

ЗАХИСТ ВІД КОРОЗІЇ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ДЕТАЛЯХ ХАРЧОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Сухенько Ю.Г., д-р техн. наук, професор, Сухенько Ю.Г., канд. техн. наук, доцент

Василів В.П., канд. техн. наук, стар. наук. співробітник

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Кудашев С.М., канд. техн. наук, старший наук. співробітник

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Пушкар Т.Д., асистент

Одеський державний аграрний університет, м. Одеса

Запропонована методика визначення і розрахунку необхідної товщини пористого порошкового газо-термічного покриття для надійного захисту технологічного обладнання переробних і харчових виробництв від корозії під впливом агресивних робочих середовищ.

Offered method of determination and calculation of necessary thickness porous powder-like gas of thermal coverage for the reliable corrosion protection of technological equipment of processing and food productions under act of aggressive workings environments.

Ключові слова: корозія, плазма, напилення, обладнання, переробні виробництва, агресивні середовища.

Постановка задачі. Технологічне обладнання переробних і харчових виробництв у більшості випадків контактує з корозійно-активними кислотами, лужними і нейтральними рідкими середовищами. Під їхньою дією знижуються показники надійності і довговічності машин і апаратів.

Наприклад, у молочній промисловості робочі середовища можна розділити на три класи: молоко і молочні продукти (пастеризоване молоко, масло, сметана, кисломолочні продукти, сир, казеїн, молочний цукор); технологічні водяні розчини (ропи, льодова, холодна і гаряча вода); неорганічні і органічні мийні та дезинфікувальні речовини (метасилікат натрію, рідке скло, азотна, сірчана, соляна кислоти) [1,2]. Майже всі названі середовища є агресивними по відношенню до металів, з яких виготовляється переробне обладнання.

При виготовленні з борошна хлібобулочних виробів напівфабрикати (рідкі дріжджі і затори для їхнього приготування, заквашені молочнокислими бактеріями, житні закваски, житне тісто, опара і тісто з пшеничного борошна) є середовищами, у яких накопичується продукти зброджування. Це етиловий спирт, вуглекислий газ, молочна, пропіонова, янтарна, яблучна, винна, лимонна, мурашина, шавлева, оцтова та ін. органічні кислоти, деякі альдегіди і складні жири. Основну роль відіграють молочна й оцтова кислоти, на які припадає ~ 90 % кислотності цих напівфабрикатів, що коливається в межах від рН 6,0 до рН 4,2 [3,4].

Аналогічні приклади можна навести у технологіях виробництва соків, пектиновмісних паст, овочевих і фруктових пюре, м'ясних і рибних виробів, крохмалю, харчових продуктів із сої та ін.

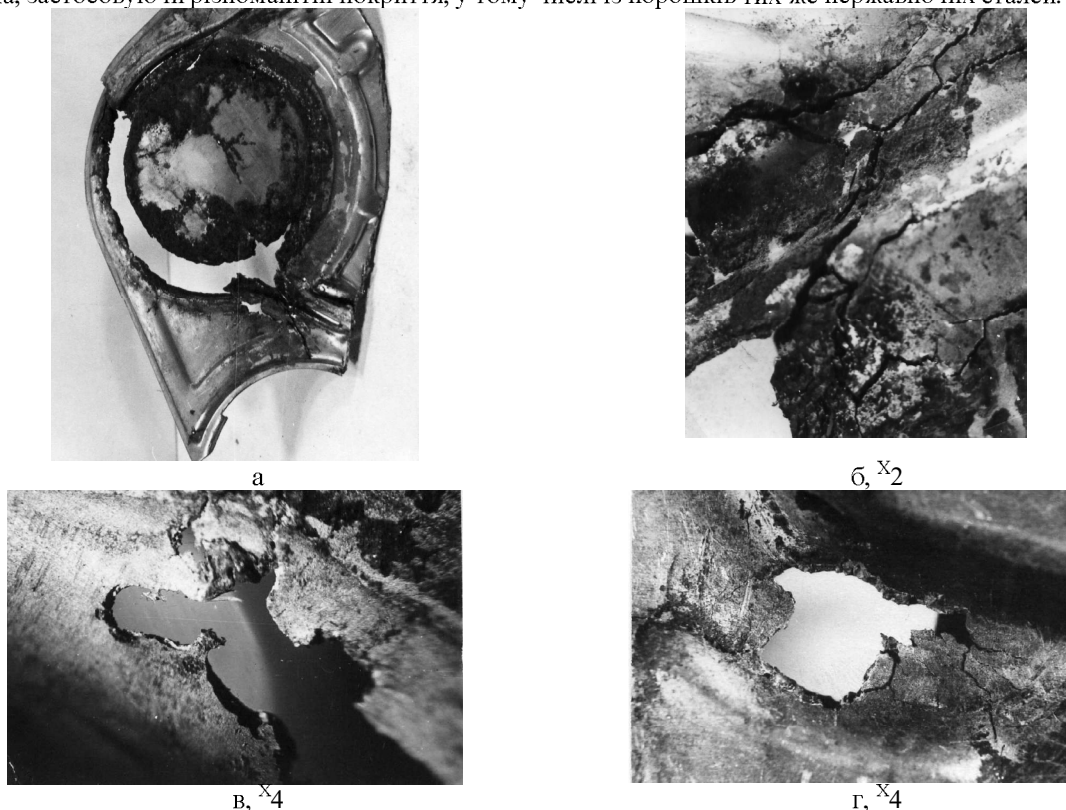
Таке розмаїття технологічних середовищ вимагає пошуку корозієстійких матеріалів, захисних покриттів і способів захисту обладнання від корозії, причому такий захист має бути економічно вигідним і технічно ефективним.

Аналіз останніх досліджень. Для попередження деталей обладнання від корозії можна застосувати: гальванічний і хімічний захист (хромовання, нікелювання, цинкування, кадмування, оксидування, фосфатування); лакофарбові, пластмасові та емалеві покриття; інгібіторний захист (катодні і анодні інгібітори); протекторний захист тощо [4,5].

Вважається, що для роботи в агресивних середовищах хімічних, переробних і харчових виробництв найбільш доцільно використовувати нержавіючі сталі [6,7], але їхні фізико-хімічні властивості змінюються в досить широкому діапазоні залежно від складу та структури [8,9].

Найбільш часто у харчових і переробних галузях АПК для виготовлення корозієстійкого обладнання застосовують аустенітні сталі 12Х18Н9Т та 12Х18Н10Т. З них виготовляють устаткування для зберігання і стерилізації молока, сепаратори, сироварне обладнання, теплообмінники, апарати для бродіння і доброджування, змішувачі, холодильне обладнання та ін. [10,11]. Але такі сталі є дорогими і гостродефіцитними і їхнє застосування в ряді випадків не завжди дає бажані результати, тому що вони піддаються корозійному розтріскуванню (рис. 1) [13]. Тому вуглецеві сталі Ст3, Ст4, Ст5, а також сталі 10, 20, 45 та сірі чавуни є основними конструкційними матеріалами для виготовлення деталей машин і апаратів пере-

робних і харчових виробництв [3-6, 10,12,13]. Підвищити опір до корозійного руйнування цих сталей можна, застосовуючи різноманітні покриття, у тому числі із порошків тих же нержавіючих сталей.



*а – загальний вигляд; б – фрагмент поверхні біля гумового ущільнення;
в,г – втомлювальне міжкристалічне руйнування та фретинг-корозія [13]*

Рис. 1 – Фрагменти вражених корозією пластин П-2 із сталі 12Х18Н9Т пастеризаційно-охолоджувальної установки ОПУ-15 (2000 год. експлуатації на міському молочному заводі №2 у м. Києві) під дією ропи

За останні декілька десятиріч практика протикорозійного захисту поповнилась методами газотермічного напилення (електродугового, плазмового, детонаційного, газополуменевого). Цьому сприяла поява в чорній та кольоровій металургії виробництва легованих порошків із чудовими протикорозійними властивостями [10,14,15]. Простота технології напилення дозволяє захищати від корозії деталі, виготовлені з вуглецевих сталей і чавунів. Разом з тим, такі захисні покриття є пористими і залишається відкритим питання визначення кількості шарів захисного покриття, які мають повністю захистити деталь від корозії.

Мета роботи. З урахуванням характеристик покриття і деталей розробити методику визначення необхідної кількості шарів газотермічного покриття для надійного захисту деталі від корозійного руйнування в технологічних середовищах переробних і харчових виробництв.

Методика досліджень. З огляду на те, що кислі технологічні середовища переробних і харчових виробництв є одними з найбільш агресивних по відношенню до чорних металів [10], досліджували ваговим методом [6,9] корозію пластин розміром (50×20×5) мм зі сталі Ст.3, захищених плазмовим покриттям із порошку нержавіючої сталі 12Х18Н9Т, у 38-відсотковому водяному розчині молочної кислоти. На основі аналізу корозійної поведінки зразків і особливостей формування плазмового покриття, розроблялась методика визначення необхідної кількості його шарів для забезпечення належного захисту деталей від дії агресивних робочих середовищ.

Результати досліджень. Першими ж дослідженнями було встановлено, що покриття руйнуються в 38%-му водяному розчині молочної кислоти зі швидкістю $7 \cdot 10^{-6}$ кг/(м²·с), що у два рази перевищує швидкість корозії матеріалу основи. Разом з тим, швидкість корозії листової сталі 12Х18Н9Т становить всього $3,5 \cdot 10^{-8}$ кг/(м²·с), що більше ніж у 200 разів перевищує її стійкість у покритті. Встановлена різниця в швидкостях корозії монолітних і напилених плазмовим струменем пористих матеріалів свідчить про те, що агресивне середовище діє на всі доступні поверхні зразків. Подібною була поведінка покриттів і в

інших кислих середовищах переробних виробництв (молочній сироватці, кислій жомовій воді тощо). Було встановлено, що зміна складу агресивного середовища зумовлює однакові відносні зміни швидкості корозії монолітних матеріалів і самих газотермічних покриттів.

Проведений аналіз показав, що наявні зв'язки корозійної стійкості з товщиною покриттів не однозначні. З одного боку, збільшення товщини шару попереджає доступ агресивного середовища до поверхні, а з іншого – через пористість покриттів, збільшується фактична реакційна поверхня.

Щоб кількісно оцінити оптимальну товщину нанесених плазмою захисних шарів треба було попередньо розглянути умови зчеплення матеріалу покриття з підкладкою, чинники, що впливають на розтікання крапель металу по поверхні, та вплив на ці процеси технологічного режиму напилення захисного покриття. Це вдалося зробити і отримати потрібні аналітичні залежності за допомогою ПЕОМ. Оцінюючи розмаїття чинників, які впливають на формування газотермічного покриття, прийшли до висновку, що основним із них є швидкість зіткнення плазмово-металевої суміші з деталлю [14]. Доведено [14,15], що при швидкості 100 м/с крапля захисного металу розтікається по поверхні деталі настільки інтенсивно, що теплової енергії, яку вона акумулює, достатньо для приварювання до основи лише 10% площі сплющеної краплі. Із зниженням швидкості плазми до 25 м/с площа приварювання буде близькою до площі міделевого перетину краплі. При цьому крапля набуде напівсферичної форми, а частка привареної поверхні зросте приблизно в 3 рази порівняно з варіантом, що відповідає швидкості 100 м/с. Це докорінно змінює уявлення [15] про вплив швидкості плазмово-металевого струменя на якість газотермічного покриття, особливо якщо воно призначене для захисту від корозії.

Розглянуту кінетику формування газотермічних покриттів можна використати для оцінювання розвитку корозійних процесів у разі взаємодії їх із агресивними робочими середовищами і для визначення оптимальної кількості корозієстійкого металу, який застосовується для формування захисного покриття.

У деякому наближенні можна записати таке рівняння для швидкості корозії одиниці поверхні виробу в певному агресивному середовищі, кг/(м²·с):

$$W_1 = 2(1-S)K_n + (1-S)K_0 \quad (1)$$

де S – частка поверхні виробу з привареними краплями матеріалу покриття; K_n – швидкість корозії одиниці поверхні матеріалу покриття; K_0 – швидкість корозії одиниці поверхні матеріалу основи деталі.

Нанесення другого шару порошкового покриття створює додаткову поверхню, на якій буде розчинятися матеріал захисного покриття, але доступ до відкритої поверхні основи зменшиться. Ймовірність доступу до поверхні основи для двох шарів буде $(1-S)^2$, а для n шарів – відповідно $(1-S)^n$. Аналогічно, поверхня покриття, що буде реагувати з агресивним харчовим середовищем, становитиме $2n(1-S)^2$. Отже, швидкість корозії виробу з покриттям, яке складається з n шарів, буде такою:

$$W_n = 2n(1-S)K_n + (1-S)^n K_0 \quad (2)$$

Якщо продиференціювати це рівняння за кількістю шарів n і прирівняти похідну до нуля, то дістанемо умову, яка визначає оптимальну кількість шарів для забезпечення максимальної корозійної стійкості покриття (загальновідомий пошук екстремуму):

$$W'_n = 2K_n + K_0 \ln(1-S) \cdot (1-S)^n = 0 \quad (3)$$

Розв'язавши це рівняння відносно n і прологарифмувавши його, отримаємо:

$$n = \ln \left(\frac{2K_n}{K_0} \ln|1-S| \right) / \ln|1-S| \quad (4)$$

Підставивши у це рівняння значення $K_n / K_0 = 100$ і $S = 0,1$, визначимо, що при такому співвідношенні швидкостей корозії покриття і основи оптимальним буде плазмове покриття, яке складається з 16 шарів. У 38%-й молочній кислоті оптимальній стійкості покриття, яке складається з 16 шарів ($K_n = 3,5 \cdot 10^{-8}$ кг/(м²·с)), відповідає швидкість корозії виробу ($K_0 = 3,5 \cdot 10^{-6}$ кг/(м²·с)), яка становить 47% від швидкості корозії підкладки, за умови, що $S = 0,1$. А тому таке покриття буде малоефективним, незважаючи на те, що монолітний матеріал покриття (сталь 12X18H9T) має в 100 разів більшу стійкість, ніж основа.

Якщо швидкість корозії матеріалу покриття буде в 1000 разів менша від швидкості корозії основи, то оптимальним буде покриття, яке складається з 38 шарів. У цьому випадку його швидкість корозії становитиме всього 8,6% від швидкості корозії підкладки.

Отже, чим вища стійкість захисного матеріалу, тим доцільніше наносити більшу кількість шарів покриття.

Щоб підвищити корозійну стійкість і міцність зчеплення покриття з основою, з одночасним зменшенням його товщини, можна використовувати ущільнювальні порошки деяких фторидів, які є перепорою для розтікання крапель покриття і одночасно відновлювачами оксидної плівки на поверхні деталі в процесі плазмового напилення [10].

Висновок. Запропонована методика визначення оптимальної кількості шарів газотермічного протикорозійного покриття дає можливість повністю реалізувати потенційні можливості захисних матеріалів і, за результатами попередніх лабораторних корозійних випробувань захищених деталей, розрахувати конкретну товщину ефективного покриття.

Література

1. Алагемян Р.Г. Моющие и дезинфицирующие средства в молочной промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 168 с.
2. Новицкий А.Е. Повышение долговечности деталей оборудования молочной промышленности подверженных коррозионно-механическому изнашиванию. Автореф. дис.... канд. техн. наук. – К.: КТИПП, 1984 – 20 с.
3. Прейс Г.А., Сологуб Н.А., Нокоз А.И. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.
4. Интенсификация процессов и защита оборудования пищевых производств: монография /Под ред. проф. Ю.Г. Сухенко – К.: ТОВ «ДІЯ», 2006. – 254 с.
5. Сухенко Ю.Г., Литвиненко О.А., Сухенко В.Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підручник. – К.: НУХТ, 2009. – 450 с.
6. Авдеева А.В. Коррозия в пищевых производствах и способы защиты. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 276 с.
7. Воробьева Г.А. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. – М.: Химия, 1967. – 843 с.
8. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов. – М.: Metallurgiya, 1971. – 332 с.
9. Коррозия: Справочное издание / Под ред. П.П. Шрайера: Пер. с англ. – М.: Metallurgiya, 1981. – 632 с.
10. Сухенко Ю.Г., Некоз О.І., Стечишин М.С. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості. – К.: Елерон, 1993.
11. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. 503 с.
12. Сурков В.Д., Липатов Н.Н., Барановский Н.Н. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1970. – 552 с.
13. Сухенко В.Ю. Підвищення довговічності обладнання харчових виробництв на основі протикорозійних інгібованих систем /Автореф. дис.... канд. техн. наук. – К.: НУХТ, 2006. – 21 с.
14. Кудинов В.В., Иванов В.И. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. – М.: Машиностроение, 1981.
15. Хасуй А. Техника напыления /Пер. с япон. – М.: Машиностроение, 1975. – 310 с.

УДК: 620.193.22/.43: 54-39

ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЇ У ТРІЩИНАХ НА СТАЛІ У МОРСЬКІЙ ВОДІ

**Кузнецова І.О., доцент, Янченко К.А., асистент, Содоль Г.О., інженер
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса**

Досліджено вплив метаболітів неорганічної природи, які продукують морські оброщувачі сталевих конструкцій, на хімічний склад, рН і E_h морської води у модельних і реальних статичних тріщинах на сталі, що не пасивується. Вивчено утворення біля активної поверхні металу пероксидних сполук та їхній вплив на кінетику електрохімічних реакцій.

The influence of metabolites of inorganic nature, produced by marine alive covers on steel constructions, on chemical composition, pH and E_h of seawater in the model and actual static cracks in nonpassivated steel, was