

Влияние шероховатости поверхности на перепад температуры в стеклоэмалированных покрытиях труб

Ибрагимов Н. Ю., доктор техн. наук

Азербайджанская государственная нефтяная академия, Баку

Изучено влияние шероховатости поверхности и зазора между металлом и покрытием труб на уменьшение температуры нагрева стеклоэмалированных покрытий. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований при использовании морской воды.

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

Стеклоэмалированные трубы предназначены для эксплуатации в энергетических установках и теплообменных аппаратах при использовании высокоминерализованной воды с целью защиты от коррозии и накипеобразования. В процессе эксплуатации стеклоэмалированные трубы подвергаются резким перепадам температуры, которые могут привести к разрушениям этих покрытий. Основными параметрами, определяющими возможность получения качественного защитного покрытия, являются шероховатость поверхности, резкие изменения температуры и зазора между металлом и покрытием трубы.

Для учета влияния этих факторов на надежность теплоэнергетических установок и аппаратов воспользуемся условием совместности тепловых процессов в системе металл — покрытие труб. Для стеклоэмалированных покрытий связь между перепадами температуры поверхностных слоев и шероховатостью характеризуется соотношением [1, 2]

$$\Delta T = \Delta T_1 - \Delta T_2 = \frac{\lambda_{\text{пр}}}{(\beta_2 - \beta_1) E_{\text{пр}}} \sigma_{\text{ш}}, \quad (1)$$

где ΔT_1 и ΔT_2 — перепад температуры внутренней поверхности металлической трубы и наружной поверхности стеклоэмалированных покрытий; $\lambda_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент теплопроводности стеклоэмалированных покрытий труб; $\sigma_{\text{ш}}$ — радиальные температурные напряжения, возникающие на поверхностях контакта металла и покрытия трубы; $E_{\text{пр}}$ — приведенный модуль упругости стеклоэмалированных труб; β_1, β_2 — коэффициенты тепловых расширений металла и покрытия трубы.

Значение $\lambda_{\text{пр}}$ вычисляется из выражения

$$\lambda_{\text{пр}} = \frac{\frac{\delta_1}{\lambda_1}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

где λ_1 и λ_2 — коэффициенты теплопроводности стенки металла и покрытия трубы; δ_1 и δ_2 — толщины стенки металла и слоя покрытий; α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи слоев поверхностей металла и слоя покрытия.

Приведенный модуль упругости $E_{\text{пр}}$ определяется из выражения

$$\frac{1}{E_{\text{пр}}} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} = \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2}, \quad (3)$$

где E_1 и E_2 — модули упругости металла и покрытий труб.

Значения радиальных температурных напряжений $\sigma_{\text{ш}}$ рассчитываются по формуле [3]

$$\sigma_{\text{ш}} = \left(1 - \frac{K \delta_2}{\delta_2 + R_a} \right) \sigma_r, \quad (4)$$

где R_a — высота выступов шероховатой поверхности покрытий; K — коэффициент, учитывающий изменения высоты выступов; σ_r — радиальные температурные напряжения гладкой поверхности.

При $R_a = 0,01 \div 0,15$ мм коэффициент K изменяется в пределах 0,75 — 1,0. При $K < 1$ величина $(\delta_2 + R_a) > \delta_2$ и дробь $\delta_2 / (\delta_2 + R_a)$ всегда меньше единицы.

В формуле (4) величина σ_r определяется из выражения [2, 3]

$$\sigma_r = \frac{(P_T - P_H) d_2}{d_2^2 - d_1^2} \left(1 + \frac{d_2^2}{\delta_2^2} \right),$$

Толщина покрытия δ , мм	Шероховатость R_a , мкм	Внешнее давление, МПа		Температурное напряжение		ΔT_1 (теоретическое значение), °С	ΔT_2 (экспериментальные данные), °С
		P_T	P_{II}	σ_r , МПа	$\sigma_{ш}$, МПа		
0,22	45	50	12	16	7,2	42	40
0,28	64	70	14	19	9,5	56	53
0,32	82	80	18	24	12,3	64	62
0,41	125	100	28	31	15,1	72	69
0,54	142	120	34	38	18,2	85	81

где P_T и P_{II} — взаимные давления материала и покрытия трубы, вызванные тепловым расширением двухслойной системы; d_1 и d_2 — соответствующие внутренние и наружные диаметры металла и покрытия трубы.

На основе теоретических расчетов проведено экспериментальное исследование перепада температуры шероховатой поверхности стеклоэмалированных покрытий труб. Выбраны теплообменные трубы диаметрами $25 \times 2,5$, $32 \times 4,0$, $57 \times 3,5$ мм и покрытия марок ЭП-1, ЭП-2, ЭП-3 с толщиной $\delta_2 = 0,15 \div 0,50$ мм.

Для проведения эксперимента внутри стеклоэмалированных труб предусмотрены электрические нагреватели. Уменьшение потерь теплоты через торцевые поверхности достигается за счет применения фторопластовых уплотнений. Средние температуры наружной, граничной и внутренней поверхностей измеряли термопарами ХА из проволоки диаметром $0,25 - 0,30$ мм. Количество теплоты, выделяемое при нагреве трубы с покрытиями, передается через стенку теплопроводностью и определяется по показаниям вольтметра и амперметра. По результатам этих показаний и измерений вычислены значения температур шероховатой поверхности труб и покрытия по известному уравнению теплопроводности при стационарном режиме полых цилиндров [3, 4].

В таблице представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Они показывают, как перепад температуры изменяется с увеличением шероховатости поверхности и зазора между металлом и стеклоэмалированным покрытием труб.

Выводы

1. Теоретические и экспериментальные исследования перепада температуры в стеклоэмалированных трубах в зависимости от шероховатости поверхности и взаимных внешних давлений металла и покрытия трубы показали, что с увеличением шероховатости и зазора между металлом и покрытием трубы перепад температуры увеличивается почти в 1,5 раза.

2. Перепад температуры в стеклоэмалированных трубах резко снижается с уменьшением толщины покрытия.

Список литературы

1. **Ибрагимов Н. Ю.** Определение оптимального зазора между покрытием и металлической поверхностью трубы. — Тяжелое машиностроение, 2002, № 6.
2. **Петцолд А. М., Пешман Г. Н.** Эмаль и эмалирование. — М.: Металлургия, 1990.
3. **Пермяков В. А., Пермяков К. В.** Отечественные трубчатые подогреватели нового поколения. — Промышленная энергетика, 2004, № 11.
4. **Ибрагимов Н. Ю.** Влияние коэффициента теплопроводности эмалированных покрытий на термическую стойкость теплообменных труб. — М.: НТФ “Энергомашиностроение”, 2010, № 4.

rst134@mail.ru