

Любименко О.М.¹, Фельдман Е.П.²

(¹Донецький національний технічний університет, м. Луцьк; ²Інститут геотехнічної механіки НАН України, м. Дніпро)

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ЗМІНИ ФОРМИ ПАЛАДІЄВОГО КАНТИЛЕВЕРА ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ З ВОДНЕМ

E-mail: e.n.lyubimenko@gmail.com

Моделювання поведінки зміни форми кантилевера є дуже важливим процесом при прогнозуванні терміну придатності елементів, які працюють в сенсорах по контролю водню в водневій енергетиці. До таких виробів ставляться високі вимоги по кількості відпрацьованих циклів наводнення-дегазація, без зміни властивостей сенсора як у зовнішньому вигляді так і в структурі самого матеріалу, бо може спостерігатися утворення градієнтних сплавів паладію з воднем. Паладій сильно поглинає водень, в результаті матеріал може подовжуватися (ε_c), і це подовження безпосередньо залежить від концентрації атомарного водню (c).

Проведемо моделювання, однієї з ситуації, а саме насичення паладію воднем при якому спостерігається зміна форми досліджуваного металевого виробу. В якості моделі візьмемо пластину з паладію, закріплену з одного боку (рис. 1), яка контактує з воднем. У пластині виникають пружні напруження при неоднорідному розподілі водню.

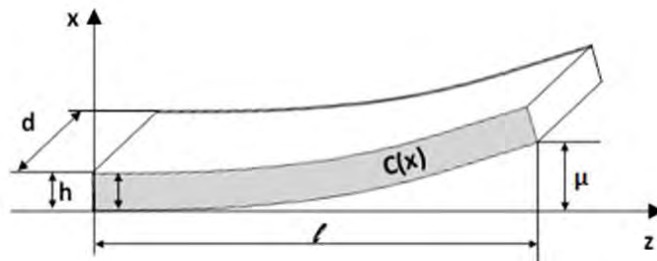


Рис. 1. Схема вигину кантилевера: d – ширина пластины; μ – відхилення кантилевера; l – довжина пластины; $c(x)$ – концентрація, h – товщина пластины

Розрахунок воднево пружних напружень проведемо для випадку, коли концентрація водню залежить від координати (x) поперек пластины $c = c(x)$, будучи однорідною вздовж пластины (z) і вздовж бічної координати (y). При малих концентраціях водню коефіцієнт дифузії залежить від концентрації. На початку і в

кінці процесу насичення воднем пружні напруження відсутні, оскільки концентрація і в тому і в іншому випадку – константа, градієнти концентрації дорівнюють нулю. По мірі заповнення паладієвого кантилеверу воднем пружні напруження перерозподіляються таким чином, що сумарна сила, що діє на кантилевер, в будь-який момент часу дорівнює нулю, а сумарний момент згинає пластину таким чином, що її вільний кінець піднімається.

На експерименті вимірюють залежність відхилення $\mu(t)$ кінчика кантилевера від часу (t) (рис. 2), а змодельована залежність, представлено на рис. 3.

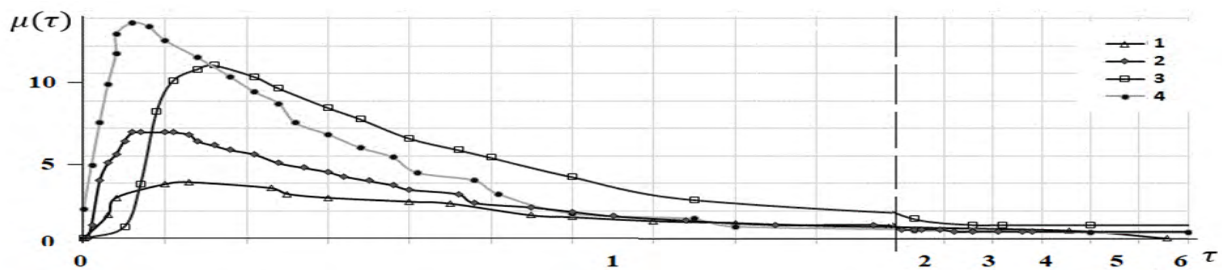


Рис. 2. Залежність експериментального вигину кантилевера від часу при 200 °С при швидкості подачі водню: 1 – для 13 с; 2 – 9 с; 3 – 16 с; 4 – 7 с

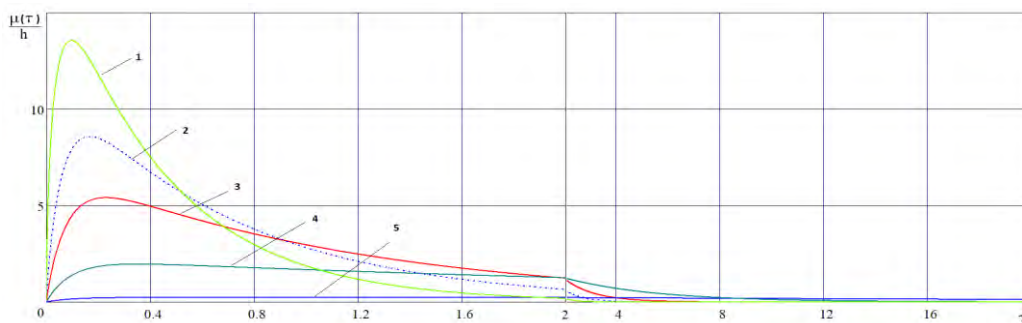


Рис. 3. Змодельована залежність зміни стріли вигину (відхилення) кантилевера, коли: 1- $\rho = 0,01$; 2- $\rho = 0,1$; 3- $\rho = 0,25$; 4- $\rho = 1$; 5- $\rho = 10$ [1]

З цих графіків видно, що максимальне значення відхилення, як і швидкість досягнення цього максимуму, в основному обернено пропорційно параметру ρ , тобто прямо пропорційна швидкості γ проникнення водню в паладій.

Література:

1. E. P. Feldman, E. N. Lyubimenko, K. V. Gumennyk, J. of Applied Physics, 127, 245104, 2020. <https://doi.org/10.1063/5.0011826>

Лютий Р.В., Тишковець М.В., Люта Д.В.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

СТРИЖНЕВА СУМІШ БАГАТОРАЗОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

E-mail: rvl2005@ukr.net

Фосфати натрію є принципово новими зв'язувальними матеріалами для ливарного виробництва. У наших попередніх дослідженнях визначено фізико-хімічні особливості їх отримання [1], а також комплекс основних показників стрижневих сумішей з ними [2]. Відзначено високу міцність, на рівні з синтетичними смолами і рідким склом, а також низьку схильність до утворення пригару на виливках із сталі та чавуну.

З іншого боку, фосфати натрію є водорозчинними, і теоретично можливим є вилучення стрижнів із виливків за допомогою води. В такому разі слід унеможливити потрапляння цих фосфатів до водних екосистем, що призводить до ряду відомих негативних наслідків [3, 4]. Це можливо реалізувати у два способи: забезпечити систему захисту від витоку шкідливих речовин, або дослідити можливості повторного використання фосфатів натрію.

Для отримання фосфатного зв'язувального компонента використано ортофосфорну кислоту концентрацією 85% (1 мас. ч.) та триполіфосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ технічної чистоти (5 мас. ч.), суміш із яких витримано протягом 1 год при температурі 150 °С. Після хімічної взаємодії матеріал складається із триполіфосфату натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ та двозаміщеного пірофосфату натрію $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

До складу суміші увійшло 5% вказаного ЗК, 5% води, решта – кварцовий пісок. Зразки попередньо сушили в лабораторній камерній електропечі при температурі 150 °С. Після цього їх нагрівали в муфельній печі до різних температур від 400 до 900 °С, з витримкою 30 хв.

Після охолодження зразки було поміщено в холодну воду. Спершу розміщували зразки, які було нагріто до 400 °С, та визначали тривалість їх знеміцнення у воді. Момент знеміцнення фіксували, коли зразки руйнувались у водному середовищі без додаткового навантаження, після доторкання до них.

Після цього в воді розміщували зразки, які було нагріто до 500 °С, і всі наступні партії.

Установлено, що зразки суміші, нагріті до температур 400 і 500 °С, повністю знеміцнілись у холодній воді впродовж 1...2 хв. Після нагрівання до температур в межах 600...700 °С зразки розчиняються впродовж 5 хв. Зразки, нагріті до 800 °С, знеміцнюються впродовж 10...15 хв, нагріті до 900 °С – за 30...40 хв.

Це означає, що для виливків із будь-яких сплавів, незважаючи на високу залишкову міцність цієї суміші, можна рекомендувати вилучення стрижнів водним способом.

Стрижневу суміш після нагрівання та витримки у воді перевірено на предмет повторного зміцнення. Наявність у складі оборотної суміші залишків зразків, які були нагріті до різних температур, наближає дослідження до реальних умов, у яких стрижні прогриваються нерівномірно. Результати визначення міцності зразків наведено на рис. 1.

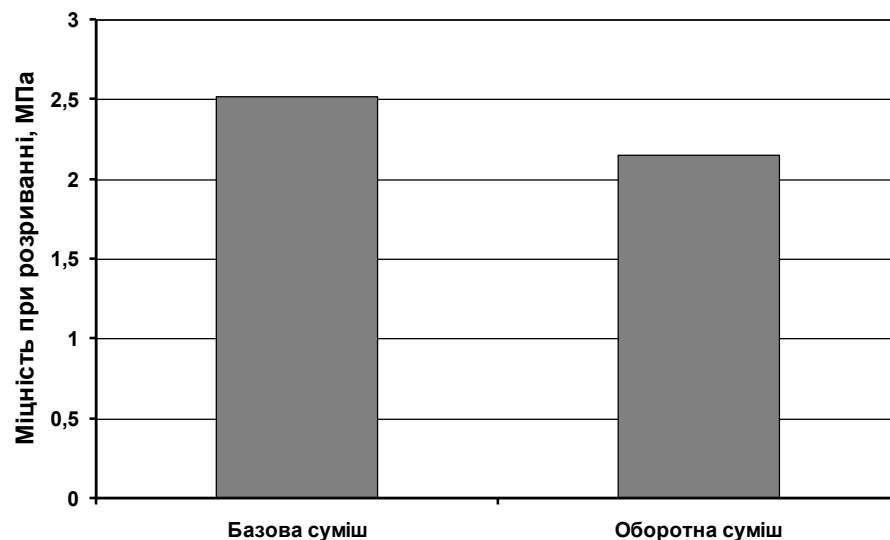


Рис. 1. Порівняльна діаграма міцності базової та оборотної сумішей

Із порівняльної діаграми стає очевидним, що після повторного виготовлення зразків міцність суміші майже ідентична початковим показникам. Це означає, що наявні у складі зв'язувального компонента фосфати натрію після

високотемпературного нагрівання, незважаючи на ряд фізико-хімічних перетворень у їхньому складі, здатні зберігати свою зв'язувальну здатність. Це дає змогу повторно використовувати оборотну суміш після вилучення стрижнів водним способом.

Встановлений ефект сприяє економії зв'язувального компонента, а головним чином – його ізоляції в замкненому циклі виробництва без потрапляння у водні екосистеми. Для повторного виготовлення стрижнів добавка свіжого зв'язувального компонента має бути мінімальною.

В результаті проведених досліджень вперше підтверджено можливість повторного використання зв'язувального компонента, зокрема фосфатів натрію, в складі стрижневих сумішей.

Література:

1. *Liutyi R., Tyshkovets M., Liuta D., Sheiko O.* Physical and chemical fundamentals of sodium phosphate use in foundry production // *Physics and chemistry of solid state*. - 2020. - V. 21, N4. - P. 756-763.

2. *Liutyi R., Petryk I., Tyshkovets M., Myslyvchenko O., Liuta D., Fyodorov M.* Investigating sodium phosphate binders for foundry production // *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100082>

3. *Крижановський Є.М.* Дослідження тенденцій використання фосфатних миючих засобів [Електронний ресурс] / [Крижановський Є.М., Гурко О.В., Жак А.В.] // Збірник наукових статей “III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю”. – Вінниця, 2011. – Том.1. – С.216–219.

4. *Почапський В. Є.* Дослідження впливу фосфатів синтетичних миючих засобів на процеси евтрофікації / *В. Є. Почапський, С. О. Осипенко* // Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку». – Полтава, 2019. – С. 90–94.