворов на строительные конструкции. С этой целью должна быть обеспечена более полная герметизация оборудования, аппаратуры и коммуникаций, эффективная система приточно-вытяжной вентиляции.

Для уменьшения проницаемости бетона, с целью усиления защиты находящейся в нем арматуры, осуществляется защита поверхности же-

лестобетонных конструкций лакокрасочными или пленочными материалами. Более перспективным способом является пропитка строительных конструкций петролатумом и полимерами.

При изготовлении железобетонных конструкций, предназначенных для работы в агрессивных средах, следует применять замедлители коррозии арматуры — ингибиторы в количестве 1–2% от массы цемента в бетонах. В качестве ингибиторов рекомендуются NaNO_2 , $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, NaNO + $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, а также различные фосфатные соединения.

Железобетонные конструкции должны проектироваться и изготавливаться с расчетом на их длительную работу в течение всего срока службы сооружения. Предусматривать возможность какой бы то ни было степени коррозии арматуры не допустимо. Поэтому для арматуры тонких сечений (провода) целесообразны защитные покрытия, в частности, оцинкование; для средних и толстых (отвержни, термически упроченная арматура) — изменение химического состава и термической обработки.

Дальнейшие исследования и разработки в области коррозии и защиты арматуры в железобетонных конструкциях должны развиваться в следующих основных направлениях:

1. По увеличению защитной способности различных бетонов.
2. По исследованию более эффективных ингибиторов коррозии стали.
3. По уплотняющим пропиткам поверхности конструкций термостойкими и терморезистивными материалами.
4. По защите термически упроченной арматуры металлическими и неметаллическими покрытиями.
5. По коррозионному поведению высокопрочных арматурных сталей в бетоне с пониженной защитной способностью в части условий зарождения и развития коррозионных трещин.
6. По уточнению степени агрессивного воздействия сред на железобетонные конструкции с широким использованием данных натурных обследований и методов прогноза защитного действия бетона по отношению к арматуре.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ: "СТОЙКОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕ- ТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ".*)

- ✓ Лабораторная работа № I: "Химические методы повышения стойкости и долговечности строительных изделий и конструкций".

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основным назначением любого защитного покрытия по бетону, дереву или камню является предохранение их от действия агрессивных сред. Чем выше агрессивность сред, тем надежнее должна быть защита. Так как строительные изделия и конструкции чаще всего подвержены воздействию влаги, то предлагаемая работа и ставит своей целью практически осуществить один из способов (химический) защиты изделий и конструкций.

Сущность химического способа повышения стойкости и долговечности заключается в том, что изделия и конструкции обрабатываются различными химическими веществами или соединениями. При этом за счет взаимодействия их с материалом образуются нерастворимые, уплотняющие вещества, которые закрывают поры на поверхности изделия или конструкции. Этим достигается повышение стойкости во влажных условиях и соответственно долговечность.

Существуют различные химические методы повышения стойкости и долговечности изделий и конструкций:

- а) силикатизация;
- б) синтетическими смолами;
- в) солями кремнефтористоводородной кислоты;
- г) нефтепродуктами и т.д.

Но некоторые из этих покрытий меняют цвет и фактуру изделий и конструкций, что в ряде случаев нежелательно, также теряется свойство воздухо- и паропровицаемости.

- *) Методические указания разработаны автором учебного пособия.

В последнее время находит широкое применение водоотталкивающие (гидрофобные) кремнийорганические покрытия, которые лишены указанных выше недостатков.

Придание поверхностям строительных изделий и конструкций свойств несмачиваемости водой называется гидрофобизацией.

Для гидрофобизации применяются следующие кремнийорганические жидкости: прежде всего полиметилгидросилоксаны —

— ГКЖ-94 $\begin{matrix} C_2H_5 \\ | \\ (-Si-O-)_n \\ | \\ H \end{matrix}$, а также вводимые в виде

эмульсий, водорастворимые метил- и этилсилилаты натрия (марочные названия ГКЖ-10 и ГКЖ-11).

Эти соединения представляют собой сложные макромолекулы, характеризующиеся наличием кремнийкислородных (силоксановых) связей ($-O-Si-O-Si-$) и органических радикалов (CH_3 , C_2H_5) и состоят из 2-х частей — полярной и неполярной.

Гидрофобизация строительных изделий и конструкций разделяется на поверхностную и объемную.

✓ ПОВЕРХНОСТНАЯ ГИДРОФОБИЗАЦИЯ

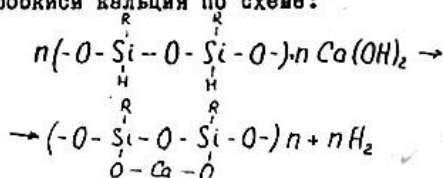
Устойчивость кремнийорганических покрытий объясняется тем, что вслед за процессом адсорбции, за счет поверхностных химических реакций, происходит "связывание" гидрофобизатора с поверхностью твердого тела. Полярные группы или часть их взаимодействуют с гидроксидами, окислами или некоторыми солями, входящими в состав гидрофобизируемого материала.

Поверхностная гидрофобизация производится при температуре не ниже $10^{\circ}C$ по поверхности, предварительно очищенной щетками или пескоструйным аппаратом. Жидкость наносится краскопультом или кистью на воздушно-сухую поверхность в один-два слоя по всей площади без пропусков и подтеков.

Сушка гидрофобизированной поверхности производится при температуре не ниже $10^{\circ}C$ в течение 48 часов, причем увлажнение изделий и конструкций не допускается. Возможна искусственная сушка при температуре $120^{\circ}C$ в течение 1 часа.

ОБЪЕМНАЯ ГИДРОФОБИЗАЦИЯ

Сущность этого вида гидрофобизации заключается в том, что кремнийорганические жидкости в виде эмульсий или водных растворов прямо вводят при приготовлении бетонов и растворов. Эффект от их введения, оцениваемый прежде всего по очень сильному повышению морозостойкости и долговечности бетона, обусловлен помимо гидрофобизации стенок пор и капилляров прежде всего появлением гидрофобизированных изнутри пор, образованных пузырьками водорода, выделяющегося при реакции, например, ГКЖ-94 с водным раствором гидроксида кальция по схеме:



ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проведение гидрофобизации поверхностной и объемной, а также силикатизации, выбор оптимальных параметров обработки, сравнительная оценка.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовка образцов в виде кубиков или плиток. Предварительная очистка поверхностей. Приготовление компонентов (щебня, песка, цемента) для бетона или раствора.
2. Подготовка химикатов: для силикатизации - растворимое стекло плотностью 1,5 (плотность проверить ареометром) и 10% раствор $CaCl_2$; для гидрофобизации - 3,4,5% водные растворы ГКЖ-10, ГКЖ-11.
3. Силикатизация. Один из образцов попеременно кистью пропитать растворимым стеклом и хлористым кальцием 2-3 раза. Через сутки высушить до постоянной массы.
4. Гидрофобизация.
 - а) С помощью распылителя или кисти провести двухкратную пропитку образцов с интервалом 3-5 мин., применяя водные растворы различной концентрации обоих гидрофобизаторов;

б) В подобранной состав бетона или раствора ввести в количестве 0,02–0,05% кремнийорганической жидкости. Отформованные образцы подвергнуть пропарке и оставить на хранение.

5. Проведение испытаний. Силикатизированный, гидрофобизированный и контрольный необработанный образцы после предварительного взвешивания поместить в воду на поставку таким образом, чтобы вода смачивала только нижнюю плоскость образца. Через час взвесить и определить водопоглощение при капиллярном подсосе по формуле (I).

$$B = \frac{P_H - P_0}{P_0} \cdot 100\% \quad (I)$$

P_H – масса насыщенного водой образца, г;

P_0 – масса сухого образца, г.

После этого образцы полностью погружаются в воду и выдерживаются до полного насыщения. После взвешивания определяется водопоглощение по той же формуле (I).

6. Результаты испытаний внести в таблицу и сделать выводы по выполненной работе.

№ № образцов:	Виды образцов	Вид гидрофо- бизатора	Концент- рация ГКХ	Капилляр- ный под- сос, %	Водо- погло- щение, %
1	Контрольный				
2	Силикатизированный				
3	Контрольный				
4	Гидрофобизированный				
5					
6					
7					
8	Контрольный				
9	С объемной гидро- фобизацией				

✓ Лабораторная работа № 2: "Применение органосиликатных материалов типа ВН-30 для защиты поверхностей".

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В зависимости от агрегатного состояния среды (газ, пар, жидкость) ее давления и температуры, а также наличия механических воздействий ударов и истирания – применяются различные защитные покрытия.

Различают следующие виды покрытий:

1. Лакокрасочные – они применяются преимущественно от воздействия атмосферы, в том числе и внутренней атмосферы цехов и при наличии агрессивных газов и паров.

2. Усиленная изоляция – в виде обмазок, плотных штукатурок или облицовок – такая защита может применяться как при воздействии высокоагрессивной атмосферы, так и при действии жидких сред умеренной агрессивности без механических воздействий; сюда же могут быть отнесены покрытия, наносимые газопламенным или электродуговым напылением и т.д.

3. Оклеечная изоляция рулонными материалами – рубероидом, полиэтиленом, полиизобутиленом, резиной; назначение то же, что и для облицовок, но обычно в качестве подслоя под футеровки.

4. Футеровки – в виде многослойных покрытий, включающих в себя грунтовку, шпаклевку, оклеичную изоляцию и слой из прочных и относительно плотных штучных, обычно керамических плиток или кирпича.

Органосиликатный состав представляет собой суспензию кремнийорганического полимера и минеральных добавок в толстолее. Этот состав предназначен для окраски металлических и неметаллических поверхностей. Получаемые при этом покрытия обладают значительной термо- морозо- и атмосферостойкостью, хорошей адгезией к металлам и строительным материалам, высокой механической прочностью и гидрофобностью, а также устойчивостью в некоторых промышленных газовых средах. Они выдерживают резкие перепады температур от -60°C до $+800^{\circ}\text{C}$.

Цель работы: Приготовление состава химической очистки поверхностей методом холодного фосфатирования и нанесение защитного покрытия на органосиликатных материалов.

Методика проведения работ.

Для приготовления состава для очистки поверхностей (в данной работе – металлических) от продуктов коррозии применяют следующие материалы:

№ п/п	Наименование компонентов	Расход материалов в весовых частях
1.	Ацетон	25
2.	Ортофосфорная кислота	35
3.	Стиральный порошок или кальцинированная сода	1
4.	Вода	39

Загрузка компонентов в емкость осуществляется в следующей последовательности: кислота, ацетон, сода, вода.

Приготовленный раствор может храниться неограниченное время и многократно использоваться.

Образцы-металлы, подлежащие очистке, должны быть без трещин, напылов сварки, острых кромок и т.д. Образцы очищаются погружением в раствор и выдерживанием в нем в течение 1-3 минут.

Органосиликатные материалы в зависимости от назначения и основы выпускаются следующих групп и марок:

№ п/п	Марка материала	Цвет покрытия	Группа
1.	80, 30/6	серо-зеленый	ВН
2.	30ДТ, 30ДТ/7	белый	ВН
3.	80ПМ	черный	ВН
4.	80СЖ	коричневый	ВН

1	2	3	4
5.	30 ОХ, 30 ОХ/9	темно-зеленый	ВН
6.	30ДТСХ	салатный	ВН
7.	30 ОЗ	золотистый	ВН

Нанесение покрытий производится окунанием не менее 3 раз с сушкой промежуточных слоев в течение 5-7 минут при температуре 50°C - 60°C. Общая толщина покрытия должна составлять не менее 150 микрон.

Детали с органосиликатным покрытием для повышения стойкости подвергаются термической обработке в электрических печах по режиму:

1. Подъем температуры от 20°C до 200°C - 1,5-2 часа.

Скорость подъема температуры не более 2°C в минуту.

2. Выдержки при температуре 200°C - 3 часа.

3. Естественное остывание.

При выполнении работы сделать общие выводы и записать их.

✓ Лабораторная работа № 3: "Технология нанесения антикоррозионного покрытия способом металлизации".

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Роль закладных деталей и соединений в сборных железобетонных конструкциях чрезвычайно ответственна. При их помощи обеспечивается единство конструкций, необходимая пространственная жесткость и прочность всего здания.

Применяемые в настоящее время различные способы антикоррозионной защиты закладных и соединительных деталей (обмазка цементно-кашеиновым составом, цементными растворами, окраска лаками, красками и эмалью) не гарантирует их долговечность. Под действием высокой температуры, периодических улажнений и осадочных деформаций вышеперечисленные защитные покрытия рас-

слабевают и разрушаются.

Эффективность защитного покрытия достигается:

1. Стойкостью его в отношении действующей среды;
2. Инертностью покрытия в отношении защищаемого материала;
3. Необходимой прочностью и хорошей адгезией;
4. Достаточной плотностью.

Для более надежной защиты различных поверхностей, в том числе и закладных деталей, от коррозии в практике применяется способ металлизации (распыления). При этом способе защитное покрытие образуется путем распыления по поверхности детали жидкого металла.

Выбор материала покрытия зависит от значений электродных потенциалов материала защищаемого изделия (основы) и наносимого слоя (покрытия). В качестве покрытия могут применяться следующие металлы: алюминий, железо, медь, марганец, магний, олово, свинец, цинк и др.

Толщина покрытия на поверхности закладных деталей, заделанных в бетон, составляет не менее 200 мк. На остальную часть каждой детали наносят слой толщиной 50-100 мк.

ТЕХНОЛОГИЯ КОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ

Сущность процесса металлизации заключается в том, что расплавленный металл распыляется струей сжатого воздуха на предварительно подготовленную поверхность деталей.

В настоящее время применяются два способа металлизации:

1. Электродуговой;
2. Газопламенный.

В табл. I приводятся данные технико-экономических показателей различных способов защиты.

Из таблицы I видно, что удельные капитальные затраты на создание мощностей по металлизации почти в 2 раза меньше, чем для получения горячецинковых покрытий.

На установке для электрометаллизации металл, предназначенный для покрытия, расплавляют вольтовой дугой.

Для образования покрытия используется металлическая проволока диаметром 1,5-2,5 мм.

Таблица I.

Сравнительная стоимость способов защиты

Способ защиты	Защитный металл	Толщина покрытия, мк	Удельные капитальные затраты руб/м ² покрытия	Срок служ- бы покрыва- ния, годы (в промыш- ленной атмосфере)	Стоимость покрытия, руб/м ²
Металлиза- ция распла- влением	Цинк	100	1,2	6	2,0-7,6
	Алюминий	100	1,2	10	4,0
	— " —	200	1,2	20	2,3
Горячее цинкован- ие	Цинк	100	2,2	6	63-65

Металл расплавляется следующим образом: две проволоки при помощи проволочкоподающего механизма, смонтированного в аппарат, непрерывно перемещают через приемные трубки и направляющие пластины в наконечники. Выходя из наконечников проволоки встречаются, а так как в каждой из них подведен электрический ток — возникает вольтовая дуга. В ней концы проволок расплавляются. Точка образования вольтовой дуги расположена в распылительной головке на оси воздушного сопла. Выходящая из него струя сжатого воздуха подхватывает и распыляет в требуемом направлении жидкий металл. Мельчайшие частицы его, двигаясь с большей скоростью, ударяются о поверхность металлизированной детали, сцепляются с ней и образуют сплошное чешуйчатое покрытие. Толщина слоя регулируется числом проходов металлизатора и скоростью его перемещения относительно защищаемой поверхности.

Режим работы металлизатора устанавливается оператором в зависимости от источника электрического питания, применяемого металла, диаметра проволоки, давления сжатого воздуха. Расстояние от точки плавления проволок до металлизированной поверхности выдерживается в пределах 100-150 мм. При нанесении покрытия необходимо избегать нагрева поверхности выше 70-80°C.

Толщина слоя на плоских поверхностях не должна превышать 300 микрон. Покрытие должно быть мелкозернистым, без крупных включений и брызг.

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ К МЕТАЛЛИЗАЦИИ

При распылении жидкого металла частицы наносимого покрытия сцепляются с основанием и друг с другом, в основном, благодаря шероховатости поверхности защищаемой детали и частично под действием молекулярных сил. Поэтому первоочередное значение имеет подготовка поверхности детали. Она имеет своей целью удалить с поверхности всякого рода загрязнения и окисную пленку, а также придать ей большую шероховатость.

Существует несколько способов подготовки поверхностей для нанесения защитного слоя. Наиболее распространенным способом получения чистой шероховатой поверхности является пескоструйная обработка. Применяется она для деталей со сложной конфигурацией (не тел вращения). Организовать ее можно на любом участке, обеспеченным сжатым воздухом от стационарной или передвижной компрессорной установки.

Чаще всего для данного вида обработки поверхности применяется кварцевый песок. Он не дефицитен, относительно дешев, достаточно тверд и способен сохранять абразивные свойства при обработке, за счет образования новых граней, получаемых при расколы частиц от ударов о поверхность. Песок, используемый в пескоструйных аппаратах должен быть сухим, без пыли. При его применении необходимы усиленная вытяжная вентиляция на рабочем месте и респираторы для обслуживающего персонала.

За рабочую смену одним пескоструйным аппаратом можно обработать 400–500 деталей. Давление сжатого воздуха 4–6 кгс/см².

После пескоструйной обработки закладываемые детали и соединительные элементы подвергаются металлизации. Подготовленную поверхность следует металлизировать не позднее 2-х часов после обработки.

Применяется также подготовка поверхностей дробеструйным аппаратом.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛИЗАТОРОВ

При металлизации в заводских условиях применяются аппараты, расплавляющие проволоку в электрической дуге в газокислородном

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА АНТИКОРРОЗИОННЫХ РАБОТ СПОСОБОМ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

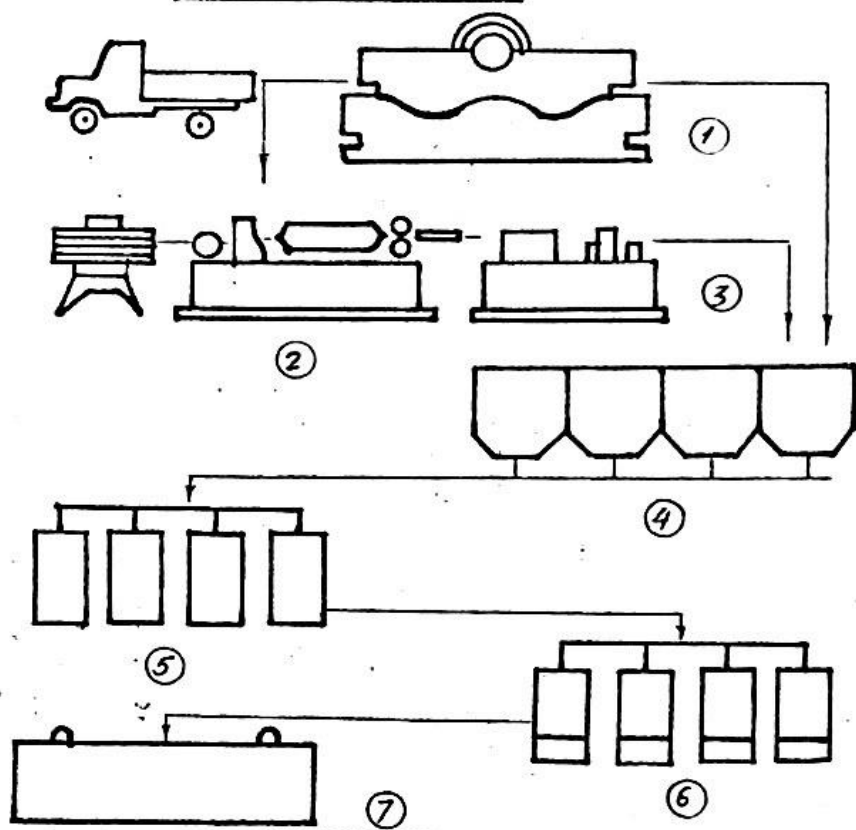


Рис. 1

- 1- Ножницы для раскроя полосовой стали
- 2- Продольноотрезной станок АН-8
- 3- Шлифовальный станок
- 4- Сварочные посты
- 5- Пескоструйные аппараты
- 6- Металлизационные агрегаты
- 7- Контейнер для готовой продукции

пламени. В частности, на заводе ХБМ-8 г.Ташкента используется электрический металлizador типа ЭМ-12.

На рисунке 1 приводится технологическая схема производства антикоррозионных работ способом металлизации.

В таблице 2 приведены характеристики различных аппаратов применяемых для нанесения защитного покрытия металлизацией.

Таблица 2.
Характеристики оборудования для металлизации

Способ работы	Марка: аппа- рата	Тип	Приме- няе- мые газы	Ток не бо- лее, А	Напря- жение, В	Диаметр распы- ляемой прово- локи, мм	Производи- тельность, кг/ч	Коэффиц. использо- ван.	
							цинк: алю- миний	цинк: алю- миний	
Элект- родуго- вая	ЭМ-10	руч- ной		200	17-85	1,5-2,0	18	5	0,62 0,65
	ЭМ-14	"		820	17-40	1,5-2,0	80	8	0,62 0,65
	ЭМ-12	Ста- цио- нар- ный		500	17-85	1,5-2,5	85	14	0,62 0,65
Газо- пла- меч- ный	МГН-2	руч- ной	Ацети- лен+O ₂	"	"	1,5-2,5	12	8,8	0,67 0,89
	МГН-4	"	Пропан- бутан+ O ₂	"	"	2,0-4,0	28	5,0	0,67 0,89
	МГН-5	Ста- цио- нар- ный	"	"	"	5,0-6,0	50	14	0,68 0,78

О Г Л А В Л Е Н И Е

В В Е Д Е Н И Е	-	3
ГЛАВА I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	-	5
§1. Конструкция и среда	-	5
§2. Атмосферное воздействие	-	6
§3. Действие жидкой среды	-	9
§4. Состояние проектирования и задачи в области борьбы с коррозией в строительстве	-	12
<u>ГЛАВА II. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ</u>	-	14
§5. Виды коррозии металлов и условия их вызывающие	-	14
§6. Электрохимическая коррозия металлов	-	16
§7. Влияние различных факторов на скорость электрохимической коррозии	-	19
§8. Методы оценки стойкости металлов	-	20
§9. Подготовка к защите металлических поверхностей и защита от коррозии	-	28
ГЛАВА III. КОРРОЗИЯ БЕТОНА И ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ	-	26
§10. Виды агрессивных воздействий и структурных дефектов	-	26
§11. Основные виды коррозии бетона	-	27
ГЛАВА IV. ВЛИЯНИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОНА РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ КОРРОЗИИ	-	31
§12. Физические факторы коррозии	-	31
§13. Физико-химические факторы	-	37
§14. Химические факторы коррозии	-	39
§15. Микробиологические факторы коррозии	-	42

ГЛАВА У. КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗО-БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ	- 43
§16. Возникновение коррозии арматуры в различных бетонах	- 43
§17. Факторы влияющие на состояние стальной арматуры в бетоне	- 46
§18. Защита арматуры от коррозии в железобетонных конструкциях	- 50
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	- 54
№ 1 Химические методы повышения стойкости и долговечности строительных изделий и конструкций ..	- 54
№ 2 Применение органосиликатных материалов типа ВН-80 для защиты поверхностей	- 56
№ 3 Технология нанесения антикоррозионного покрытия способом металлизации	- 60
Л И Т Е Р А Т У Р А	- 68

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Алексеев С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. М., Стройиздат, 1968.
- Бабункин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. М., Стройиздат, 1968.
- Безалаев Г.А. Производство футеровочных, гуммировочных, винилпластовых и лакокрасочных работ. М., Высшая школа, 1977.
- Безалаев Г.А., Медведов В.М., Моцанский Н.А., Защита строительных конструкций от коррозии. М., Стройиздат, 1966.
- Бахвалов Г.Т. Защита металлов от коррозии. М., Металлургия, 1964.
- Колокольников Е.М., Долговечность строительных материалов. М., Высшая школа, 1975.
- Москвин В.М. Коррозия бетона. М., Стройиздат, 1962.
- Моцанский Н.А. Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред. М., Стройиздат, 1962.
- СНиП П-28-78. Защита строительных конструкций от коррозии. М., Стройиздат, 1974.
- Стрижевский И.В., Рейзин Б.Л., Иоффе Э.И. Коррозия и защита арматуры железобетонных трубопроводов. М., Стройиздат, 1972.
- Чехов А.П. Защита строительных конструкций от коррозии. Киев, "Вища школа", 1977.
- Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. М., Изд-во "Транспорт", 1966.

Редакторы: Косова Т.К., Хван Э.И.

Тех. редактор: Шакирова Г.М.

Р 12483 Подписано к печати. 13.07.79 Заказ № 938..
Формат бумаги 60х84 1/16 Тираж 500 экз. Объем 4.25 п.л. Цена 42к.

Ротапринт ТашПИ, г. Ташкент, ул. Якуба Коласа, 16

2100

Цена 42 коп.

)