

УДК 622.2

В.В. Коробійчук, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

МЕТОД ОЦІНКИ ТИСКУ, ЩО ВИНИКАЄ ПРИ ТЕПЛОВОМУ РОЗШИРЕННІ КРИСТАЛІВ СОЛЕЙ І ЛЬОДУ В ПОРАХ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

Досліджено та проаналізовано основні закономірності виникнення тиску, що надається кристалами NaCl, KCl та льоду на стінки пор тіла при їх тепловому розширенні.

Вступ. Відомо, що тиск кристалізації може бути порівняно з граничною міцністю природного каменю. Проте при цьому не враховувався тиск, що надається кристалами на стінки пор тіла при їх тепловому розширенні. Оскільки цей тиск також може виконувати деяку роль у деструкції будівельних матеріалів у процесі їх корозії, то спробуємо розкрити закономірності його виникнення.

Постановка проблеми. Природний камінь постійно піддається впливу агресивного навколишнього середовища. При цьому в природний камінь проникає вода та утворюються солі, що впливають на міцність та корозієстійкість природного каменю. Виникає питання, яке зусилля можуть створювати кристали солей у середині природного каменю.

Мета дослідження. Розкрити закономірності виникнення тиску, що надається кристалами NaCl, KCl та льоду на стінки пор тіла при їх тепловому розширенні.

Викладення основного матеріалу. Як розрахункова модель приймаємо капілярно-пористе тіло з сферичними пустотами (матриця), заповненими іонними кристалами типу хлористого натрію (включення). Розглядається випадок, коли кристал, що росте при початковій температурі T_1 , досягає

об'єму пори $V_1 = \frac{3}{4}\pi d_0^3$ і складається з j_0 молекул (іонних пор). Очевидно, що при підвищенні температури від T_1 до T_2 матриця і включення розширятимуться. Якщо γ_m і γ_k коефіцієнти термічного розширення матриці і включення, то при $\gamma_k > \gamma_m$ кристал чинить деякий тиск на захищаючу його поверхню. Цей тиск можна знайти з розгляду таких елементарних процесів, як вільне розширення кристала при зміні температури від T_1 до T_2 та ізотермічне (при $T_2 = \text{const}$) стиснення кристала до первинного об'єму V_1 , займаного їм при вихідній температурі T_1 ; зміна об'єму пори внаслідок вільного розширення матриці при підвищенні температури від T_1 до T_2 і врахування цієї зміни при оцінці тиску, який здійснюється кристалом на стінки пор при його розширенні. Розглянемо послідовно процеси, які супроводжують теплове розширення системи "матриця-включення". Позначимо через δ_1 довжину ребра елементарного кубічного осередку кристала в стані рівноваги при температурі T_1 . При зміні температури від T_1 до T_2 δ_1 , збільшується на $\gamma_k \delta_1 \Delta T$. Об'єм $V_1 = j_0 v \delta_1^3$, який займає кристал при температурі T_1 стає рівним:

$$V_2 = j_0 v \delta_1^3 (1 + \gamma_k \Delta T)^3. \quad (1)$$

Таким чином, внаслідок вільного теплового розширення кристала збільшується рівномірно по всьому об'єму на величину:

$$\Delta V_k = V_2 - V_1 = j_0 v \delta_1^3 [(1 + \gamma_k \Delta T)^3 - 1]. \quad (2)$$

При цьому відбувається зміна вільної енергії ΔG , яка для пружно деформованого кристала запишеться аналогічно відомому рівнянню Борна:

$$\Delta G = j_0 \frac{\alpha e^2}{\delta_1} \left(\frac{1}{1 + \gamma_e \Delta \delta} - \frac{1}{n(1 + \gamma_e \Delta \delta)^n} \right), \quad (3)$$

де α – постійна Маделунга; e – елементарний заряд; n – постійна, що характеризує потенціал сил відштовхування.

Проведемо ізотермічне (при $T_2 = \text{const}$) стиснення кристала на величину ΔV_k .

Оскільки при вільному тепловому розширенні кристала і оборотному ізотермічному стисненні його відбувається зміна об'єму на одну й ту ж величину ΔV_k , то зміни вільних енергій у цих процесах рівні, тобто $\Delta G = \Delta G'$, де $\Delta G'$ – зміна вільної енергії при ізотермічному стисненні кристала. У такому разі з

(3) одержуємо тиск всебічного стиснення P' , що викликає рівну температурному розширенню зміну об'єму кристала.

$$P' = \frac{\alpha e^2}{3\nu\delta^4} (n-1)\gamma_k \Delta T. \quad (4)$$

Вираз (4) можна представити в зручному для розрахунку вигляді, якщо ввести поняття стискання кристала [1].

$$\frac{1}{\beta} = \frac{n-1}{18\delta_1^4} \alpha e^2. \quad (5)$$

З врахуванням (5) вираз (4) приймає простий вигляд:

$$P' = \frac{3\gamma_k \Delta T}{\beta_k}. \quad (6)$$

Нарешті, беручи до уваги, що об'ємний коефіцієнт термічного розширення $\gamma_e = 3\gamma_k$, одержуємо:

$$P' = \frac{\gamma'_k \Delta T}{\beta_k}. \quad (7)$$

Мабуть, P' і є той тиск, який може надати кристал при тепловому розширенні на стінки пор абсолютно жорсткого тіла. Насправді, об'єм кристала V_1 , (при T_1) спочатку збільшився на ΔV в результаті зміни температури від T_1 до T_2 . Далі кристал об'ємом $V_2 = V_1 + \Delta V_k$ стиснули (при $T_2 = \text{const}$) до початкового об'єму, тобто на величину ΔV_k . Якщо в цьому стані кристал помістити в пору абсолютно жорсткого тіла, то все навантаження сприйматиме захищаюча поверхня. Отже, P' є шуканий тиск, який виникає при тепловому розширенні кристала в порах жорсткого тіла.

З (7) видно, що тиск, який виникає при тепловому розширенні, залежить при $\gamma_k = \text{const}$, $\Delta \dot{O} = \text{const}$ тільки від стислості кристала β_k . Це означає, що для експериментально знайдених значень β формула (7) справедлива для будь-яких твердих тіл з різною конфігурацією, різними кристалічними ґратами і різною природою сил зчеплення. Слід зазначити, що нині величини γ і β теоретично можна розрахувати з достатньою точністю тільки для іонних кристалів типу хлористого натрію.

З метою обліку вільного теплового розширення матриці вважаємо (в першому наближенні), що вона не деформується під дією тиску, яка виникає при розширенні кристала. Для даних умов при підвищенні температури на величину ΔT матеріал матриці розширяється рівномірно по всьому об'єму, внаслідок чого радіус пори збільшується на $\Delta a_m = \gamma'_m a_0 \Delta T$. Очевидно, що в цьому інтервалі кристал також може вільно розширятися, не чинячи ніякого тиску на стінки пор матриці. Тому тиск P' , що надається кристалом, який розширяється, на стінки пор абсолютно жорсткого тіла, буде меншим на P'' , значення P'' знаходиться методами, викладеними вище, з рівнянь (1), (2) при заміні параметра γ_k на γ_m .

$$P'' = \frac{\gamma'_m \Delta T}{\beta_e}, \quad (8)$$

де γ'_m – об'ємний коефіцієнт термічного розширення матеріалу матриці.

Отже, тиск P^m , що створює на стінки пор перешкоду при сумісному тепловому розширенні кристала і матриці, визначається виразом:

$$P^m = P' - P'' = \frac{\gamma'_k - \gamma'_m}{\beta_k} \Delta T = \frac{\Delta \gamma \Delta T}{\beta_k}, \quad (9)$$

де $\Delta \gamma = \gamma'_k - \gamma'_m$ – різниця в коефіцієнтах термічного розширення включення і матриці.

З (9) витікає, що якщо $\gamma_e > \gamma_o$, $\Delta T > 0$ і $\gamma_e < \gamma_o$, $\Delta T < 0$, то $P^m > 0$. Якщо ж $\gamma_e > \gamma_o$, $\Delta T < 0$ і $\gamma_e < \gamma_o$, $\Delta T > 0$, то $P^m < 0$ тобто тиск не виникає (в цьому випадку між кристалом і навколишньою його перешкодою утворюється зазор). Очевидно, що при $\gamma_e = \gamma_o$ $P^m = 0$. Таким чином, тиск, що виникає при тепловому розширенні контактуючих тіл, знаходиться у великій залежності від зміни

температури, стислості кристалів, коефіцієнтів термічного розширення матриці і включення (рис. 1). Так, при $\Delta T = 50$ $1,02 \cdot 10^{-5} \leq \gamma_{\kappa} \leq 1,16 \cdot 10^{-5}$ ($203 \leq T \leq 283$); $3,7 \cdot 10^{-5} \leq \gamma_{\text{NaCl}} \leq 4,0 \cdot 10^{-5}$; $3,45 \cdot 10^{-5} \leq \gamma_{\text{KCl}} \leq 3,62 \cdot 10^{-5}$ ($273 \leq T \leq 333$) [1]. $\gamma_{\text{льоду}} = 3,0 \cdot 10^{-5}$, град⁻¹; $T \leq 273$; $\beta_{\text{NaCl}} = 4,3 \cdot 10^{-5}$; $\beta_{\text{KCl}} = 4,8 \cdot 10^{-5}$; $\beta_{\text{льоду}} = 13,2 \cdot 10^{-5}$ МПа⁻¹ тиск, що надається константами на стінки пор природного каменю, рівний приблизно в 40, 70 і 100 МПа відповідно при тепловому розширенні кристалів льоду, хлористого калію і хлористого натрію (рис. 1).

Таким чином, у результаті теплового розширення кристалів у порах природного каменю, виникає тиск, який за певних умов порівняний з тиском кристалізації цих кристалів.

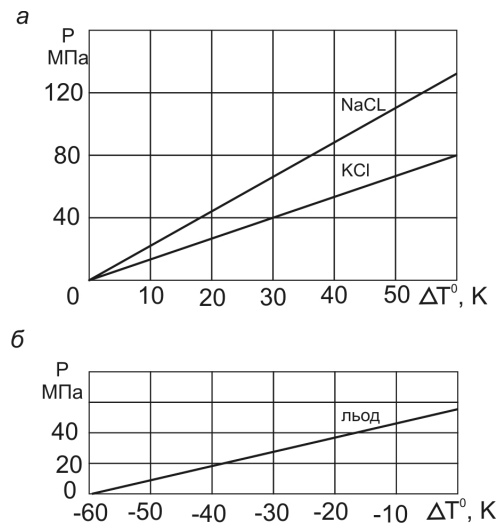


Рис. 1. Тиск, що виникає при тепловому розширенні кристалів: а – NaCl, KCl; б – льоду в порах природного каменя, залежно від природи кристалів і зміни температури

ЛІТЕРАТУРА:

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М. : Физматгиз, 1962. – 696 с.
2. Воробьев А.А. Механические и тепловые свойства щелочно-галогидных монокристаллов / А.А. Воробьев. – М. : Высшая школа, 1968. – 272 с.
3. Бакка М.Т. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и техническая оценка месторождений : справочник / М.Т. Бакка, И.В. Ильченко. – М. : Недра, 1992. – 303 с.
4. Бакка М.Т. Основы геологии / М.Т. Бакка, О.О. Ремезова. – Житомир : РВВ ЖДТУ, 2000. – 380 с.
5. Миндели Э.О. Разрушение горных пород / Э.О. Миндели. – М. : Недра, 1975. – 600 с.

КОРОБІЙЧУК Валентин Вацлавович – кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехнологій ім. проф. Бакка М.Т. Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- комп'ютерні технології.

Подано 12.09.2011

