

*A.P. Polovko, Candidate of Science (Engineering) (Lviv State University of Life Safety),
B.G. Demchuna, Doctor of Science (Engineering), Professor (Lviv Polytechnic National University),
M.M. Semerak, Doctor of Science (Engineering), Professor, R.B. Veselivskiy
(Lviv State University of Life Safety)*

FIRE SAFETY OF EASY NON-LOAD-BEARING CONSTRUCTIONS

The article deals with fire safety of easy non-load-bearing constructions. Due to the conducted analysis of fire safety of sandwich-panels, the necessity of new, modern heat-insulation materials inclusive constructions development is proved. A necessity and expedience of implementation of new theoretical calculation methods for determination of fire-resistance limit of modern multi-layered non-load-bearing wall constructions is offered.

Key words: a sandwich-panel, fire-resistance, unbearing, self-bearing

УДК 624.074

В.Б. Лоїк (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ВПЛИВ НАГРІВАННЯ НА ПРОЦЕСИ МАСОПЕРЕНОСУ У ЗОНІ КОНТАКТУ «ВОГНЕЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ – МЕТАЛ»

На основі аналізу останніх досліджень та публікацій встановлено, що вогнезахисні властивості покриттів визначаються структурними змінами, міцність зчеплення визначається складом та властивостями перехідного шару завтовшки у десятки мікрометрів, який утворився у результаті взаємодії покриття з підкладкою.

У статті наведено результати досліджень впливу складу вогнезахисного покриття на процеси масопереносу у зоні контакту. На основі математичної моделі визначено глибину взаємодифузії компонентів покриття та металу

Ключові слова: взаємодифузія, масоперенос, фазовий склад, коефіцієнт дифузії, контактний шар, евтектична концентрація

Постановка проблеми. Формування якісного покриття та забезпечення надійного вогнезахисту залежить від процесів, які відбуваються на межі «покриття – метал». У результаті контактної взаємодії при високих температурах залежно від складу покриття можуть виникати нові фази і сполуки, які утворюють перехідні шари. Оцінкою цих процесів як кількісно, так і якісно, служить сила зчеплення покриття з матеріалом. Надійність, довговічність та вогнезахисна здатність залежать від фізико-хімічних процесів, які відбуваються під час нагрівання у широкому інтервалі температур. У результаті контактної взаємодії при високих температурах на межі контакту «вогнезахисне покриття – метал» виникають нові фази та сполуки, які утворюють перехідні шари. Утворені перехідні шари визначають міцність зчеплення покриття з матеріалом. Зміцнюючий ефект виникає за умови синтезу у зоні контакту більш міцніших та стабільніших фаз, механізм утворення яких залежить від виду матеріалу, який захищається, і складу захисного покриття. На межі контакту також можуть накопичуватися продукти взаємодії, які в окремих випадках призводять до руйнування захисного покриття.

Формування перехідного шару за відсутності рідкої фази обмежене опором переносу маси на межі «покриття – метал». Там можуть накопичуватися продукти реакції, що спричиняють віколювання покриття. Перехідний шар, що утворюється під час нагрівання сплаву ХН78Т і ОТ-4 з покриттям на основі наповненого оксидом алюмінію і боросвінецьвмісним додатком поліметилфенілсилоксану, щільний і розширюється з підвищенням температури.

Розподіл деяких елементів в перехідному шарі вказує на його дифузійний характер. Закономірно зменшується концентрація іонів бору і свинцю з віддаленням від поверхні покриття і аналогічно іонів заліза, титану і нікелю вглиб підкладки.

Глибина проникнення бору в усі підкладки дещо більша, ніж для свинцю, що пояснюється різницею іонних радіусів і відповідно дифузійної здатності. При 1073 К бор і свинець проникають у залізо, титан і нікель із підкладки проникають в покриття до 22... 26 мкм. Товщина перехідного шару при нагріванні до 1273 і 1473 К відповідно становить 50...65 і 100...110 мкм.

Аналіз останніх досліджень та публікацій підтверджує, що вогнезахисні властивості покриттів визначаються структурними змінами, які перебігають під час взаємодії між його компонентами на межі розділу фаз. міцність зчеплення визначається складом та властивостями перехідного шару завтовшки у десятки мікрометрів, який утворився у результаті взаємодії покриття з підкладкою [1-4].

Композиційні захисні покриття на основі силіційорганічних зв'язок, оксидних та силікатних наповнювачів на даний час широко використовуються, але вони володіють низькою адгезійною міцністю в температурному інтервалі термоокисної деструкції зв'язки (300-900 °С) внаслідок високого показника пористості [5,6]. Підвищити вогнезахисний ефект можливо шляхом введення до складу покриття додатків, які утворюють скловидну фазу, внаслідок чого у зоні контакту «покриття – метал» формується перехідна зона з утворенням перехідних шарів [3].

Однак, методики визначення концентрації компонентів у контактному евтектичному шарі у випадку функціональної залежності від коефіцієнта дифузії D , складу покриття та температури нагрівання вивчена недостатньо [7]. Тому важливо описати функціональну залежність коефіцієнта дифузії D від концентрації вихідних компонентів при умові зміни стану поверхні підкладки при контактному плавленні у присутності рідкої фази.

Мета роботи полягає у встановленні наближеного методу розрахунку концентрації елементів покриття завдяки процесу масопереносу при умові функціональної залежності коефіцієнта дифузії від температури нагрівання.

Методи та матеріали досліджень. У якості вихідних компонентів для вогнезахисних покриттів поліметилфенілсилоксановий лак (зв'язка), оксид алюмінію, натрієве рідке скло, натрійборосилікатне скло (наповнювач). Концентраційні криві розподілу елементів будували згідно з результатами електронно-зондового мікроаналізу.

Результати досліджень. Вихідні композиції для вогнезахисних покриттів виготовляли шляхом сумісної механохімічної обробки компонентів у кульових млинах до максимального розміру наповнювача не більше 50 мкм. З урахуванням технологічних властивостей, а саме досягнення седиментаційної стійкості та текучості (20-26 с за В3-4) дослідження при співвідношенні в'язка:наповнювач 30:70.

Формування вогнестійкого покриття проходить на стадії дії високих температур (понад 100 °С) завдяки випаровуванню залишкової вологи, розкладу компонентів покриття з утворенням негорючих летких сполук та їх сплавленню. В процесі ефективного контактного плавлення покриття, на межі контакту визначальна роль належить дифузійним процесам проникнення компонентів в глибину металічної основи (Fe). Атоми натрію, бору, володіють високою дифузійною проникністю завдяки чому проникають у поверхневий шар сталльної підкладки швидше, ніж атоми феруму. Тому, у поверхневому шарі через утворення негорючих летких сполук проходить її сплавлення. Процес сплавлення поверхневого шару металу закінчується при температурі рівноважного стану рідкої фази цієї концентрації.

Коефіцієнти дифузії натрію та бору залежать від концентрації і температури, а літературні дані свідчать про велику їх розбіжність. У процесі формування захисного покриття великий інтерес представляє розподіл концентрації елементів по глибині шару при умові функціональної залежності від неї коефіцієнта дифузії. Це дозволить встановити час t та глибину

X, які відповідають досягненню евтектичної концентрації елементів, що дифузують в металічній підкладці за заданих умов процесу насичення.

У роботі пропонується метод визначення залежності коефіцієнта дифузії від концентрації $D(N)$ для моделювання безрозмірного коефіцієнта дифузії $f(C)$. При цьому на функцію, яка описує коефіцієнт дифузії, накладається умова інтегрування замість умови диференціювання, яка є менш точною.

Рівняння дифузії має такий вид:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{d}{dx \left[D(N) \cdot \frac{dN}{dx} \right]} \quad (1)$$

З початками $N(x,0)=N_0$ при $x \geq 0$ (2) та граничними умовами $N(0,t)=N_n$ при $t > 0$ (3)

$N(\infty,t)=N_0$ при $t \geq 0$; N_n ; $N_0 = \text{const}$ (4)

Проведемо заміну змінних шляхом введення безрозмірних величин – концентрацію C , коефіцієнт дифузії $f(C)$ та змінну u :

$$\begin{aligned} C &= (N_{(x,t)} - N_0) / (N_n - N_0) \\ f(C) &= \frac{D(C)}{D_0}, \text{ де } D_0 = D(C)|_{C=0} \\ u &= X \Big|_{(2\sqrt{D_0 t})} \end{aligned} \quad (5)$$

В результаті отримуємо задачу:

$$\begin{aligned} 2udC/du + d/du [f(C) dC/du] &= 0 \\ C_{(0)} &= 1 \\ C_{(\infty)} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Знайдемо рішення задачі (6) у випадку коли $f(C) \neq \text{const}$

Рівняння (6) подамо у вигляді:

$$dC/du [f(C) dC/du] = -2udC/du$$

Проінтегрувавши його частини одержимо:

$$f(C) \frac{dC}{du} = -2 \int_0^u X (dC_{(x)} / dx) dx + A \quad (7)$$

Рівняння (7) про інтегруємо по частинах:

$$f(C) \frac{dC}{du} = -2u C_{(u)} + 2 \int_0^u C_{(x)} dx + A \quad (8)$$

Прийнявши, що $f(C) \neq 0$ для будь-яких значень C та розділивши обидві частини рівняння (8) на $f(C)$ одержимо:

$$\frac{dC}{du} = -2u \frac{C_{(u)}}{f(C)} + \frac{2}{f(C)} \int_0^u C_{(x)} dx + A \quad (9)$$

Помноживши обидві частини рівняння (9) на du та проінтегруємо його:

(10)

$$C_{(u)} = -2 \int_0^u \left[x C_{(x)} / f(C) (X) \right] dx + 2 \int_0^u \left[\int_0^x C_{(\xi)} d\xi / f(C_{(x)}) \right] dx + Au + B$$

де $B = \text{const}$

За умови, що $C_{(0)} = 1$, з виразу 10 маємо рівність $C_{(0)} = B$. Звідки $B = 1$.

Використавши умову $C_{(\infty)} = 0$ та розділивши обидві частини рівняння (10) на u запишемо:

$$C_{(u)} = 2 \int_0^u \left[\frac{\left(\int_0^x C_{(\xi)} d\xi - x C_x \right)}{f} C_{(x)} \right] dx + 1 \quad (11)$$

Отримане рівняння (11) вирішимо методом послідовних наближень:

$$C_{(n+1)}(u) = 2 \int_0^u \left[\frac{\left(\int_0^x C_n(\xi) d\xi - x C_n(x) \right)}{f(C_n(x))} \right] dx + 1 \quad (12)$$

Приймаємо $n=0$, $C_{0(x)} = e^x$

$$C_{1(u)} = 2 \int_0^u \left[\frac{(e^x - 1 - x e^x)}{f(e^x)} \right] dx + 1 \quad (13)$$

Якщо функція f задана, то цей інтеграл приблизно можна визначити, підставивши $C_{1(x)}$ у праву частину формули (11).

Оскільки коефіцієнти дифузій елементів при формуванні контактного шару залежать від їх концентрації, то оцінити перерозподіл кожного компонента складно.

Приймаємо, що коефіцієнти дифузій елементів в умовах контактного евтектичного плавлення змінюються в межах $9,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ до $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ [4], що є характерним для дифузії у рідкій фазі. Задавшись залежністю коефіцієнта дифузії $D(c)$ за допомогою відрізка прямої, який проходить через точки $0; 10^{-8}$ та $0,04 \cdot 10^{-5}$, початкова концентрація модульного коефіцієнта дифузії рівна $10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$. евтектична концентрація C у сталі дорівнює $4,1 \text{ мас.}\%$, а коефіцієнт дифузії приймаємо рівним $10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$.

Рівняння прямої запишемо у вигляді:

$$D_{(c)} = (b/a)Cd$$

Шляхом введення значень

$a = 4,1 \cdot 10^{-2}$; $b = 10^{-5} - 10^{-8}$; $d = 10^{-8}$; $m = ib + ad$ для нульового приближення отримаємо:

$$C_{(u)} = D_0 \left[(2a/b)u - (a/b)u^2 + (2a^2 d/b) \int_0^u \left[\frac{x}{be^{-x} + ad} \right] dx - (2am/b) \int_0^u \left[1/(be^{-x} + ad) \right] dx \right] + 1 \quad (14)$$

Вирахувавши окремо два інтеграли, розклавши підінтегральну функцію за формулою Тейлора і підставивши одержані вирази у формулу (12), запишемо:

$$C(u) \approx 1 + D_0 \left[(2a/b)u - (a/b)u^2 + (2m/b \cdot d (\ln(b + ade^{-u}) - (2m/bd) \ln m - (2a/b)u \ln(b + ade^{-u}) + (2a/b)u \ln m - (a^2 d/bm)u^2 + (a^3/3m^2)u^3 - (a^2 d(b-ad)/12m^3)u^4) \right] \quad (15)$$

Розподіл концентрації Натрію, Бору і Карбону при вказаних значеннях a , b , d і m розраховуємо на комп'ютері.

Встановлено, що при заданих параметрах процесу насичення концентрація елементів за глибиною у зоні контакту «покриття – підкладка» 0,1-0,4 мм досягається за 8-45 с і 4-32 с при нагріванні відповідно до температури 1273 і 1473 К (рис. 1).

Розрахункові дані є співрозмірними з одержаними експериментально [7] при вивченні залежності глибини перехідного шару внаслідок контактної взаємодії при нагріванні.

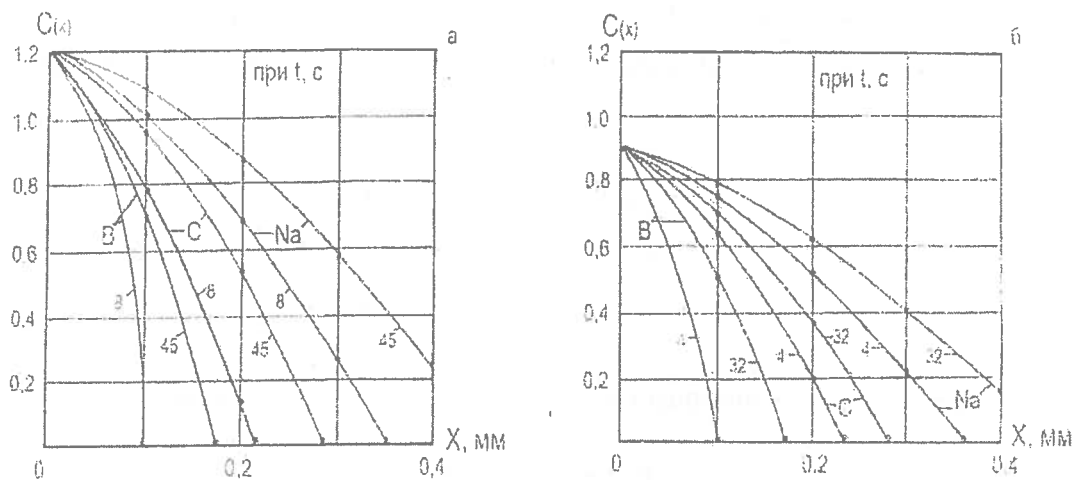


Рис. 1. Розподіл концентрації Бору, Натрію і Карбону покриття при нагріванні до 1273 К (а) і 1473 К (б)

Висновок. Таким чином, запропонований наближений метод розрахунку концентрації елементів покриття за умови її функціональної залежності від коефіцієнта дифузії дозволяє встановити, що при заданих параметрах процесу насичення в зоні контакту максимальне насичення при товщині шару 0,1-0,4 мм досягається відповідно за 8-45 с і 4-32 с при нагріванні до температури 1273 К і 1473 К.

Список літератури:

1. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплоотдача в химической кинетика, – М: Наука, 1987. – 502 с.
2. Голубец В.М., Пашечко М.И. Оценка структурной морфологии эвтектических покрытий по технологическим факторам //М и ТОМ. К.: 1987. – № 7. – С. 55-58
3. Механотермодиффузные процессы в приповерхностном слое пластины при нанесении эвтектического покрытия / А.Р. Гачкевич, В.М. Голубец, Б.И. Чорний, О.Н. Макаренко //ФХММ: Львов: «Наукова думка, 1988, №3. – С. 12-17.
4. Голубец В.М., Лишечко М.І., Ковальчик Ю.И. О приближенном вычислении концентрации элементов покрытия при условии функциональной зависимости от нее коэффициента диффузии /ФХММ, Львов «Наукова думка, 1988, №5. – С. 47-51.
5. Ємченко І. В. Підвищення високотемпературної довговічності конструкційних матеріалів із захисними покриттями на основі наповнених силіційелементоорганічних лаків / І.В. Ємченко // Наукові вісті ІТУУ «КПІ». – 2007. – №6(56). – С. 71-74
6. Ємченко І.В. Вплив температури, фазового складу та структури на захисні властивості наповнених карборансилоксанових покриттів / І. В. Ємченко, М. М. Гивлюд // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск : УГХТУ, 2008.-№2. – С. 181-185.
7. М.М. Гивлюд, О.М. Вахула, Н.І. Топилко Вплив температури нагрівання на процеси масопереносу в зоні контакту «покриття-підкладка». – Вісн. НУ «Львівська політехніка» Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Львів. – 2004. – № 497. – С. 31-133.

В.Б. Лоик (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВАНИЯ НА ПРОЦЕССЫ МАССОПЕРЕНОСА В ЗОНЕ КОНТАКТА «ОГНЕЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ – МЕТАЛЛ»

На основе анализа последних исследований и публикаций установлено, что огнезащитные свойства покрытий определяются структурными изменениями, прочность сцепления определяется составом и свойствами переходного слоя толщиной в десятки микрометров, который образовался в результате взаимодействия покрытия с подкладкой

В статье показаны результаты исследований влияния состава огнезащитного покрытия на процессы массопереноса в зоне контакта. На основе математической модели определена глубина взаимодиффузии компонентов покрытия и металла.

Ключевые слова: взаимодиффузия, массоперенос, фазовый состав, коэффициент диффузии, контактный шар, эвтектическая концентрация.

V.B. Loyik (Lviv State University of Life Safety)

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE MASS-TRANSFER PROCESS IN THE CONTACT ZONE "FIRE-PROTECTIVE COATING – METAL"

The article deals with the exploration results of the components of fire-protective coatings influence on mass-transfer process in the transitional layer.

According to the analysis of the latest researches and publications, it is set fireproof properties of coatings are determined by structural changes. Tripping durability is determined by the composition and properties of transitional layer which is more than ten micrometres thick, formed as result of coverage and lining interaction.

Due to the mathematical model the depth of the diffusion between the coating and the metal is found.

Key words: diffusion, mass-transfer, diffusion coefficient, transitional layer, eutectic concentration.

УДК 539.3

І.М. Ольховий, канд. техн. наук, доцент (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), Х.І. Ліщинська (НУ «Львівська політехніка»)

ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ І ЖОРСТКОСТІ ПІДСИЛЕНИХ ЗАЛІЗОБЕ- ТОННИХ БАЛОК

Розглядається питання розробки і апробації методики точного визначення положення нейтральної лінії і величини згинної жорсткості трикомпонентних підсилених балок (бетон, стальна арматура, зміцнюючий матеріал) таврового поперечного перерізу з розподіленою по висоті арматурою та підсиленою в зоні розтягуючих напружень зміцнюючим матеріалом. Отримано формули для визначення вказаних величин, які дозволяють уточнити розрахунок таких балок, достовірніше оцінити їх міцність і жорсткість та підвищити надійність їхньої роботи

Ключові слова: нейтральна лінія, жорсткість, бетон, арматура, пластик, прогин, напруження.

Постановка проблеми. В будівництві, при спорудженні мостів і інших споруд широко застосовуються залізобетонні балки з різними формами перерізів. При тривалій експлуатації таких конструкцій, реконструкції споруд або необхідності збільшення навантаження на балки і