

Модуль упругости – важный параметр экструдированного защитного покрытия

Л.Н. Шкаранута, Л.Л. Митрохина, И.П. Морозова, О.В. Алимова

Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины,
Украина, 02094 Киев, ул. Мурманская, 1; факс: (044) 573–25–52

Экспериментально определен модуль Юнга нового покрытия, наносимого на “холодную” трубу, рассчитаны контактные давления, развиваемые при его нанесении. Показано, что увеличение модуля упругости до $3,8 \cdot 10^2$ МПа способствует реализации высоких эксплуатационных характеристик антикоррозионного покрытия.

В ряду современных экструдированных покрытий для защиты нефте- и газопроводов от коррозии особое место занимают многослойные покрытия, наносимые методом кольцевой экструзии [1]. Как правило, расплавы полимеров наносят на разогретую до 453–513 К трубу, которую затем охлаждают водой до 313–323 К, после чего заизолированная труба медленно охлаждается до температуры окружающей среды [2]. Особенно ответственным является охлаждение ниже 333–343 К, так как при этом значительная часть полиэтилена (основного компонента покрытия) уже находится в кристаллизованном состоянии и в силу существенного различия в коэффициентах термического расширения покрытия (β_n) и стали формируются внутренние сжимающие напряжения ($\sigma_{вн}$) как результат искусственного сдерживания усадки. В случае превышения $\sigma_{вн}$ прочности покрытия на разрыв (σ_p) происходит его разрушение. Легко показать, что необходимое условие прочности покрытия может быть представлено неравенством

$$\sigma_p > E_n \beta_n \Delta T / (1 - \mu_n),$$

где E_n – модуль Юнга (упругости) покрытия; β_n – коэффициент термического расширения покрытия; ΔT – интервал температур; μ_n – коэффициент Пуассона.

Исходя из значений $\sigma_p = 14,28$ МПа; $\mu_n = 0,38$; $\beta_n = 2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ [3] и принимая $\Delta T \sim 50$ К, (охлаждение на критическом участке от 333–343 К до 283–293 К), можно получить оценку верхней границы модуля упругости материала покрытия

$$E_{кр} < 8,8 \cdot 10^2 \text{ МПа}. \quad (1)$$

Совершенно очевидно, что модуль упругости материала должен иметь и ограничение снизу, продиктованное требованиями жесткости (стойкостью покрытия к гофрообразованию), определяемой как произведение модуля упругости материала на момент инерции поперечного сечения конструкции [4]. В работе [5] показано, что экструдированные полиэтиленовые покрытия за счет величины модуля упругости материала ($E = 100\div 200$ МПа) и более рациональной геометрии превосходят по удельной жесткости ленточные и битумные покрытия в 100–200 раз. Это практически ис-

ключает возможность гофрообразования на покрытии при любых подвижках трубопровода, делает оправданным снижение требований к адгезионной прочности покрытия для экструдированных покрытий.

О важности ограничения E_n снизу свидетельствует и возможность увеличения (в процессе нанесения) давления полимерного покрытия на поверхность трубы за счет роста модуля упругости. Оценить величину возникающего контактного давления покрытия на трубу (p) можно, исходя из рассмотрения усадки нагретого до определенной температуры фрагмента покрытия, имеющего при комнатной температуре внутренний диаметр D_2 меньший, чем наружный диаметр изолируемой трубы D_1 .

Предположим, что фрагмент покрытия длиной $L = 1$ м имеет толщину δ , площадь поперечного сечения S , а разность исходных диаметров $D_1 - D_2 = \frac{D_1}{n}$.

На элемент площади dS будет действовать давление p , иначе сила $f = p dS$ (рис. 1). Проекция этой силы на ось Y будет $f \sin \alpha = p dS \sin \alpha$. Из рис. 1 следует, что элементарная площадь $dS = L \frac{D_1}{2} d\alpha = \frac{D_1}{2} d\alpha$. Фрагмент

покрытия будет находиться в равновесии, если проекции всех сил на ось Y равны нулю:

$$2N - \frac{p D_1}{2} \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = 0.$$

Откуда $p = \frac{2N}{D_1}$. (2)

Имеет место статически неопределимая задача. Рассмотрим совместность деформаций. Пренебрегая деформацией трубы ($D_1 = \text{const}$), получаем, что уравнение разности диаметров происходит за счет растяжения (удлинения) слоя покрытия. Если исходное различие в диаметрах $D_1 - D_2$ составляет D_1/n , то относительное удлинение слоя покрытия ϵ_n будет $1/n$. Относительное удлинение от усилия N будет

$$\epsilon_N = \frac{N}{EF} = \epsilon_n.$$

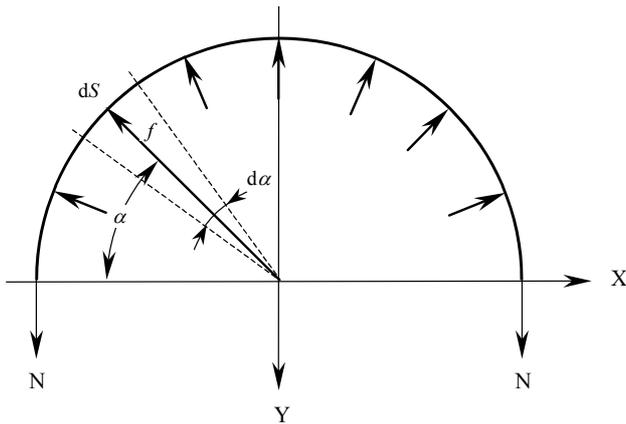


Рис. 1. Расчетная схема

Иначе

$$\frac{N}{EF} = \frac{1}{n}. \quad (3)$$

Рассматривая совместно уравнения (2) и (3), получили

$$p = \frac{2EF}{nD_1} = \frac{2EF}{D_1} \left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right). \quad (4)$$

Таким образом, чем больше модуль упругости материала, тем благоприятнее условия для формирования высокой адгезионной прочности покрытия.

В Институте биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины разработано антикоррозионное покрытие с повышенным модулем упругости, $E_n = 381,3 \pm 48,7$ МПа (таблица). Покрытие наносят методом кольцевой соэкструзии при температуре расплава полимеров 443–463 К на “холодную” (до 278 К) трубу (рис. 2). Используя известное соотношение $\beta = (\partial D / \partial T)_p$ [3], нашли, что

$$\frac{D_2}{D_1} = \exp(\beta \Delta T).$$

Результаты проведения измерений модуля упругости при растяжении образцов изоляционного экструдированного покрытия

| Номер образца | Сила, H | Ширина образца, $h \cdot 10^2$, м | Толщина образца, $\delta \cdot 10^2$, м | Площадь сечения, $S \cdot 10^4$, м ² | Напряжение, $\sigma \cdot 10^4$, Па | Модуль упругости, E , МПа |
|---------------|-----------|------------------------------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 51,01 | 2,10 | 0,33 | 0,69 | 73,58 | 367,9 |
| 2 | 51,99 | 2,10 | 0,33 | 0,69 | 74,95 | 374,8 |
| 3 | 51,99 | 2,25 | 0,28 | 0,63 | 82,50 | 412,5 |
| 4 | 54,94 | 2,25 | 0,28 | 0,63 | 86,33 | 431,6 |
| 5 | 51,99 | 2,20 | 0,25 | 0,55 | 94,18 | 470,9 |
| 6 | 49,05 | 2,20 | 0,25 | 0,55 | 89,27 | 446,4 |
| 7 | 51,99 | 2,20 | 0,39 | 0,86 | 60,82 | 304,1 |
| 8 | 55,92 | 2,20 | 0,39 | 0,86 | 65,24 | 326,2 |
| 9 | 51,01 | 2,20 | 0,39 | 0,86 | 59,45 | 297,2 |

Примечание. Исходная длина $L_0 = 25,0 \cdot 10^{-2}$ м; конечная длина $L = 25,05 \cdot 10^{-2}$ м; удлинение $\Delta L = 0,05 \cdot 10^{-2}$ м; относительное удлинение $\varepsilon = 0,002$.



Рис. 2. Нанесение покрытия

Усадка $\left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right) = 1 - \exp(\beta \Delta T)$ была рассчитана

для условий охлаждения от 463 К до $278 \div 303$ К, при $\beta = (1,7 \div 2,0) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, она составила 0,03.

Это позволило по формуле (4) оценить величину контактного давления, развиваемого при нанесении покрытия толщиной $\delta = 0,003$ м на трубу диаметром 0,219 м, $p = 0,313$ МПа.

Оценку величины контактного давления выполнили также, используя соотношение, полученное из анализа напряжений, возникающих при деформации двух полых цилиндров в ходе формирования тугий посадки [6]. С учетом существенного различия в модулях упругости стали ($2 \cdot 10^5$ МПа) и покрытия ($3,81 \cdot 10^2$ МПа) получили

$$p = \left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right) E_n \left/ \left(\frac{(D_1 + 2\Delta)^2 + D_1^2}{(D_1 + 2\Delta)^2 - D_1^2} + \mu \right) \right. \quad (5)$$

Расчет по формуле (5) дал величину $p = 0,306$ МПа. Близость значений, полученных в рамках различных подходов, свидетельствует о состоятельности оценки величины контактного давления на границе раздела сталь–покрытие. Отметим, величина контактного давления падает с увеличением диаметра изолируемой трубы (рис. 3). При больших диаметрах оправдан механический прижим покрытия к трубе.

Опыт нанесения разработанного покрытия при отрицательных температурах окружающей среды, длительном хранении заизолированной трубы при температуре, достигающей $243 \div 248$ К, показал стабильность его характеристик, что хорошо согласуется с условием (1): модуль упругости материала предложенного покрытия существенно ниже критического значения $E_{кр}$. В то же время использование разработанного материала позволяет увеличить удельную жесткость по сравнению даже с трехслойным экструдированным покрытием на основе полиэтилена высокой плотности [5] в 1,9 раза.

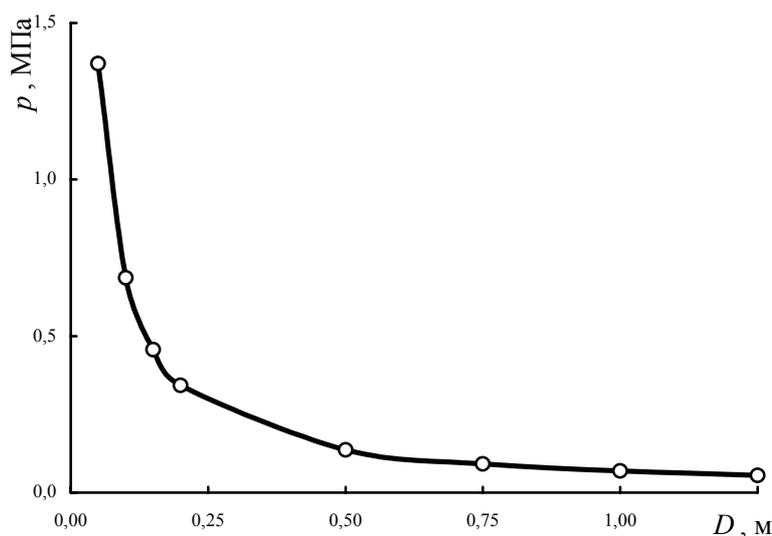


Рис. 3. Зависимость контактного давления (p) от диаметра трубы (D)

Проведенные исследования свидетельствуют, что использование предложенного покрытия открывает возможность реализации энергосберегающего процесса изоляции стальных труб покрытием, обеспечиваю-

щим благоприятные условия для надежного адгезионного сцепления, обладающим высокой стойкостью к гофрообразованию

1. *Изоляционные материалы и покрытия для нефтепроводов и резервуаров*, Москва, ТОО "Журнал ЛКМ", 1998.
2. Петрусенко Е.В., *Территория Нефтегаз*, 2004, (1/2), (www.neftegas.info).
3. *Энциклопедия полимеров*, в 3-х томах, Москва, Сов. энциклоп., 1972–1977.
4. Писаренко Г.С., *Сопротивление материалов*, Киев, Выща шк., 1974.
5. Петрусенко Е.В., *Территория Нефтегаз*, 2004, (4), (www.neftegas.info).
6. Глушков Г.С., Синдеев В.А., *Курс сопротивления материалов*, Москва, Высш. шк., 1965.

Поступила в редакцию 01.03.2006 г.

Модуль пружності – важливий параметр захисного покриття, що екструдується

Л.М. Шкаранута, Л.Л. Митрохіна, І.П. Морозова, О.В. Алімова

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
Україна, 02094 Київ, вул. Мурманська, 1; факс: (044) 573-25-52

Експериментально визначено модуль Юнга нового покриття, що наноситься на "холодну" трубу, розраховано контактні тиски, що створюються при його нанесенні. Показано, що збільшення модуля пружності до $3,8 \cdot 10^2$ МПа сприяє реалізації високих експлуатаційних характеристик антикорозійного покриття.

Modulus of elasticity as an important parameter of an extruded protective coating

L.N. Shkaraputa, L.L. Mitrokhina, I.P. Morozova, O.V. Alimova

Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of NAS of Ukraine,
1, Murmanskaya Str., Kyiv, 02094, Ukraine, Fax: (044) 573-25-52

Young's modulus for a new coating onto a "cold" pipe was determined experimentally, contact pressures of coating were calculated. It was revealed that an increase in the elasticity modulus up to $3,8 \cdot 10^2$ MPa promotes implementation of high operating characteristics of an anticorrosive coat.

**Орган по сертификации продукции
Института биоорганической химии и нефтехимии
Национальной академии наук Украины**

Свидетельство № UA.PN.109 от 10.09.2005 г.

Орган по сертификации продукции Института биоорганической химии и нефтехимии (ИБОНХ) НАН Украины работает на рынке сертификационных услуг в Системе УкрСЕПРО 10 лет. Орган проводит сертификацию:

- нефтепродуктов (моторных, трансмиссионных и других масел, пластичных смазок, автомобильных бензинов, дизельного топлива, смазочно-охлаждающих жидкостей, битумов и т.п.);
- химических продуктов технического назначения (автохимии);
- лакокрасочных материалов и растворителей к ним;
- моющих средств и т.п.

Орган по сертификации располагает собственными испытательными лабораториями на базе ИБОНХ НАН Украины, оснащенными современным оборудованием. В органе работают ведущие специалисты в области нефтепереработки и нефтехимии, а также аудиторы Системы УкрСЕПРО и Европейской организации качества ЕОК.

Все перечисленное выше, а также широкая область аккредитации Органа позволяют его руководству проводить гибкую ценовую политику при работе с заказчиками. В области сертификации с нами сотрудничают фирмы из многих регионов Украины, а также целый ряд зарубежных компаний-производителей из Германии, Италии, Франции и других стран.

На сертификацию могут быть заявлены как отдельные партии продукции, так и продукция, выпускаемая серийно.

Приглашаем к взаимовыгодному сотрудничеству! Выполнение сертификационных работ в сжатые сроки и в полном соответствии с требованиями Системы УкрСЕПРО, конфиденциальность гарантируется!

Наш адрес: 02160 Киев, Харьковское шоссе, 50, ком. 138.

Тел/факс: (044) 552-70-59 E-mail: sepronft@mail.ru