

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В. С. ПОГОСЯН, М. А. СУРИС, Э. Б. ФИНКЕЛЬШТЕПН

КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СТАЛИ В КОНТАКТЕ С
АВТОКЛАВНЫМ ПЕНОБЕТОНОМ И БИТУМОПЕРЛИТОМ

На процесс коррозии внешней поверхности теплопроводов влияют многочисленные факторы, в условиях подземных прокладок ими являются температура, влажность, давление водяных паров, блуждающие токи, агрессивные компоненты среды, температурные деформации. Коррозионные испытания стали производятся в предположении наименее благоприятного сочетания внешних факторов и физико-химических свойства материала теплоизоляции. Покрытие должно обладать достаточно высокой стойкостью, чтобы в условиях эксплуатации обеспечить надежную защиту труб в течение всего срока службы тепловой сети. Естественно, что определение опасности коррозии трубопроводов тепловых сетей, находящихся в условиях длительной эксплуатации, возможно лишь путем проведения ускоренных испытаний с использованием различных экспресс-методов. Такие испытания требуют, в свою очередь, надежного контроля над всеми параметрами, что возможно только в лабораторных условиях. Эти соображения должны быть учтены в методике проведения коррозионных испытаний.

Теоретический анализ влияния процессов переноса на скорость коррозии наружной поверхности теплопроводов позволяет сформулировать некоторые положения, являющиеся исходными при определении методики коррозионных испытаний стали в контакте с автоклавным пенобетоном и битумоперлитом. К этим положениям относятся:

1. Создание определенного температурного градиента, обеспечиваемого наличием внутреннего обогрева.
2. Создание определенного динамического температурного режима (суточные колебания температур в диапазоне от 30 до 75°C).
3. При моделировании условий работы трубопроводов бесканальной проводки должна быть выбрана относительная высокая влажность грунта, контактирующего с теплоизоляцией, что затрудняет высыхание теплоизоляционного покрытия.
4. Исходя из закономерностей усреднения и характерных размеров пор пенобетона и битумоперлита, необходимо установить определенную минимальную толщину теплоизоляции (~ 30 мм).
5. Для имитации естественных повреждений в гидроизоляции, на поверхности последней должны быть сделаны вырезы, общая площадь которых должна составлять не менее 1% от поверхности.

6. Для моделирования электролита должны применяться растворы, имитирующие грунтовые воды.

7. Для увлажнения теплоизоляционного покрытия можно использовать экспресс-метод—увлажнение под вакуумом.

Для проведения коррозионных испытаний, моделирующих условия работы теплопроводов с пенобетонной изоляцией, в качестве образцов использовались цилиндрические стальные патрубки (диаметром 32 мм и длиной 110 мм), на поверхность которых наносился слой пенобетона толщиной 30 мм.

Перед нанесением пенобетонной теплоизоляции патрубки тщательно зачищались шлифовальной бумагой, обезжиривались ацетоном и взвешивались на аналитических весах. Общий вид образцов представлен на рис. 1. Часть образцов, подвергнутых испытаниям, имела гидроизоляционный слой из бризола с имитацией естественных повреждений в виде прямоугольных вырезов общей площадью 3 см² (1% поверхности гидроизоляции).

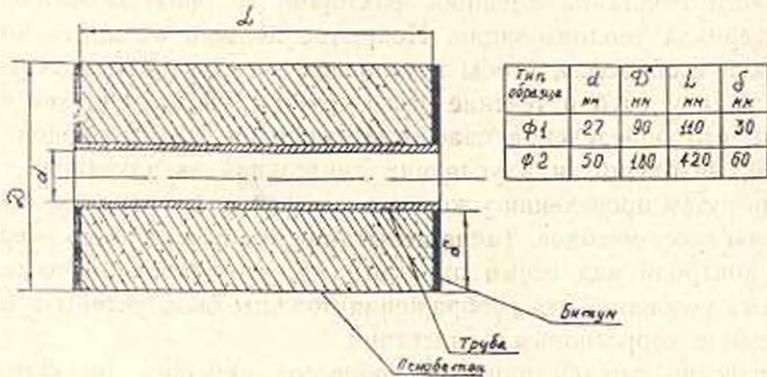


Рис. 1. Общий вид образцов и их размеры

Коррозионные испытания подготовленных таким образом образцов проводились на специальном стенде (рис. 2). Требуемый температурный режим создавался либо путем внутреннего электрического нагрева, либо путем подачи через внутреннюю полость патрубков масла, подогретого до необходимой температуры. Для воспроизведения динамического температурного режима были приняты два крайних значения температуры: 30 и 75°C. Динамический режим реализовался путем выключения термонагревателей в ночное время. Влажностный режим воспроизводился с учетом условий работы теплоизоляционных конструкций. Образцы с пенобетонным покрытием помещались в ячейки, заполненные песком 8—10% влажности (по весу) или водой. Влажностное содержание пенобетона в первом случае обуславливалось с одной стороны температурой поверхности металла, с другой стороны—влажностью песка, и составляло вблизи поверхности металла 10—15% (по весу). Влажность периферийного слоя пенобетона составляла 35—40%. Во втором случае влажностное содержание пенобетона достигло полного влагонасыщения.

Для моделирования блуждающих токов на процесс коррозии теплопроводов бесканальной прокладки, образцы с пенобетонным теплоизоляционным покрытием были подвергнуты анодной поляризации. При этом величины токов были заданы в соответствии с реальными значениями токов утечки с единицы поверхности подземных металлических сооружений.

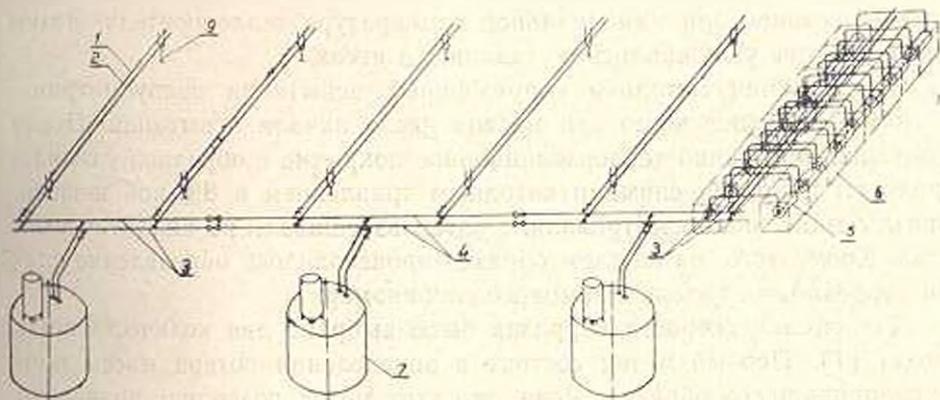


Рис. 2. Схема стенда для коррозионных испытаний образцов. 1—Коллектор ячеек подающий, 2—Коллектор ячеек обратный; 3—Коллектор распределительный; 4—Коллектор средний; 5—Образец; 6—Ячейка; 7—Термостат; 8—Кран, 9—Стойка

Для проведения коррозионных испытаний, моделирующих условия работы теплопроводов с битумперлитной изоляцией, в лаборатории НИИ Мосстроя были изготовлены образцы в форме цилиндрических патрубков с наружным диаметром 32 мм и длиной 110 мм. На патрубки наносился битумперлит методом осевого прессования в одиночных цилиндрических формах. Битумперлитная масса готовилась вручную. Было изготовлено 30 образцов с объемным весом $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ и 30 образцов с объемным весом $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$. На патрубки предварительно с внешней стороны наносилось два слоя битумного праймера. Внутренняя сторона патрубков покрывалась краской ВН-30 для предотвращения коррозии в процессе испытаний. На 20 образцах ($\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$) были нанесены гидроизоляционные слои (два слоя изоля по битуму). На образцы с $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$ была нанесена стеклоткань по мастике БЛК. Часть образцов содержала 7%-ную добавку в материале теплоизоляции. В гидроизоляционном покрытии 20 образцов с $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ были сделаны повреждения:

а) на 16 образцах (№№ 34; 4; 53; 17; 12; 18; 19; 15; 24; 3; 5; 6; 11; 33; 80) четыре прорезы размером $5 \times 15 \text{ мм}$ по две с диаметрально противоположных сторон;

б) на двух образцах (№№ 30; 13) была снята одна торцевая поверхность гидроизоляции для имитации концевого участка теплоизоляции;

в) на двух образцах (№№ 1; 31) сделаны по две прорезы в материале теплоизоляции до патрубков для имитации трещины в изоляционной конструкции.

Коррозионные испытания стальных образцов с битумоперлитной изоляцией проводились по той же методике, что и испытания образцов с пенобетонной изоляцией. Однако были и некоторые особенности. В частности, 8 образцов с битумоперлитной изоляцией подвергались предварительному нагреву в течение 120 часов до температуры 150°C. Это было сделано для имитации работы покрытия в течение двух отопительных сезонов при максимальной температуре теплоносителя. Затем образцы вновь увлажнялись и ставились в песок.

Описываемая методика коррозионных испытаний предусматривает снятие образцов через три месяца после начала испытаний. После окончания испытаний теплоизоляционное покрытие с образцов удаляли. Продукты коррозии снимали катодным травлением и 8%-ной щелочи, образцы тщательно осматривали, а затем взвешивали на аналитических весах. Кроме того, на каждом образце производилось определение глубины коррозионных каверн с помощью глубиномера.

Для оценки скорости коррозии было выбрано два количественных метода [1]. Первый метод состоит в определении потери массы проржавевшего образца. Ясно, что этот метод позволяет правильно оценивать скорость коррозионного процесса только при равномерной коррозии. В действительности, однако, коррозионные разрушения как на образцах с пенобетонным покрытием, так и на образцах с битумоперлитным покрытием, имеют вид питтингов и язв. Поэтому правильнее коррозионную опасность оценивать по максимальной глубине коррозии. В сущности срок службы теплопровода зависит от наибольшей глубины коррозионных повреждений, которые определяют время появления сквозных разрушений, приводящих к авариям на теплопроводах. Первый метод (по потере массы) дает интегральное представление о процессе коррозии и не требует специальной математической обработки. Однако, он является более чувствительным к влиянию на скорость процесса различных факторов. Поэтому, наряду с определением максимальных глубин коррозионных каверн, этот метод необходимо использовать при коррозионных испытаниях.

Результаты коррозионных испытаний стали в контакте с автоклавным пенобетоном представлены в таблицах 1 и 2. Было установлено, что наибольшая скорость коррозии возникает при испытании образцов с пенобетонным покрытием в увлажненном песке. В этом случае наблюдается довольно значительные потери массы, а средний по моде максимум коррозионной каверны составляет 0,20 мм за время испытаний. Испытания, проведенные на образцах в ячейках, заполненных водой (табл. 2), показали, что скорость коррозии в этом случае значительно ниже, чем при испытаниях в песке 8—10%-ной влажности при прочих равных условиях (средний по моде максимум коррозионной каверны составляет 0,06 мм). Такой результат вполне соответствует теоретическим предположениям, так как в этом случае теплоизоляция находится в условиях полного водонасыщения. Приведенные данные по скорости

коррозии в условиях, имитирующих наиболее опасные условия эксплуатации теплопроводов, достаточно велики.

Таблица 1

Коррозионное состояние образцов, изолированных пенобетоном, после трех месяцев испытаний в неке влажностью 8 : 10% при $t = 75^{\circ}\text{C}$

№ Образца	Потери массы, г/д.м ²	Максимальная глубина каверны, мм	№ образца	Потери массы, г/д.м ²	Максимальная глубина каверны, мм
337	1.2443	0.07	373	2.2529	0.20
342	4.1501	0.28	333	1.7124	0.19
379	2.0000	0.23	345	5.1042	0.21
366	2.0027	0.15			

Таблица 2

Коррозионное состояние образцов, изолированных пенобетоном, после трех месяцев испытаний в воде при $t = 75^{\circ}\text{C}$

№ Образца	Потери массы, г/д.м ²	Максимальная глубина каверны, мм
87	0.3249	0.11
162	0.4164	0.02
35	0.5443	0.08
203	0.2867	0.05

В экспериментах с образцами, подвергнутыми анодной поляризации, нас главным образом интересовал вопрос об адгезии пенобетонного покрытия к металлической поверхности.

Известно, что в анодных зонах железобетонных сооружений из плотного бетона наблюдается разрушение бетонного покрытия. Так как плотный бетон очень плохо работает на растяжение, то растягивающие напряжения приводят к возникновению трещин в бетонном покрытии. В пенобетоне, имеющем множество сообщающихся между собой пор, продукты коррозии могут выступать на наружную поверхность образцов. Испытания, проведенные нами на образцах с пенобетонной теплоизоляцией, при плотности тока до 30 мА/дм² показали, что трещин в пенобетонном покрытии не наблюдается, сцепление пенобетона с металлом не ухудшается, продукты коррозии вдавливаются внутрь пенобетона и через отдельные поры выходят на поверхность.

Результаты коррозионных испытаний стали в контакте с битумоперлитом представлены в таблицах 3 - 5. Основной особенностью битумоперлитного покрытия является его неоднородность по объемному весу, что связано как со структурной неоднородностью самого битумоперлита, так и с технологией его нанесения. Это приводит к ярко выраженному локальному характеру коррозии стальных образцов под слоем влажной битумоперлитной изоляции.

Развитие локальных коррозионных повреждений обычно имеет место на участках с меньшим доступом кислорода, играющих роль анодов локальных гальванических элементов. В условиях эксплуатации теплопроводов неравномерная аэрация может усиливаться за счет контакта теплоизоляции с почвами различной структуры, что не могло быть учтено при проведении испытаний.

Второй особенностью битумоперлитного покрытия является наличие битумного праймера. Битум, являющийся сложной коллоидной системой, в зависимости от температуры нагрева резко меняет свои структурно-механические свойства, проходя стадии от твердообразного до жидкообразного состояния с различной степенью структурирования.

Таблица 3

Коррозионное состояние образцов, изолированных битумоперлитом

$\gamma = 100 \text{ кг/м}^3$, после трех месяцев испытаний в песке влажностью 8—10% при $t = 75^\circ\text{C}$

№ Образца	Потери массы, г/д.м ²	Максимальная глубина каверны, мм	№ Образца	Потери массы, г/д.м ²	Максимальная глубина каверны, мм
30	0.0025	0.55	53	0.4000	0.63
13	0.2600	0.17	17	0.4100	0.27
1	0.0362	0.07	12	0.3500	0.36
31	0.1900	0.29	18	0.1466	0.08
4	0.1590	0.22	19	1.2500	0.20
34	0.0626	0.10	3	0.7068	0.15

Таблица 4

Коррозионное состояние образцов, изолированных битумоперлитом

$\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$, после трех месяцев испытаний в песке влажностью 8—10% при $t = 75^\circ\text{C}$

(с предварительным подогревом до 150°C)

№ Образца	Потери массы, г/д.м ²	Максимальная глубина каверны, мм	№ Образца	Потери массы, г/д.м ²	Максимальная глубина каверны, мм
20 ^а	9.4639	0.35	41	0.8324	0.32
83 ^а	7.9316	0.41	109	2.2012	0.22
20	2.0121	0.30	35	0.0012	0.02
32	1.7312	0.13	43	1.5576	0.33

Как следует из реограммы для битума марки БН-IV при температуре 150°C [2] наименьшая вязкость предельно разрушенной структуры $\eta_{\text{л}} = 2.8 \text{ пуаз}$, а наибольшая вязкость практически неразрушенной структуры $\eta_{\text{в}} = 16.8 \text{ пуаз}$. Эти значения предельных вязкостей оказываются достаточно малыми для течения битума под действием градиента температур. Как показали проведенные нами испытания, на праймированных образцах, подвергавшихся предварительному прогреву до темпе-

ратуры 150°С, остаются лишь следы праймера. На образцах, не подвергавшихся предварительному прогреву до 150°С, праймер сохраняется. Пленка праймера, однако, не может служить антикоррозионным покрытием, так как в ней образуются разрывы, видимые в микроскоп. На металлическом образце, покрытом такой пленкой, легко промеряется стационарный потенциал, что однозначно свидетельствует о протекании коррозионного процесса.

Таблица 5

Коррозионное состояние образцов, изолированных битумоперлитом $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$, после трех месяцев испытаний в песке влажностью $8-10\%$ при $t = 75^\circ\text{C}$

2*	0.5988	0.07	147	0.9300	0.48
28*	1.7810	0.41	174	0.3438	0.36
14	0.0810	0.25	95	0.9462	0.76
11/2	0.3440	0.20	135	1.7390	0.51

Наличие праймера на непрогретых образцах оказывается лишь на величине потери массы, но не на глубине коррозионных каверн. Это обстоятельство позволяет проводить усреднение по глубинам коррозионных каверн одновременно как на прогретых образцах, так и на образцах, не подвергавшихся предварительному прогреву до температуры 150°С. Значения среднего по моде максимума глубины каверны на образцах с битумоперлитным покрытием при объемных весах 400 и 600 кг/м^3 почти не отличаются между собой (составляют порядка 0,3 мм), но они выше, чем на образцах с цементным покрытием. На контрольных образцах с битумоперлитным покрытием, находившихся в течение всего срока испытаний в стационарном режиме при температуре 20°С, средний по моде максимум глубины каверны равен 0,13 мм, что вполне соответствует теоретическим предположениям.

Для реальных разностей потенциалов между теплопроводом и землей ($\sim 1,5 : 2 \text{ в}$), принятых при проведении испытаний, вклад анодной поляризации в средний максимум глубины каверны составил 0,15 мм за период испытаний.

На образцах с битумоперлитной теплоизоляцией, содержащей 7% гидроксида натрия, были обнаружены лишь следы коррозии; отсутствие коррозионных поражений связано с высокими значениями pH теплоизоляционного электролита, контактирующего с металлом, что обеспечивает образование на металле пассивирующего слоя. После трехмесячных испытаний величина pH оказалась $10 \pm 10,5$, что указывает на протекание процесса карбонизации и на возможное нарушение пассивного состояния стали. Следует также отметить, что испытания проводились в среде, содержащей по 100 мг/л SO_4 и Cl .

* Образцы, подвергнутые анодной поляризации

При более высокой концентрации хлоридов или сульфатов возможен «пробой» пассивирующего слоя, результатом чего будет питтинговая коррозия металла. Другим фактором, вызывающим «пробой» пассивирующего слоя, может быть анодная поляризация.

В связи с изложенным, коррозионные испытания стали в контакте с битумоперлитом, содержащим компоненты, приводящие к повышенной рН теплоизоляционного электролита, должны быть продолжены.

Выводы

1. Сталь в контакте с пенобетоном и битумоперлитом в условиях переменного температурно-влажностного режима подвергается интенсивной коррозии. За период испытаний средний максимум глубины коррозионных каверн составил:

0,2 мм на образцах, изолированных автоклавным пенобетоном;
0,3 мм на образцах, изолированных битумоперлитом.

2. Сталь в контакте с увлажненным пенобетоном и битумоперлитом в стационарных условиях (при температуре 20°C) также подвергается коррозии: 0,08 и 0,12 мм за период испытаний соответственно для пенобетона и битумоперлита.

3. Битумоперлит, в отличие от пенобетона, обладает существенной структурной неоднородностью, что приводит к ярко выраженному локальному характеру коррозии.

4. Увлажненный пенобетон и битумоперлит являются проводящими средами, и в случае анодной поляризации происходит активное растворение стали. Для реальных разностей потенциалов между теплопроводом и землей, принятых при проведении испытаний, вклад анодной поляризации в средний максимум глубин коррозионных каверн для битумоперлита составил 0,15 мм за период испытаний.

Академия коммунального хозяйства
им. К. Д. Памфилова

Поступило 1.IV.1974.

Վ. Ս. ՊՈԳՈՅԱՆ, Ի. Ս. ԽՈՒՐՈՒ, Է. Ս. ՅԻՆԿԵԼԵՏԵՅԱՆ

ՊՈՂՊԱՏԻ ԿՈՌՈՉԻՐՆ ՓՈՐՉԱՐԿՈՒՄՆԵՐԸ ԱՎՏՈՎԱԿԱՅԻՆ ՓՐՓՐԱՐԵՏՈՆԻ
ԵՎ ՐԵՏՈՒՄԱՊԵՏԻՐԻՏԻ ՀԵՏ ԿՈՆՏԱԿՏՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո մ

Հոդվածում, հիմնվելով խոնավ շերտամեկուսիչ հետ կոնտակտում պողպատի կոռոզիայի արագության վրա փոխադրման պրոցեսների ազդեցության վերլուծության վրա, շարադրված են ավտոկլավային փրփրաբետոնի և բիտումապեղիտի հետ կոնտակտում պողպատի փորձանմուշների կոռոզիան

փորձարկումների մեթոդիկայի հիմնական սկզբունքները: Քերվուս և Նեդի-
նականների կողմից մշակված մեթոդիկայով կատարված փորձարկումների հիմ-
նական արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ромашов В. В. Методы исследований коррозии металлов, М., 1965.
2. Козжуев А. С. Дисперсные битумы. Гостеоиздат, 1951.