Ю.В.Дудников, К.Ш. Ямалетдинова, Й.Д. Тасуева, М.М. Дудаев // Научно-технический журнал «Нефтепромышленное дело», Москва, № 6 (606), ОАО «ВНИИОЭНГ», 2019, ISSN 0207-2351 С. 41-46.

4. Халадов А.Ш. Добыча нефти из высокотемпературных карбонатных пластов месторождений Грозненского нефтяного месторождения / А.Ш.Халадов, Ю.В.Дудников, А.Р. Габдуллин, М.Ф Тухватуллин, М.М. Бакраев, М.М. Дудаев, З.Х. Газабиева, М.С.Халадов, И.И.Алиев // Международная научно-практическая конференция «Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике»: 2-3 апреля 2018 года РИЦ БашГУ, 2018, С.216-218. ISBN 978-5-7477-4662-6.

DOI: 10.34708/GSTOU.CONF..2021.37.75.025

УДК 66.086

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ НА АДГЕЗИЮ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

INFLUENCE OF TEMPERATURE FIELDS ON INSULATION POLYMERIC COATING ADHESION

¹Бондарь К.Е., ²Иванов С.П., ³Лапонов С.В., ⁴Сулейманов Д.Ф., ⁵Шулаев Н.С.

¹Bondar K.E., ²Ivanov S.P., ³Laponov S.V., ⁴Suleymanov D.F., ⁵Shulaev N.S.

¹ Старший преподаватель кафедры «ОНХЗ» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке, Россия

² Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «ОНХЗ» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке, Россия

³ кандидат технических наук, доцент кафедры «ОНХЗ» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке, Россия

⁴ кандидат технических наук, доцент кафедры «ОНХЗ» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке, Россия

⁵ Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «ИМФ» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследования воздействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона на изоляционные полимерные материалы трубопроводов изготовленных на основе поливинилхлорида и прогнозирование влияния излучения на адгезионные свойства. Показано улучшение эксплуатационных характеристик материалов, приводящее к увеличению срока службы и надежности трубопроводных систем. Разработан метод расчета изменения и распределения температур по поверхности изолируемого материала, вызванных микроволновым излучением, необходимый для определены оптимальных режимов обработки полимера.

Abstract. The article provides the results of the research into the high-frequency electromagnetic radiation influence on polyvinyl chloride based polymeric piping coatings as well as forecasting how radiation can affect adhesion. It also exhibits the improvement of materials efficiency leading to longer service and higher reliability of piping systems. A calculation method for temperature changes and distribution across the coated material under the influence of microwave radiation has been developed which is required to establish the most appropriate polymer treatment techniques.

Ключевые слова. Адгезия; изоляция; пленка; поливинилхлорид; температурные поля; электромагнитное излучение сверхвысокочастотного диапазона.

Keywords. Adhesion; insulation; film; polyvinyl chloride; temperature fields; high frequency electromagnetic wave.

Введение

Защита от коррозионного воздействия технологических сред металлических трубопроводов и увеличение их срока службы является актуальной проблемой. Одним из путей решения этой проблемы является создание новых изоляционных материалов или совершенствование уже имеющихся. В последнее время появилось значительное количество публикаций, в которых рассматривается воздействие микроволнового излучения на полимерные материалы, а именно, поливинилхлоридную пленку [1, 2]. В работе рассматривается изменение адгезии, одного из важнейших параметров, обеспечивающих надежную работу системы «изоляция-трубопровод». [3]

Метод проведения исследований и их результаты

Контроль адгезии покрытий проводили по методу А [4]. Метод А применяется для контроля адгезии защитных покрытий из полимерных лент. Определение адгезии проводят в трех точках, отстоящих друг от друга на расстоянии не менее 0,5 м.

Аппаратура: прибор адгезиметр АР-2 состоит корпуса, на котором закреплен зажим для удержания полосы отслаиваемого покрытия и стальной нож из двух параллельно установленных лезвий, расстояние между которыми может изменяться от 10 до 40 мм. Для опоры на трубу и фиксации постоянного угла отслаивания $\approx 180^\circ$ корпус установлен на ролики, одну пару из которых можно перемещать и фиксировать в гнездах в зависимости от диаметра трубы. К корпусу прикреплен динамометр с двумя последовательно расположенными пружинами.

С помощью ножей закрепленных на корпусе прибора, вырезается полоса защитного покрытия шириной от 10 до 40 мм в зависимости от ожидаемой величины адгезии:

- при величине адгезии от 30 до 40 Н/см (от 3 до 4 кгс/см) ширина полосы 10-15 мм;
- при величине адгезии от 1 до 5 Н/см (от 0,1 до 0,5 кгс/см) – 30-40 мм.

Стальным ножом надрезается конец вырезанной полосы, приподнимают его и закрепляют в зажиме прибора.

Прибор устанавливается на трубу с защитным покрытием, добиваясь ее контакта со всеми роликами.

Передвигая прибор по трубе, проводим отслаивание надрезанной полосы на длину 100 мм, измеряя устойчивое усилие отслаивания и визуально определяем характер разрушения (адгезионный, когезионный, смешанный).

Адгезионный характер разрушения - обнажение до металла.

Когезионный характер разрушения - отслаивание по подклеивающему слою или по грунтовке.

Смешанный характер разрушения - совмещение адгезионного и когезионного характера разрушений.

Адгезию защитных покрытий (а), Н/см (кгс/см), определяем по формуле

$$A = \frac{F}{b} \quad (1)$$

где F – усилие отслаивания, Н (кгс);

b – ширина отслаиваемой ленты, см.

За величину адгезии защитного покрытия принимаем среднее арифметическое трех измерений, вычисленное с погрешностью до 1,0 Н/см (0,1 кгс/см).

Испытания проводились для определения адгезии к различным маркам сталей (Ст3, 09Г2С, 12Х18Н10Т) изоляции, которую обрабатывали микроволновым излучением до нанесения или после нанесения на трубопровод (рисунки 1-6).

Из представленных графиков следует, что оптимальными дозами микроволнового излучения для повышения адгезии ПВХ-пленки являются 100-250 кДж/кг, при которых наблюдается увеличение данного параметра до двух раз. Это объясняется как повышением активности поверхности изоляции ввиду конформационных изменений структуры материала при обработке изоляции до нанесения, так и незначительным размягчением материала, без деструктивных изменений, способствующих более плотному прилеганию изоляции к поверхности трубопровода при обработке после нанесения.

Рис. 1. Зависимость адгезии ПВХ – пленки обработанной до нанесения на сталь Ст3 от величины энергии микроволнового излучения

Рис. 2. Зависимость адгезии ПВХ – пленки обработанной после нанесения на сталь Ст3 от величины энергии микроволнового излучения

Рис. 3. Зависимость адгезии ПВХ – пленки обработанной до нанесения на сталь 09Г2С от величины энергии микроволнового излучения

Рис. 4. Зависимость адгезии ПВХ – пленки обработанной после нанесения на сталь 09Г2С от величины энергии микроволнового излучения

Рис. 5. Зависимость адгезии ПВХ – пленки обработанной до нанесения на сталь 12Х18Н10Т от величины энергии микроволнового излучения

Рис. 6. Зависимость адгезии ПВХ – пленки обработанной после нанесения на сталь 12Х18Н10Т от величины энергии микроволнового излучения

При облучении поверхности трубопровода электромагнитным полем СВЧ-диапазона температура материалов возрастает. Для определения изменения температуры в процессе обработки полимера электромагнитным излучением воспользуемся уравнением теплопроводности:

$$C_m \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + I_q \quad (2)$$

где C_m – удельная теплоемкость среды;

ρ – плотность;

λ – коэффициент теплопроводности;

I_q – объемная плотность источников тепла, возникающих при поглощении электромагнитного излучения;

div , grad – дифференциальные операторы.

Объемная плотность источников тепла определяется соотношением:

$$I_q = \frac{P}{V} \quad (3)$$

где P – мощность СВЧ излучения;

V – объем обрабатываемого участка трубопровода.

Учитывая особенность нагрева СВЧ – излучением, при котором достигается однородность распределения температуры

$$\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) \ll I_q \quad (4)$$

Уравнение (2) принимает вид

$$C \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = I_q - \alpha S T \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи трубопровода с окружающей средой отнесенного к единице объема, Вт/м³*(м²*К);

S – площадь поверхности контакта обрабатываемого участка трубопровода с окружающей средой, м².

Решение уравнения (5) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} T(\tau) &= \frac{I_q}{\alpha S} \left(1 - e^{-\frac{\alpha S}{C \rho} \tau} \right); \\ T(\tau) &= T_{\text{с}} - T_c \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $T_{\text{с}}$ – температура обрабатываемого вещества

T_c – температура окружающей среды

Характерное время нагрева можно оценить по формуле

$$\tau_n \approx 5 \frac{C \rho}{\alpha S} \quad (7)$$

По истечении этого интервала времени установится температура, определяемая мощностью электромагнитного излучения

$$T_y = T_c + \frac{P}{\alpha S V} \quad (8)$$

В формулах (7), (8) параметры S и V определяются соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} S &= 2\pi R_4 L \\ V &= [\pi(R_2^2 - R_1^2) + \pi(R_3^2 - R_2^2) + \pi(R_4^2 - R_3^2)]L = \pi L(R_1^2 - R_4^2) \end{aligned} \right\}; \quad (9)$$

где L – длина участка трубопровода, облучаемая электромагнитным полем;

R_1 – радиус от оси трубопровода до его стенки;

R_2 – радиус от оси трубопровода до праймера;

R_3 – радиус от оси трубопровода до изоляционного материала;

R_4 – радиус от оси трубопровода до окружающей среды/

Усредненная плотность $\rho_{\text{ср}}$ вычисляется по формуле

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\text{ср}} &= \frac{m}{V} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \rho_3 V_3}{V}; \\ V_i &= \pi L(R_{i+1}^2 - R_i^2) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где $\rho_{1,2,3}$ – плотность материала трубы, праймера и полимерной пленки соответственно

Усредненная удельная теплоемкость трубопровода с изоляционным покрытием

$$C_{cp} = \frac{C_1 m_1 + C_2 m_2 + C_3 m_3}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \rho_3 V_3}; \quad (11)$$

где $C_{1,2,3}$ – теплоемкость материала трубы, праймера и полимерной пленки соответственно.

При установлении режима обработки трубопроводной системы распределение температуры по слоям: металл – праймер – полимерные покрытия определяется соотношениями:

изменение температуры в полимерном покрытии:

$$T(r) = T_c + \frac{B_1}{\lambda_3} \ln \frac{r}{R_3}; \quad R_3 < r \leq R_4 \quad (12)$$

распределение температуры в слое праймера:

$$T(r) = T_y + \frac{B_1}{\lambda_2} \ln \frac{r}{R_2}; \quad R_2 < r \leq R_3 \quad (13)$$

температура в стенке трубы:

$$T(r) = T_y + \frac{B_1}{\lambda_1} \ln \frac{r}{R_2}; \quad R_1 < r \leq R_2 \quad (14)$$

где B_1 – величина теплового потока, Вт/м;

λ_3 – коэффициент теплопередачи изоляции, Вт/(м*к);

λ_2 – тепловой коэффициент праймера, Вт/(м*к);

λ_1 – тепловой коэффициент металла, Вт/(м*к).

Учитывая, что коэффициент теплопроводности металлов $\lambda_1 \gg \lambda_{2,3}$ следовательно, выполняется неравенство:

$$\frac{B_1}{\lambda_1} \ln \frac{r}{R_2} = \frac{(T_y - T_c) \lambda_3 \lambda_2}{\left(\lambda_3 \ln \frac{R_2}{R_3} + \lambda_2 \ln \frac{R_3}{R_4} \right) \lambda_1} \ln \frac{r}{R_2} \ll T_4 \quad (15)$$

С учетом последнего соотношения получим, что температура стенки трубы определится соотношением:

$$T(r) \approx T_y = T_c + \frac{P}{\alpha S V} \quad (16)$$

Профиль распределения температур имеет вид (рисунок 7)

Рис. 7. Профиль распределения температур по слоям материалов

Так, для поливинилхлоридной пленки толщиной 0,6 мм, праймера толщиной 0,1 мм и металла толщиной 4 мм, при этом длина листов составляла 110 мм, а ширина 100 мм, были получены следующие значения установившейся температуры при температуре окружающей среды равной 22 °С, представленные в таблице. Эти температуры незначительно отличаются от ранее полученных экспериментальных данных изменения температуры материала под воздействие микроволнового излучения.

Таблица

Расчетная температура и экспериментальная температура поливинилхлоридной пленки после воздействия микроволнового излучения

Доза излученной энергии, кДж/кг	Расчетная температура	Экспериментальная температура
Эталонный образец	22	22
102	30,5	34,7
205	39	39,4
258	43,1	40,1
309	47,6	50,7

Выводы

Как видно из результатов проведенных исследований воздействия электромагнитного излучения на полимерные покрытия при определенной энергетической дозе существенно улучшаются эксплуатационные свойства изоляционных материалов, что способствует повышению надежности трубопроводных систем. [5]

Список использованной литературы

1. M.V. Hosur, A. Menon, M. K. John, V.K. Rangari, S. Jeelani. Microwave curing and characterization of nanoclay reinforced epoxy // International SAMPE symposium and exhibition. – 2005. Vol.50. – p.1659-1669.
2. Dariusz Bogdal, Aleksander Prociak. Microwave synthesis of polymeric materials. Scale up and commercial aspects// Chemistry Today. – Vol. 25, №3. – 2007. – p.30-33
3. Suleimanov, D.F., Shulayev, N.S., Bondar, K.E., Laponov, S.V., Uzinger, A.A. Technology and equipment to improve reliability of pipeline transport // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 87(6). – 2017. - 062013
4. ГОСТ 9.602-2016 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии
5. Bondar, K.E., Suleymanov, D.F., Laponov, S.V. The Change of Operational Properties of Polyvinylchloride Film on Exposure to Microwave Radiation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 272(2). – 2019. – 022086