

ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТЕРМОМІЦНІСТЬ КУСКОВО-ОДНОРІДНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Розроблена математична модель визначення та дослідження напружено-деформованого стану кусково-однорідного циліндра, обумовленого його нагрівом. Результати досліджень зображені графічно

Ключові слова: фізико-механічні параметри, кусково-однорідні конструкції, термоміцність.

Під час пожежі конструкції будівель і споруд часто нагріваються до значних температур, величина яких іноді сягає $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ і більше. При нагріві конструкції деформуються. Поява температурних деформацій при обмеженні переміщення конструкції обумовлює появу температурних напружень. Температурні деформації складаються з двох складових: вільної температурної деформації, яка пропорційна зміні температури, і, так званої пружної деформації, яка виникає внаслідок дії температурних напружень.

Величина деформацій залежить від температурного коефіцієнта лінійного розширення α_t , який рівний вільній відносній деформації матеріалу при рівномірній зміні його температури на один градус.

Температурні напруження часто є причиною руйнування конструкцій при пожежі. Особливо небезпечними з точки зору термоміцності, є конструкції, що складаються з декількох різних матеріалів. Такі конструкції називають кусково-однорідними. Вони широко використовуються в будівельній, енергетичній, хімічній, нафтовій, машинобудівній та інших галузях промисловості.

При проектуванні та виготовленні кусково-однорідних конструкцій основною умовою є узгодженість величин температурних коефіцієнтів лінійного розширення (ТКЛР) α_t , матеріалів що з'єднуються. В даний час існує вимога, щоб різниця коефіцієнтів α_t не перевищувала величини $2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$ [1-2]. Однак, в кусково-однорідних конструкціях температурні напруження та деформації залежать не тільки від α_t матеріалів з яких вони виготовлені, але і від механічних параметрів (модуля пружності E та коефіцієнта Пуассона μ).

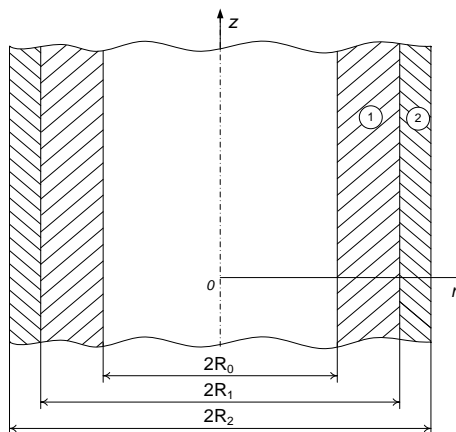


Рис. 1. Осьовий переріз двошарового вала з отвором

З метою дослідження впливу цих параметрів на напружено-деформований стан кусково-однорідних конструкцій, розглянемо двошаровий пустотілий циліндр, температура якого є функцією радіуса, тобто $t = t(r)$.

Радіальне переміщення U елементів вала можна знайти, розв'язавши диференціальне рівняння [3]:

$$\frac{d^2 U_i}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU_i}{dr} - \frac{U_i}{r^2} = \frac{1 + \mu_i}{1 - \mu_i} \cdot \alpha_t^{(i)} \cdot \frac{dt}{dr}, \quad (1)$$

де U_i - переміщення i -го шару, $i = 1, 2$ - кількість шарів. Величини, які відносяться до внутрішнього шару будемо позначати індексом «1». Індексом «2» позначимо величини, які відносяться до зовнішнього шару. Проінтегрувавши рівняння (1), одержимо:

$$U_i = A_i \cdot r + \frac{B_i}{r} + \frac{1 + \mu_i}{1 - \mu_i} \cdot \alpha_t^{(i)} \cdot \frac{1}{r} \cdot \int_{R_i}^r t \cdot r dr, \quad (2)$$

де A_i, B_i - сталі інтегрування ($i = 1, 2$), які знаходимо із граничних умов.

Напруження, що діють в радіальному (σ_r), кільцевому (σ_φ) та осьовому (σ_z) напрямках, запишемо у вигляді [3]:

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(i)} &= -\frac{\alpha_t^{(i)} \cdot E_i}{1 - \mu_i} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \int_{R_i}^r t \cdot r dr + \frac{E_i}{1 + \mu_i} \cdot \left[\frac{A_i}{1 - 2\mu_i} - \frac{B_i}{r^2} \right], \\ \sigma_\varphi^{(i)} &= \frac{\alpha_t^{(i)} \cdot E_i}{1 - \mu_i} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \int_{R_i}^r t \cdot r dr + \frac{E_i}{1 + \mu_i} \cdot \left[\frac{A_i}{1 - 2\mu_i} + \frac{B_i}{r^2} \right] - \frac{\alpha_t^{(i)} \cdot E_i \cdot t}{1 - \mu_i}, \\ \sigma_z^{(i)} &= \varepsilon_{zi} \frac{E_i(1 - \mu_i)}{(1 + \mu_i)(1 - 2\mu_i)} + A_i \frac{2E_i\mu_i}{(1 + \mu_i)(1 - 2\mu_i)} - \frac{E_i\alpha_t^{(i)}T(r)}{(1 - \mu_i)}, \end{aligned} \quad (3)$$

де, E_i - модуль Юнга, Па; μ_i - коефіцієнт Пуассона; $\alpha_t^{(i)}$ - температурний коефіцієнт лінійного розширення для заданого матеріалу, $1/К$; $i = 1, 2$ - кількість шарів.

Постійні інтегрування A_i і B_i знайдемо з рівності переміщень (2) і радіальних напружень (3) на стику циліндрів $r = R_1$, а також рівності нулю радіальних напружень при $r = R_0$ і $r = R_2$.

$$\text{Тобто } U_1 = U_2, \quad \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)} \quad \text{при } r = R_1, \quad (4)$$

$$\sigma_r^{(1)} = 0 \quad \text{при } r = R_0 \quad \text{і} \quad \sigma_r^{(2)} = 0 \quad \text{при } r = R_2.$$

Відносні видовження в напрямку паралельному вісі циліндра знайдемо з рівнянь:

$$\int_{R_0}^{R_1} \sigma_z^{(1)} \cdot r \cdot dr + \int_{R_1}^{R_2} \sigma_z^{(2)} \cdot r \cdot dr = 0, \quad \varepsilon_z^{(1)} + \frac{\sigma_z^{(1)}}{E_1} = \varepsilon_z^{(2)} + \frac{\sigma_z^{(2)}}{E_2}. \quad (5)$$

Підставивши вирази (2) і (3) в умови (4) і (5) одержимо систему з шести алгебраїчних рівнянь для знаходження шести невідомих A_i, B_i і $\varepsilon_z^{(i)}$, яку розв'яжемо методом Крамера за допомогою програми Mathcad.

$$M := \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{-(1-2\cdot V_1)}{(R_0)^2} & 0 & V_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \frac{-(1-2\cdot V_2)}{(R_2)^2} & 0 & V_2 \\ R_1 & -R_1 & \frac{-1}{R_1} & \frac{-1}{R_1} & 0 & 0 \\ d_1 & -d_2 & \frac{-E_1}{(R_1)^2 \cdot (1+V_1)} & \frac{E_2}{(R_1)^2 \cdot (1+V_2)} & V_1 \cdot d_1 & -V_2 \cdot d_2 \\ h_1 & h_2 & 0 & 0 & h_3 & h_4 \\ p_1 & -p_2 & 0 & 0 & p_3 & -p_4 \end{bmatrix} \quad \underline{S} := \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ 0 \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{pmatrix} \quad (6)$$

де,

$$d_1 = \frac{E_1}{(1+\mu_1)(1-2\mu_1)}, \quad d_2 = \frac{E_2}{(1+\mu_2)(1-2\mu_2)},$$

$$d_3 = \alpha_t^{(1)} \cdot t \cdot (1+\mu_1), \quad d_4 = \alpha_t^{(2)} \cdot t \cdot (1+\mu_2),$$

$$h_1 = \frac{E_1 \cdot \mu_1 \cdot (R_1^2 - R_0^2)}{(1+\mu_1)(1-2\mu_1)}, \quad h_2 = \frac{E_2 \cdot \mu_2 \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{(1+\mu_2)(1-2\mu_2)},$$

$$h_3 = \frac{(1-\mu_1) \cdot E_1 \cdot (R_1^2 - R_0^2)}{(1+\mu_2)(1-2\mu_2) \cdot 2}, \quad h_4 = \frac{(1-\mu_2) \cdot E_2 \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{(1+\mu_2)(1-2\mu_2) \cdot 2}, \quad (7)$$

$$k_1 = \frac{E_1 \cdot \alpha_t^{(1)} \cdot t}{(1-2\mu_1)} - \frac{E_2 \cdot \alpha_t^{(2)} \cdot t}{(1-2\mu_2)}, \quad k_2 = \frac{E_1 \cdot \alpha_t^{(1)} \cdot t \cdot (R_1^2 - R_0^2)}{(1-2\mu_1) \cdot 2} + \frac{E_2 \cdot \alpha_t^{(2)} \cdot t \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{(1-2\mu_2) \cdot 2},$$

$$p_1 = \frac{2 \cdot \mu_1}{1-2\mu_1}, \quad p_2 = \frac{2 \cdot \mu_2}{1-2\mu_2},$$

$$p_3 = \frac{(1-\mu_1)}{(1+\mu_1)(1-2\mu_1)}, \quad p_4 = \frac{(1-\mu_2)}{(1+\mu_2)(1-2\mu_2)}.$$

Для циліндра з радіусом $R_0 = 0,005$, $R_1 = 0,023$ і $R_2 = 0,032$ розраховані радіальні (σ_r), кільцеві (σ_φ) і осьові (σ_z) температурні напруження, в залежності від полярного радіуса r . Результати розрахунків представлені графічно на рис. 2. При розрахунках приймаємо, що початкова температура циліндра була постійна і рівна $t = 20$ °С. При цій температурі напруження були рівними нулю. В початковий момент часу температура збільшилась на 300°С.

Фізико-механічні характеристики матеріалів кусково-однорідних конструкцій є рівними:

$$E_1 = 0,23 \cdot 10^{11} \text{ Па}, \quad \mu_1 = 0,16 \quad \alpha_t^{(1)} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К} \quad (8)$$

$$E_2 = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}, \quad \mu_2 = 0,3 \quad \alpha_t^{(2)} = 14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}.$$

Результати розрахунку представлені на рисунку 2. На всіх рисунках крива 1 (рос. 2а...в) показує зміну температурних напружень при заданих фізико-механічних параметрах представлених величинами (8).

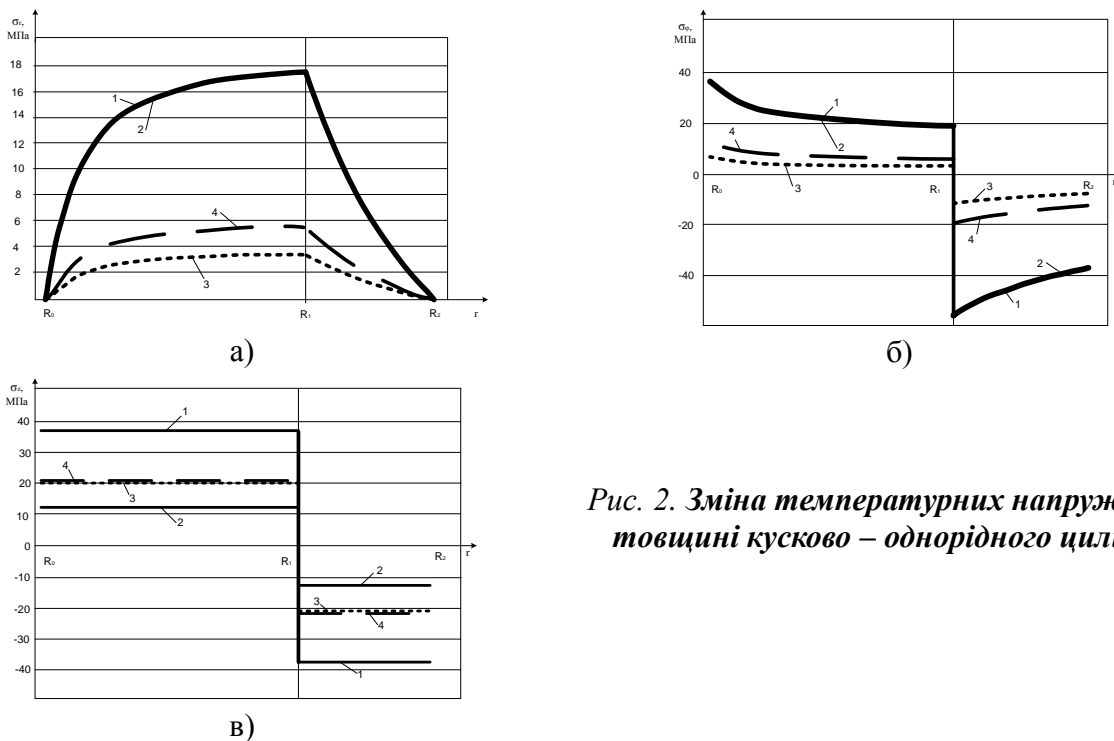


Рис. 2. Зміна температурних напружень по товщині кусково – однорідного циліндра

Крива 2 показує зміну напружень за умови, що коефіцієнти Пуассона $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$, а всі інші параметри рівні значенням (8). Крива 3 – при $\alpha_t^{(1)} = \alpha_t^{(2)} = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$, крива 4 – при $E_1 = E_2 = 0,23 \cdot 10^{11}$ Па.

Аналіз графіків (рис. 2) показує, що найбільші напруження ($\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$) по величині є в випадку коли всі фізико-механічні характеристики матеріалів є різні. Якщо підібрати матеріали таким чином щоб коефіцієнти температурного лінійного розширення матеріалів α_t були рівними, то максимальні величини напружень зменшуються майже в 2 рази (крива 3).

Висновки. З аналізу графіків залежності радіальних (σ_r), кільцевих (σ_φ) та осьових (σ_z) температурних напружень від фізико-механічних параметрів матеріалів випливає, що:

1. Найбільш небезпечними є кільцеві і осьові температурні напруження величина яких в двічі більша від радіальних.
2. Якщо $\alpha_t^{(1)} = \alpha_t^{(2)}$ то максимальні температурні напруження не зникають, а лише зменшуються в 2 рази.
3. При рівності всіх фізико-механічних параметрів матеріалів двошарового циліндра температурні напруження відсутні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Нормы расчета трубопроводов и парогенераторов тепловых и атомных станций. - М: Энергоатомиздат, 1987. - 748 с.
2. Экспериментальное исследование термочности оптимальных конструкций коварово – стеклянных токоподводов ЭЛП / Семерак М. М., Марголин А. М., Сурников И. Н., Скорик В. И. // Материалы совещания «Качество, прочность, надежность и технологичность электровакуумных приборов». – К.: Изд-во «Наукова думка», 1976. – С. 77-81.
3. Тимошенко С. П., Гудер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975.- 576с.

М.М. Семерак, д.т.н., проф., А.М. Доминик

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО – МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕРМОПРОЧНОСТЬ КУСКОВО-ОДНОРОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Разработана математическая модель определения и исследования напряженно-деформированного состояния цилиндрического вала, обусловленного его нагревом. Результаты исследований изображены графически.

Ключевые слова: физико–механические параметры, кусково-однородных конструкции, термopрочность

М.М. Semerak, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, A.M. Dominik

THE INFLUENCE OF PHYSICAL-MATHEMATICAL PARAMETERS ON THERMAL CAPACIOUSNESS OF LUMP-HOMOGENEOUS CONSTRUCTIONS

The article deals with the development of mathematic pattern of distinguishing and development of a mode of deformation of lump – homogeneous cylinders caused by its heating. Results of investigation are described graphically.

Key words: physical-mathematical parameters, lump-homogeneous constructions, thermal capaciousness.

УДК 614.846

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц., Я.Б. Кирилів, к.т.н., Т.В. Бойко (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ДИНАМІКА ГАЗОВО-ПІННИХ ПОТОКІВ В ЗАМКНУТОМУ ОБ'ЄМІ КАНАЛУ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ

В статті досліджено тепломасообмінні процеси в ізолюваному каналі із замкнутим контуром провітрювання, розглянуто динаміку газових і пінних потоків, їх вплив на осередок пожежі і комплексний вплив пожежі на нього продуктів згорання і отриманої на їх основі газомехамічної піни. Подано результати моделювання втрат газової фази в піні по довжині каналу при різних параметрах, які характеризують стійкість піни, а також зміну густини піни вздовж каналу при різній швидкості її витікання.

Ключові слова: пожежні гази, піна, протяжні об'єкти, динаміка газових і пінних потоків, осередок пожежі, продукти згорання, моделювання, газомеханічна піна, продуктивність

Стан проблеми. Сучасний рівень протипожежного захисту протяжних об'єктів (каналів, тунелів, труб та ін.), які використовуються на об'єктах народного господарства. Тут застосовуються як традиційні способи гасіння пожеж з використанням води, піни і інертних газів, так і нетрадиційні засоби – аж до використання вибухових речовин.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що проблемам дослідження тепломасообмінних процесів при пожежах в закритих об'ємах приділяється певна увага. Проте, в цих роботах розглядають в основному поведінку повітряно-механічної піни при незначній довжині вентиляційних каналів і тунелів в 5-10 м або в обмежених системах. Слід зазначити, що процес використання пожежних газів разом з піною для гасіння пожеж в протяжних об'єктах не достатньо досліджений [1].