

Термостойкость силикатного покрытия трубы

Механика и машиностроение

Ибрагимов Н.Ю.

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

E-mail: nazim. ibragimov.2015@ mail. ru

Исследована термостойкость силикатных покрытий труб в условиях высокоминерализованных сред при повышении температуры, давления и скорости потока среды. Установлено, что на термостойкость покрытий труб влияют изменение толщины стенки покрытия и резкое увеличение остаточных температурных напряжений. Коэффициент линейного расширения покрытия значительно влияет на термическую стойкость силикатного покрытия трубы.

Ключевые слова: силикатные трубы, перепад температуры, шероховатость, температурные напряжения, зазор между металлом и покрытием.

Введение

Обследование, проведенное в технологических цехах нефтехимического завода, показали, что трубы различных диаметров, изготовленные из стали всех марок, разрушаются под действием коррозионно-механического износа.

Наиболее интенсивно эти процессы протекают на внутренней поверхности труб в результате контакта металлической поверхности с минерализованными средами в широком диапазоне значений температуры (300-500⁰ С) и давления (30-50 МПа) [1, 2].

В настоящее время, в нефтехимических и теплоэнергетических установках для защиты труб от коррозии и механического повреждения в высокоминерализованной среде применяются силикатные покрытия (керамика, эмаль, стекло и т.д.)

Эти трубы работают в условиях высоких температур, давлений и скоростей потока агрессивных сред [2].

Известно, что стеклоэмалевые покрытия термодинамически неустойчивы к воздействию минерализованной среды и высоких перепад температур. Однако силикатные покрытия на стальных трубах помимо устойчивости к агрессивным реагентам должны обладать высокой термической стойкостью.

Эти свойства зависят в основном от состава покрытия, физико-механического свойства и напряженного состояния покрытия трубы и т.д.

В период эксплуатации силикатных труб происходят резкие перепады температур, которые могут вызвать в покрытиях упругие напряжения, превышающие предел прочности покрытия, и привести к разрушению покрытия слоев трубы.

Постановка задачи

При повышении температуры среды, деформации покрытия и металла трубы определяются их коэффициентами линейного расширения. В этом случае равновесие двухслойных систем трубы наступает после того, как в покрытии и в металле создаются термоупругие напряжения разного знака [3, 4].

Поэтому величина термостойкости покрытия должна отличаться от термостойкости материала покрытия в свободном состоянии. В большинстве случаев вследствие недостаточной термостойкости разрушение покрытия трубы наступает раньше, чем разрушение в результате химического воздействия, изнашивания и других факторов.

Решение задачи

В результате анализа методов расчета термостойкости органического и неорганического, а также металлического покрытия труб, приведенных в работах [3, 4, 5], установлено, что полученные формулы не могут непосредственно использоваться для термостойкости силикатных труб. Это объясняется тем, что существующие формулы не учитывают термо-упругие остаточные напряжения при нанесении покрытий труб [5].

Чтобы учесть эти явления и влияние существующих факторов на термостойкость, воспользуемся условием совместности деформации покрытия и металлической части трубы (рисунок).

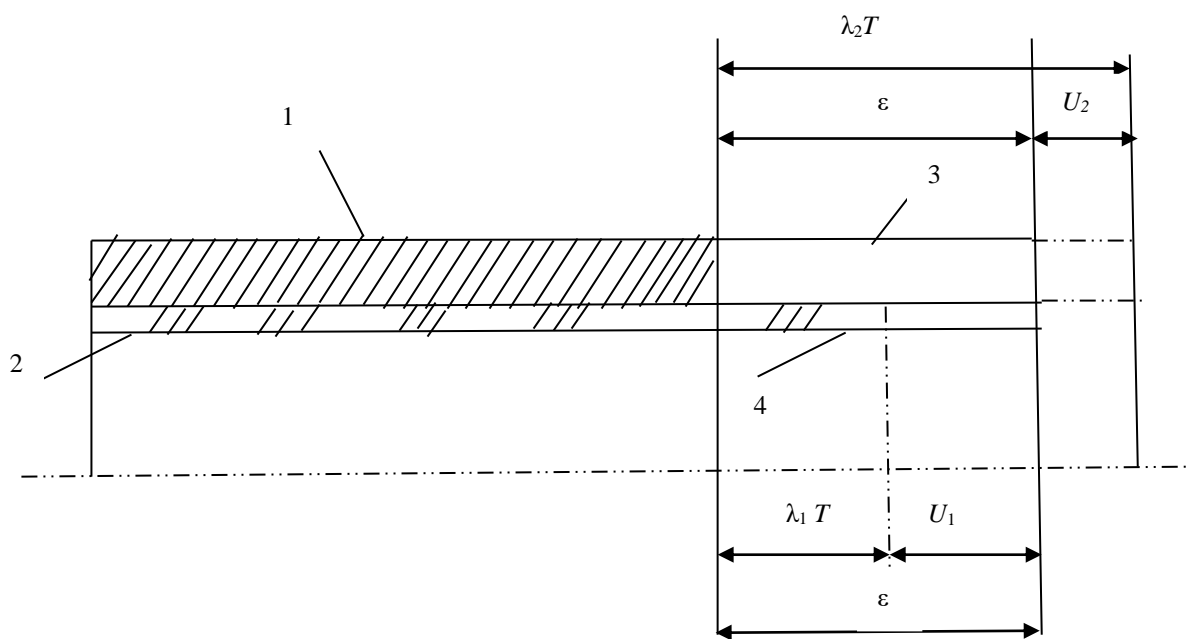


Рисунок. Совместная термическая деформация покрытия и трубы
1 – стальная труба; 2 – силикатно-эмалевое покрытие; 3 – деформация металлической трубы; 4 – деформация силикатно-эмалевого покрытия

Условие совместности продольной деформации представлено в следующем виде:

$$\varepsilon = \alpha_1 T + U_1 = \alpha_2 T - U_2, \quad (1)$$

где α_1 , α_2 – коэффициенты линейных расширений покрытия и металла трубы; T – температура нагрева силикатного покрытия трубы; U_1 , U_2 – относительные удлинения покрытия и металла трубы, определяются по закону Гука:

$$U_1 = \frac{\sigma_1}{E_1} (1 - \mu_1); \quad U_2 = \frac{\sigma_2}{E_2} (1 - \mu_2), \quad (2)$$

Здесь σ_1 , σ_2 – нормальные растягивающие (сжимающие) напряжения металла и покрытия трубы; E_1 , E_2 , μ_1 , μ_2 – модули упругости и коэффициенты Пуассона покрытия и металла трубы.

С другой стороны, из условия равновесия усилия покрытия и металла трубы, при растяжении (сжатии) силикатного покрытия трубы имеем

$$\sigma_1 F_1 + \sigma_2 F_2 = 0, \quad (3)$$

где F_1 , F_2 – площади поперечного сечения покрытия и металла трубы.

$$F_1 = \pi(R_2^2 - R_1^2); \quad F_2 = \pi(R_3^2 - R_2^2). \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) и (3) с учетом выражения (2) имеем:

$$\sigma_1 = E_{np_1} (\alpha_2 - \alpha_1) T; \quad \sigma_2 = E_{np_2} (\alpha_2 - \alpha_1). \quad (5)$$

Здесь E_{np_1} , E_{np_2} – приведенные модули упругости покрытия и металла трубы имеют вид:

$$E_{np_1} = \frac{E_1}{\frac{1-\mu_1}{E_1} F_1 + \frac{1-\mu_2}{E_2} F_2}; \quad E_{np_2} = \frac{E_2}{\frac{1-\mu_1}{E_1} F_2 + \frac{1-\mu_2}{E_2} F_1} \quad (6)$$

Условие разрушения покрытия при повышении температуры имеет:

$$\sigma_1 \leq \sigma_b - \sigma_0 \quad (7)$$

σ_0 – остаточное напряжение при сжатии покрытия [3]; σ_b – предел прочности при растяжении покрытия трубы [2].

Учитывая формулы (5) и (7), можно определить перепад температуры, при котором должны разрушаться покрытия, т.е. термостойкость силикатного покрытия трубы вдоль центральной оси имеет вид:

$$T - T_0 = \Delta T = \frac{\sigma_b - \sigma_0}{E_{np_1} (\alpha_2 - \alpha_1)}, \quad (8)$$

где T_0 – температура окружающей среды.

Аналогично, можно определить термостойкость покрытия по радиальному направлению, дополнительно определить площади поперечных сечений покрытия и металла трубы в следующем виде:

$$F_1 = 2\pi R_1 l, \quad F_2 = 2\pi R_2 l \quad (9)$$

l – длина участка трубы.

Для иллюстрации полученных формул (6) и (8) проведены расчеты при следующих данных [4]:

$$\mu_1 = 0,280, \quad E_1 = 0.75 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad \lambda_1 = 8.13 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$$

$$\mu_2 = 0,207, \quad E_2 = 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad \lambda_2 = 13.6 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$$

В таблице приведены расчеты термостойкости по осевому направлению покрытия трубы.

Таблица. Результаты расчета термостойкости покрытий трубы

Радиусы двухслойной трубы, мм			Остаточные напряжения G_0 , МПа	Предел прочности G_0 , МПа	ΔT , °C
R_1	R_2	R_3			
19	20	25	38.5	74.5	442
31	32	38	32.3	62.4	383
48	50	57	28.1	59.3	345
58	60	39	24.8	54.9	232
67	70	75	22.3	52.2	210
77	80	89	21.4	50.1	

Заключение

Результаты исследования термостойкости силикатных покрытий труб показали, что уменьшение толщины стенки покрытия в пределах 1.5-0,5 мм повышает термостойкость покрытия от 210°С примерно до 450°С. Анализ полученных результатов показывает, что на термостойкость покрытия значительно влияет коэффициент линейного расширения покрытия трубы.

Литература

1. Ибрагимов Н.Ю., Горюнов В.С., Зотов А.Г. Применение остеклованных труб в теплообменных аппаратах. // Химическое и нефтяное машиностроение. – М., 1981, №6. – С.21-23.
2. Петцольд А.М., Пешман Г.Н. Эмаль и эмалирование. – М.: Металлургия, 1990. – С.446.
3. Ибрагимов Н.Ю. Влияние шероховатости на перепад температуры в эмалированных покрытиях труб. // Промышленная энергетика. – М.: НТФ, 2013, №4. – С.33-35.
4. Ибрагимов Н.Ю., Мамедов О.М. Повышение прочности составных полых цилиндрических деталей. – М.: Тяжелое машиностроение, 2002, №6. – С.29-31.

Xülasə

İbrahimov N.Y.

Borunun silikat örtüyünün istiliyə davamlığı

Yüksək temperatur və təzyiç altında sürətli hərəkət edən yüksək minerallaşmış mühitdə borunun silikat örtüklərinin istiliyə davamlığı tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, boru örtüyünün istiliyə davamlığına örtük divarının qalınlığının dəyişməsi və qalıq temperatur gərginliklərinin kəskin sürətdə artması təsir göstərir. Örtüyün xətti genişlənmə əmsalının boru örtüyünün istiliyə davamlığına təsir göstərməsi aşkar edilmişdir.

Açar sözlər: silikat borular, temperatur düşküsi, kələ-kötürlük, temperatur gərginliyi, örtük ilə metal arasında ara boşluğu.

Summary

Ibrahimov N.Y.

Heat resistance of silicate coating of pipes

Heat resistance of silicate coating of pipes in the conditions of high-mineralized environment at increase of temperature, pressure and medium flow rate has been researched. It's established that, the change of coating wall thickness and sharp increase of residual temperature stresses affect on heat resistance of tube coating. The coefficient of linear expansion of the coating significantly influences on thermal stability of the silicate coating of pipe.

Key words: silicate pipe, temperature gradient, roughness, heat stress, spacing between the metal and coating.